ИВАНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

05.21.03 - Технология и оборудование химической переработки

биомассы дерева; химия древесины

Автореферат диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Красноярск - 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный техноло¬гический университет» на кафедре «Технологии конструкционных материалов и машиностроения»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Руденко Анатолий Павлович

Официальные оппоненты:

Александров Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический универ¬ситет растительных полимеров», кафедра «Машины автоматизированных си¬стем», профессор

Челышева Ирина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», кафедра «Воспроизводство и переработка лесных ресурсов», доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесо-технический университет»

Защита диссертации состоится «16» мая 2014 года в 13:00 часов на заседа¬нии диссертационного совета Д 212.253.01 при Сибирском государственном технологическом университете по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, ауд. Ц-110 (зал заседаний).

Отзывы на автореферат с заверенной подписью просим направлять в двух экземплярах ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, СибГТУ.

E-mail: dissovetsibgtu01@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского государ¬ственного технологического университета

Автореферат разослан « » марта 2014 года

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор технических наук,

профессор Исаева Елена Владимировна

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Производство санитарно-гигиенических изделий (СГИ) - одна из наиболее успешных отраслей мировой целлюлозно-бумажной промышленно-сти, отличающаяся стабильной динамикой развития и высокими показателями произ-водственной рентабельности. Более того, эта отрасль всегда была очень привлекательна для крупных международных инвесторов.

По данным на 2008 год, объем потребления санитарно-гигиенических изделий в России составил около 320 тыс. тонн, что составляет около 2,3 кг/чел., уровень по-требления в странах Западной Европы не менее 12 кг/чел., а в США - более 24 кг/чел. в год. Общий выпуск санитарно-гигиенических изделий в мире в 2011 году составил около 32,7 миллионов тонн. По прогнозам отраслевых экспертов, этот показатель - по итогам 2013 года - составит порядка от 32,9 до 33,5 миллионов тонн.

Одновременно с ростом объемов производства санитарно-гигиенических изде-лий стремительно увеличивается конкуренция на международных и региональных рынках, что, в свою очередь, заставляет производителей СГИ все больше внимания уделять вопросам качества выпускаемой продукции, а также сокращению производ-ственных и иных издержек (в настоящее время удельные затраты электроэнергии со¬-5

ставляют до 0,8 кВт/м ).

Одним из путей решения поставленных вопросов является внесение изме¬нений в технологический процесс производства СГИ, предусматривающий наряду с другими совершенствование операции перемешивания волокнистых суспензий при подготовке композиции бумажной массы.

В настоящий момент применяемые в целлюлозно-бумажной промышленности перемешивающие аппараты характеризуются несоответствием конструктивного ис-полнения аппарата и выполняемого процесса перемешивания, что приводит к появле-нию слабо перемешиваемых застойных зон в проточной полости аппарата и неустой-чивости протекания самого процесса. По этой причине такие аппараты характеризу-ются относительно невысокой удельной производительностью процессов перемеши-вания и низким качеством получаемого целевого продукта. В них не удается достичь равномерного распределения подводимой энергии, что приводит к повышенным энер-гозатратам при эксплуатации и, следовательно, к повышению себестоимости продук-ции.

Возникновение данной проблемы, по сути, объясняется, в первую очередь, отсут-ствием аналитических зависимостей, позволяющих достаточно достоверно произво-дить расчеты полей скоростей и давлений в проточной полости перемешивающих устройств. Поиск более эффективных решений в этой ситуации эмпирического харак-тера привел к появлению неоправданно большого разнообразия малоэффективных пе-ремешивающих аппаратов, отличающихся как конструктивно, так и по принципу ра-боты. Поэтому актуальным направлением научно-технических исследований является разработка принципиально новых конструкций перемешивающих аппаратов и мето¬дов их инженерного расчета, позволяющих существенно снизить энергозатраты при получении СГИ.

Наличие данного обстоятельства порождает возможность использования корпус-ного аппарата с профилированными элементами корпуса в целлюлозно-бумажной промышленности для конструктивного исполнения перемешивающих аппаратов и емкостей различного функционального назначения (метальные бассейны, смесители, хлораторы и т.д.). Это обеспечит как сравнительно оптимальное перемешивание (ха-рактеризующееся минимизацией, как количества, так и объема застойных зон) бумаж-ной массы, химических компонентов путем поддержания волокон и ингредиентов во взвешенном состоянии для обеспечения выравнивания концентрации массы и прида-ния однородной композиции во всем объеме перемешивающего аппарата, так и воз-можность более интенсивного смешивания волокнистых компонентов между собой и с химикатами, что позволит снизить удельные затраты электроэнергии.

Цель работы. Разработка перемешивающего оборудования с профилированны¬ми элементами корпуса, обеспечивающего снижение энергопотребления при получе¬нии санитарно-гигиенических изделий.

Задачи исследования:

1 Выполнить теоретические исследования посредством численного моделирова-ния движения потоков жидкости в проточной полости цилиндрических корпусных перемешивающих аппаратов с использованием роторов геликоидального типа.

2 Разработать методику построения профилей корпусных элементов аппаратов с роторами геликоидального типа, обеспечивающих минимизацию энергопотребления при проведении процессов перемешивания.

3 Выполнить экспериментальные исследования по определению гидродинамиче-ских характеристик аппарата профилированной формы.

4 Оценить степень снижения потребления электроэнергии при работе аппарата профилированной формы.

5 Определить оптимальные режимы работы аппарата профилированной формы в условиях подготовки композиции бумажной массы для получения санитарно-гигиенических изделий.

6 Выполнить оценку экономической эффективности использования аппаратов профилированной формы с ротором геликоидального типа.

Объект исследования - перемешивающее оборудование предприятий ЦБП.

Предмет исследования - гидродинамика движения потоков жидкости в проточ¬ной полости перемешивающего оборудования.

Методы исследования. Использованы теоретические и экспериментальные ме¬тоды исследования, основанные на современных способах измерения гидродинамиче¬ских характеристик движения потоков жидкости внутри перемешивающих аппаратов.

При обработке экспериментальных результатов применялись как аналитические, так и численные методы (методы физического и математического моделирования, ма-тематической статистики).

Обработка данных проводилась с использованием ЭВМ. В работе применялись: табличный процессор «Microsoft Excel», программа статистической обработки данных STATGRAPHICS Plus 5.1, программа компьютерного моделирования «Solid Works» с приложением Flow Simulation.

Основные положения, выносимые на защиту. В рамках специальности 05.21.03 - Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; хи¬мия древесины (п. 17 - Оборудование, машины, аппараты и системы автоматизации химической технологии биомассы дерева) на защиту выносятся:

- теоретические исследования по получению эпюр скоростей с целью определе-ния характера движения жидкости в емкостном аппарате принципиально новой кон-струкции с ротором геликоидального типа;

- эмпирические зависимости для расчета гидродинамики движения потоков жид-кости, физико-механических и гидрофильных свойств санитарно- гигиенической бу-маги;

- установленные закономерности влияния технологических режимов работы ап-парата профилированной формы на физико-механические и гидрофильные свойства санитарно-гигиенической бумаги;

- теоретические основы проектирования построения конструкции принципиаль¬но нового емкостного аппарата;

- методика инженерного расчета нового корпуса аппарата для перемешивания волокнистых суспензий.

Научная новизна работы:

- разработаны теоретические основы построения профилированных корпусов ем-костных аппаратов для повышения интенсивности и эффективности процесса пере-мешивания в ЦБП;

- впервые проведено исследование гидродинамики в проточной полости аппарата профилированной формы посредством компьютерного моделирования;

- установлено, что применение аппарата профилированной формы с РГТ-270 и верхней направляющей вставкой приводит к росту осевой составляющей абсолютной скорости до 35 % по сравнению с аппаратом цилиндрической конструкции;

- достигнуто снижение потребления электроэнергии до 40 % в аппарате профи-лированной формы с РГТ-270 и верхним направляющим аппаратом при подготовке композиции бумажной массы по сравнению перемешивающими аппаратами, приме-няемыми в ЦБП.

Практическая значимость работы

Разработана принципиально новая конструкция профилированного емкостного аппарата, позволяющая снизить удельные энергозатраты при сохранении требуемых свойств санитарно-гигиенической бумаги в процессе подготовки композиции бумаж-ной массы.

Создана инженерная методика расчета основных параметров принципиально но-вого емкостного аппарата для получения композиции бумажной массы.

Определены оптимальные технологические параметры работы перемешиваю¬щих аппаратов профилированной формы, обеспечивающие экономное перемешива¬ние волокнистой суспензии.

Даны рекомендации по применению аппарата с профилированными элементами корпуса и ротором геликоидального типа для производства санитарно¬гигиенических изделий.

Новизна технического решения подтверждена получением положительного ре-шения о выдаче патента на изобретение.

Апробация работы.

Основные результаты работы были представлены на международной научно-практической конференции «Наука и современность» (Новосибирск, 2011); всерос-сийских научно - практических конференциях: «Молодые ученые в решении актуаль-ных проблем науки» (Красноярск, 2010, 2011), «Лесной и химический комплексы - проблемы и решения» (Красноярск, 2011, 2012 гг.).

Работа выполнялась по заданию Министерства образования и науки Российской Федерации, финансируемому из средств федерального бюджета № 01201267254 (по теме «Теоретические основы процессов переработки растительного сырья в техноло-гических машинах и аппаратах»).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 15 печатных ра¬бот (из них автора 1,68 п.л.), в том числе 3 статьи в журнале, рекомендованном ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введе¬ния, пяти глав, заключения, библиографического списка из 111 наименований. Объем работы составляет 156 страниц машинописного текста, включая 62 иллюстрации и 39 таблиц.

Содержание работы

Во введении показана актуальность работы по снижению энергопотребления оборудования для производства санитарно-гигиенических видов бумаги.

В литературном обзоре показана тенденция развития рынка и технология про-изводства санитарно-гигиенических видов бумаги. Проведена оценка теоретических и экспериментальных исследований в области перемешивания жидких сред. Выполнен анализ влияния основных элементов конструкций аппаратов на процесс перемешива-ния. Показаны особенности перемешивания волокнистой суспензии в массном бассейне.

Анализ литературных источников позволил сформулировать цель и основные за-дачи исследования.

В теоретической части проведено изучение гидродинамики движения потоков жидкости в перемешивающих аппаратах различной конструкции с ротором геликои-дального типа с применением современных методов исследования, основанных на компьютерном моделировании.

Исследование гидродинамики процесса перемешивания в аппарате цилиндриче¬ской конструкции на компьютерной модели осуществлялось с использованием про¬граммы Solid Works с приложением Flow Simulation.

Теоретические исследования в программе Solid Works показали, что аппарат с цилиндрическим корпусом (рисунок 1 ), как и предполагалось, позволяет исключить эффект образования центральной воронки благодаря вертикальным отражательным планкам, но при этом они создают большие гидравлические потери при движении жидкости, что отрицательно сказывается на качестве перемешивания, увеличивая при этом энергопотребление.

Кроме того, в рабочей полости аппарата были обнаружены застойные зоны ди-намического характера (рисунок 2), которые в отличие от зон статического типа рас-полагаются не в пристенной зоне, а во внутренней полости, что усложняет возмож-ность снижения их отрицательного эффекта. Наличие динамических застойных зон указывает на то, что ротор геликоидального типа при установке в аппарат цилиндри-ческой конструкции не в полной мере справляется с задачей по управлению потоками рабочей жидкости.

Поэтому возникает необходимость коррекции при конструировании корпуса ци-линдрического аппарата таким образом, чтобы поток, сходя с ротора, двигался по кратчайшему замкнутому контуру снизу вверх и затем сверху вниз, попадая снова в ротор. При этом траектория движения потока все время должна быть ограничена кор-пусными элементами аппарата для предотвращения возникновения свободного дви-жения и, таким образом, изолирована от соприкосновения с внешней окружающей средой со всех сторон. В этом случае, поток во всех его составляющих элементах дол-жен быть заключен во внутренней полости аппарата в полном объеме и находиться постоянно под контролем, для того чтобы можно было бы прогнозировать и управлять его движением. Выполнение такого гидродинамического условия является решением проведения управляемого процесса перемешивания суспензии, позволяющего аппара-ту рационально потреблять электроэнергию.

С целью минимизации динамических застой¬ных зон был разработан перемешивающий аппарат принципиально новой конструкции с профилиро¬ванными элементами корпуса (рисунок 3).

Построение корпуса осуществлялось по полу¬ченным в результате моделирования эпюрам осевых скоростей, построенным для нескольких сечений по высоте аппарата (рисунок 4). При рассмотрении эпюр наблюдаются экстремумы кривых, указываю¬щие на максимальную скорость потока, т.е. поток вдоль траектории своего движения встречается с наименьшим сопротивлением. Уменьшение сопро-тивления при движении жидкости позволяет макси¬мально повысить интенсивность циркуляции, сте¬пень перемешивания, что, в свою очередь, приведет

к снижению влияния динамических застойных зон, уменьшению удельных энергоза-трат и повышению производительности в процессе эксплуатации аппарата.

Рассматривая графики с осевыми скоростями, необходимо отметить, что мак-симумы кривых располагаются в определенной последовательности. При соедине¬нии максимумов линией получаем определенную кривую, которая представляет со¬бой изолинию, вдоль которой поток жидкости обладает наибольшей осевой скоро¬стью при движении в рабочей полости аппарата снизу вверх. В первом приближении изолиния может быть представлена кривой, описанной радиусом равным диаметру аппарата (рисунок 5).

Основываясь на данном предположении, было выполнено построение модели корпуса принципиально нового перемешивающего аппарата следующим образом. Бо-ковая поверхность аппарата выполняется в первом приближении по дуге радиусом Rdyai = Da„. Выполнив профилирование боковой поверхности аппарата, производится геометрическое построение перехода от боковой поверхности аппарата к его донной и верхней частям. Данные три элемента должны быть сопрягаемы по поверхности, обеспечивающей безотрывное движение потока рабочей жидкости от перемешиваю-щего органа до входа в отражательные планки и от отражательных планок снова в пе-ремешивающий орган.

Безотрывное движение потока рабочей жидкости происходит при углах атаки близких к 15° для волокнистых суспензий. Основываясь на этом, было выполнено по-строение линий сопряжения в нижней и верхней части аппарата цилиндрической кон-струкции, которая представляет собой совокупность точек приложения векторов абсо-лютной скорости (рисунок 6 а, б).

Для выполнения построения в аппарате цилиндрической конструкции в его ниж-ней части откладывается ПІ количество сечений, которые строятся от уровня дна аппа-рата на равном удалении друг от друга. Далее рассчитываются значения векторов аб-

а) б)

Рисунок 6 - Построение линии сопряжения в нижней (а) и верхней (б) частях аппарата

солютной скорости по аналитическим выражениям, полученных с применением про-граммы Solid Works. Предполагая, что поток сходит с ротора параллельно днищу ап-парата, первый вектор скорости откладывается горизонтально. Каждый последующий вектор строится от предыдущего с изменением направления угла атаки на величину максимального его значения равного 15° для волокнистых суспензий, что способству-ет минимизации нахождения потока в области сопрягаемых поверхностей.

В результате таких построений наиболее оптимальным вариантом выполнения данных сопряжений является в первом приближении фрагмент параболы вида х2=2Ру, в достаточной степени удачно заканчивающей конструктивное исполнение нижней и верхней части аппарата.

При компьютерном исследовании разработанного аппарата были получены траектории движения потока жидкости (рисунок 7) и аналитические выражения (1) - (4), позволяющие выполнять по¬строение эпюр скоростей всех составля¬ющих абсолютной скорости для любого рассматриваемого сечения в проточной полости аппарата.

Анализируя траекторию движения жидкости, необходимо сделать следую¬щие выводы: в рабочей полости профи¬лированного корпуса в основном преоб¬ладают осевые скорости даже при малых частотах вращения ротора, а также про¬исходит минимизация объема застойных зон динамического характера. Но при этом в верхней части проточной полости аппарата с увеличением частоты вращения перемешивающего органа наблюдается смещение траектории движения от оси ротора к периферии при течении потока жидкости сверху вниз. Такое смещение приводит к увеличению пути движения потока и снижению степени циркуляции, что в свою оче-редь отрицательно сказывается на интенсификации самого процесса перемешивании, повышении энергопотребления.

С целью компенсации этого влияния и корректировки движения потока при про-ведении последующих экспериментальных исследований была разработана и реали-зована установка в верхней части проточной полости аппарата профилированной формы в виде вставки направляющего устройства (рисунок 9).

иабс = 1,843 + 0,0027n - 62,257R - 11,797H - 3,7 • 10V -

- 0,0092nH + 397,665R2 + 248,319RH, (1)

иокр = 1,79 +0,003n - 62,087R - 11,533H - 4,2 • 10-5n2 -

- 0,0098nH + 394,68R2 + 245,28RH, (2)

ирад = -0,0174 + 0,00011n + 0,207R + 0,191H - 3,931 • 10-8n2 -

- 0,0017nR - 0,00024nH + 0,619R2 - 3,079RH - 0,587H2, (3)

иосев = 0,093 - 5,354R - 2,323 • 10-7n2 + 0,0035nR - 0,00092nH +

+ 42,602R2 + 16,815RH - 2,807H2, (4)

где n - частота вращения ротора, об/мин;

R - радиус рассматриваемого сечения в аппарате, м;

H - высота рассматриваемого сечения в аппарате, м.

Из построения эпюр скоростей следует, что абсолютная скорость потока в аппа-рате с профилированным корпусом по сравнению с аппаратом с цилиндрическим корпусом имеет тенденцию к увеличению. При этом наиболее высокий прирост в ско-рости наблюдается при частоте вращения n = 100 об/мин и составляет около 20 %. Прирост осевой составляющей абсолютной скорости составил до 55 % (при n = 400 об/мин).

На основании полученных результатов необходимо отметить, что аппарат с про-филированным корпусом, как и предполагалось, позволяет максимально увеличить степень циркуляции рабочей жидкости в проточной полости, за счет увеличения осе-вой составляющей абсолютной скорости (от 15 до 55 %), даже при малых числах ча-стоты вращения перемешивающего органа по сравнению с аппаратом цилиндриче¬ской конструкции. Увеличение степени циркуляции приводит к более равномерному распределению концентрации волокнистой суспензии по всему объему аппарата и, как следствие, снижению удельных затрат электроэнергии с сохранением качества пере-мешивания рабочей жидкости. При этом в рабочей полости аппарата сводится к ми-нимуму образование застойных зон, что положительно отражается на коэффициенте полезного действия и работе аппарата в целом.

Построение физической модели движения жидкости в проточной полости ап¬парата профилированной формы. Для построения физической модели движения жидкости перемешивающий аппарат рассматривался как гидромашина, обеспе¬чивающая замкнутую циркуляцию. Кроме того, на основании теоретических ис¬следований компьютерной модели, в верхней части корпуса установлено устройство в виде направляющей вставки (рисунок 8).

Предполагая наличие жидкостной стенки 1, движущийся поток разбивается на пять участков, образующих замкнутый контур циркуляции: ротор ^ нижняя вставка в виде параболоида ^ дугообразный корпус ^ верхняя вставка в виде параболоида ^

направляющая вставка^-ротор. Поток жидкости, сходя с ротора, поступает во внутреннюю полость аппарата под углом атаки равной практически не¬скольким градусам, что не оказывает отрицательно¬го воздействия на безотрывное движение потока снизу вверх и способствует минимизации нахожде¬ния потока в области сопрягаемых поверхностей. В верхней части аппарата при движении потока свер¬ху вниз происходит корректировка движущегося потока с помощью направляющей вставки, позво¬ляющего сориентировать поток и направить его прямо на входные кромки лопастей ротора гелико¬идального типа.

Такое движение позволяет снизить гидропоте¬ри, которые возникают по траектории движения потоков жидкости в проточной поло¬сти емкостного аппарата и интенсифицировать кратность циркуляции рабочей жидко¬сти, в результате чего имеет место гомогенизация рабочей жидкости и снижение по¬требление электроэнергии на осуществление процесса перемешивания.

В методической части приведены характеристики и принцип работы лабора¬торных установок, представлены методики реализации исследований по изучению влияния конструктивных и технологических параметров принципиально нового ем¬костного аппарата профилированного корпуса с ротором геликоидального типа на гидродинамику потоков жидкости и качество санитарно-гигиенической бумаги. Изу-чение процессов гидродинамики осуществлялось с применением измерительно-вычислительного комплекса (ИВК). Качество санитарно-гигиенической бумаги опре-делялось изучением физико-механических (разрушающего усилия Р, Н) и гидрофиль-ных (капиллярная впитываемость В, мм) свойств СГИ.

Определение физико-механических и гидрофильных свойств санитарно-гигиенической бумаги проводилось на образцах бумажных отливок, полученных по-сле перемешивания композиции бумажной массы в аппарате профилированной фор-мы. Состав бумажной композиции соответствует технологическому режиму, приме-няемому для производства санитарно-гигиенической бумаги-основы на Сясьском ЦБК (ТУ 5437-029-43508418-2011 «Бумага-основа для изделий бытового и санитарно-гигиенического назначения»). Бумажная масса состоит из 60 % хвойной беленой сульфитной целлюлозы (степень помола 25° ШР), 40 % лиственной беленой сульфат-ной целлюлозы (степень помола 27° ШР). Масса полученных отливок составляла (17 ± 1) г на 1 м2.

Выполнено планирование экспериментов. С целью осуществления поставленных задач применялся активный многоуровневый симметричный план по типу 3 , а также планы Бокса и Бокса-Бенкена.

В экспериментальной части приведены результаты экспериментальных иссле-дований. Дан сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования гидродинамики в проточной полости пере¬мешивающих аппаратов посредством ИВК показали, что применение перемешива¬

ющего аппарата профилированного корпуса привело к увеличению абсолютной ско-рости движения потока жидкости и минимизации возникновения застойных зон, в том числе вихревой жидкостной стенки между ротором и корпусом аппарата, по сравнению с аппаратом цилиндрической конструкции. Наиболее высокий прирост абсолютной скорости наблюдается при частоте вращения вала n=500 об/мин и со¬ставляет около 36 %.

Для улучшения гидродинамики движения потоков жидкости в верхней части аппарата была установлена направляющая вставка (рисунок 9). Конструкция направляющей вставки спроектиро¬вана таким образом, чтобы поток жидкости вхо¬дил в него при углах атаки, не превышающих 20°. При таких углах атаки поток обладает безотрыв¬ным движением, что позволяет снизить появление вихреобразования в верхней проточной полости аппарата и направить поток сразу к перемешива¬ющему органу. Это, в свою очередь, повышает степень циркуляции и интенсифицирует процесс приготовления гомогенной массы.

Исследования проводились при разных уг¬лах установки лопаток направляющего аппарата в горизонтальной плоскости (от 0° до 30° градусов).

По результатам эксперимента были получены аналитические зависимости абсо-лютной скорости движения потоков жидкости и ее составляющих (5) - (8) и построе¬ны эпюры скоростей (рисунки 10 - 12).

иабс = 0,622 + 0,0014n +5,095R+2,459H + 1,088tg a + 1,8 • 10-6n2 -

- 0,0025n tg a - 43,057RH - 9,566H tg a, (5)

иокр = 0,395 + 0,0052n - 4,4 • 10-6n2 - 0.016nH + 38,683RH -

- 10,152R tg a - 3,915H tg a, (6)

ирад = -0,172 - 2,191H - 4,295 • 10-7n2 - 0,0068nR + 0,041nH +

+ 0,00033n tg a + 24,467RH + 1,113H tg a, (7)

иосев = -0,264 + 13,616R+4,531H + 1,86 tg a + 1,7 • 10V + 0,013nH -

- 0,0036n tg a - 117,307RH - 8,791 H tg a, (8)

где tga - угол поворота планки в направляющем аппарате.

Анализ полученных результатов показал, что при наличии направляющей встав-ки в верхней части аппарата происходит значительное снижение окружной составля-ющей абсолютной скорости (до 25 % при a = 30°) и рост осевой составляющей (до 35 % при a = 0°). При этом распределение осевых скоростей в верхних рассматривае¬мых сечениях происходит равномерно (сечения 3 - 4, рисунки 10 - 12). Также опреде¬лено, что с увеличением угла установки лопаток в направляющей вставке вертикаль-

а) б) в)

а) n = 100 об/мин; б) n = 300 об/мин; в) n = 500 об/мин.

1, 2, 3, 4 - рассматриваемые сечения в аппарате. Зеленое поле - осевые скорости;

красное поле - окружные скорости.

Рисунок 10 - Схема эпюр скоростей в аппарате профилированного сечения с направляющей

а) б) в)

а) n = 100 об/мин; б) n = 300 об/мин; в) n = 500 об/мин.

1, 2, 3, 4 - рассматриваемые сечения в аппарате. Зеленое поле - осевые скорости;

красное поле - окружные скорости.

Рисунок 11 - Схема эпюр скоростей в аппарате профилированного сечения с направляющей вставкой. Угол установки лопаток в направляющей вставке а = 15°

а) б) в)

а) n = 100 об/мин; б) n = 300 об/мин; в) n = 500 об/мин.

1, 2, 3, 4 - рассматриваемые сечения в аппарате. Зеленое поле - осевые скорости;

красное поле - окружные скорости.

Рисунок 12 - Схема эпюр скоростей в аппарате профилированного сечения с направляющей вставкой. Угол установки лопаток в направляющей вставке а = 30°

ная составляющая абсолютной скорости снижается до 30 %, что свидетельствует о возникновении эффекта отрывности потока жидкости.

Положительный эффект использования направляющей вставки наблюдается при n > 300 об/мин, т.к. при средних и больших значениях частоты вращения ротора влия¬ние окружной составляющей абсолютной скорости на циркуляцию потока становится значимой. В этом случае имеет место достаточно эффективная трансформация окружной составляющей в осевую скорость с использованием направляющей встав¬ки.

В целом, применение аппарата профилированной формы без направляющей вставки приводит к росту осевой скорости потока до 25 %, а с верхней направляющей вставкой до 35 % по сравнению с аппаратом цилиндрической конструкции.

На рисунке 13 представлена зависимость абсолютной скорости движения потока рабочей жидкости от различных конструкций исследуе¬мых перемешивающих аппаратов. Как следует из графика, наибольшее значение абсолютной скорости имеет место при использовании аппа¬рата профилированной формы с верхней направляющей вставкой с углом установки ло¬паток а = 0°, наименьшее - аппарата цилиндри¬ческой конструкции.

Эксперименталъные исследования физико¬механических и гидрофильных свойств сани¬тарно-гигиенической бумаги проводились с определением разрушающего усилия Р и ка-пиллярной впитываемости В бумажных отли¬вок.

Физико-механические свойства. При

дисперсионном анализе полученных результатов исследования построено аналити-ческое выражение разрушающего усилия (9) и графические зависимости (рисунок

14).

Р = -0,0033 + 0,251 ■ с2 - 0,0009 ■ с ■ п +

(9)

где n - частота вращения перемешивающего устройства, об/мин; c - концентрация волокнистой массы, %.

При анализе графиков установлено, что на свойства бумажных отливок основ¬ное влияние оказывают технологические факторы (концентрация волокнистой сус¬пензии, время перемешивания, частота вращения ротора). Так, достаточная механи¬ческая прочность бумаги (Р > 1,4 Н) обеспечивается в результате перемешивания композиции с низкой концентрацией массы (с = 0,1 %), начиная с частоты вращения ротора n > 400 об/мин. При этом, минимально необходимое время для перемешива¬ния составляет около 20 мин.

Улучшение механической прочности бумаги объясняется тем, что начиная с 300 об/мин при перемешивании массы появляются турбулентные вихри, разрушаю-

щие флоккулы. При дальнейшем увеличении частоты вращения ротора возникает диспергированный режим движения волокнистой суспензии, позволяющий выров-

а) б) в)

Время перемешивания: а) т = 10 мин; б) т = 20 мин; в) т = 30 мин. Точки 1, 2, 3 - концентрация композиции волокнистой массы: 1 - 0,1 %; 2 - 0,3 %; 3 - 0,5 %.

Рисунок 14 - Графическая зависимость величины разрушающего усилия бумажных отливок от технологических режимов работы аппарата профилированной формы нять концентрацию композиции по всему объему аппарата и обеспечить однород¬ность бумаги при отливе на сеточном столе.

Гидрофильные свойства. В ходе обработки полученных результатов ис¬следования построено аналитическое выражение (10) и графические зависимо¬сти (рисунок 15).

В = 3,677 — 0,045 ■ с ■ п + 0,0006 ■ т ■ п + 0,00009 ■ nz

0 200 400 600

n, об/мин

а)

Время перемешивания: а) т = 10 мин; б) т = 20 мин; в) т = 30 мин. Точки 1, 2, 3 - кон¬центрация композиции волокнистой массы: 1 - 0,1 %; 2 - 0,3 %; 3 - 0,5 %.

Рисунок 15 - Графическая зависимость величины капиллярной впитываемости бу¬мажных отливок от технологических режимов работы аппарата профилированной формы

Анализ графиков показал, что капиллярная впитываемость бумаги заметно улучшается при перемешивании композиции низкой концентрации c=0,1 % и n > 300 об/мин. При этом требуемые показатели капиллярной впитываемости (В > 20 мм) достигаются при времени перемешивании массы т > 10 мин и ча¬стоте вращения ротора n = 480 об/мин (рисунок 15, а).

Наиболее быстрое достижение требуемой впитываемости наблюдается у волокнистой массы концентрацией с = 0,1 %, времени перемешивания

т = 30 мин и частоте вращения ротора n = 360 об/мин. Это связано с тем, что при низкой концентрации массы волокна сульфитной хвойной и сульфатной лиственной целлюлозы более равномерно распределяются между собой и по всему рабочему объему аппарата. Таким образом, обеспечивается полное про¬явление свойств волокнистых полуфабрикатов: хвойная сульфитная целлюлоза увеличивает мягкость и впитывающую способность получаемой бумаги за счет низкого содержания гемицеллюлоз; сульфатная лиственная целлюлоза - приво¬дит к увеличению механической прочности бумаги благодаря повышенной прочности стенок и наличию в лиственной целлюлозе пентозанов, а также при¬дает бумажному полотну повышенную мягкость, пухлость и впитывающую способность.

Критерий мощности при работе аппарата профилированной формы. Ос¬новные результаты расчета критерия мощности KN в аппаратах различной кон¬струкции представлены в таблице 1.

Из полученных данных следует, что применение аппарата профилирован¬ной формы с установленным РГТ-270 и верхнего направляющего аппарата (угол направляющих планок а = 0°) позволяет снизить удельные затраты элек¬троэнергии при работе аппарата.

Таблица 1 - Значения критерия мощности KN в аппаратах различной кон¬струкции

Наименование конструкции аппарата Критерий мощности KN

Цилиндрический аппарат с турбинной мешалкой 8,4

Цилиндрический аппарат с РГТ-270 4,0

Аппарат с профилированной формы с РГТ-270 3,4

Аппарат профилированной формы с РГТ-270 и верхней направля-ющей вставкой с углом установки направляющих планок 0° 3,1

На основании проведенных исследований и полученных результатов можно утверждать, что повышение эффективности и интенсивности перемешивания жидко¬сти в разработанном аппарате профилированной формы достигается за счет большого диапазона настройки аппарата на требуемый технологический режим. Это в свою оче-редь ведет к максимальному увеличению степени циркуляции, обеспечивающей рав-номерное распределение концентрации жидкости различного композиционного со-става по всему его объему проточной полости аппарата и снижению удельных затрат электроэнергии при сохранении требуемого качества получаемого продукта.

Сопоставление теоретических и экспериментальных исследований гидродина¬мики движения рабочей жидкости в аппарате профилированной формы без направля¬ющего аппарата на примере абсолютной скорости (рисунок 16) показало, что абсо¬лютная скорость, определенная по программе Solid Works и с помощью ИВК, незна¬чительно отличаются друг от друга. Особенно это проявляется при большой частоте вращения ротора n > 300 об/мин, когда в аппарате наблюдается переходный режим те¬чения жидкости, близкий к турбулентному режиму.

Данный факт, в первую очередь, связан с тем, что при моделировании в про-грамме Solid Works задавался минимально допустимый уровень решения для расчета абсолютной скорости.

а) - n=100 об/мин; б) - 300 об/мин; в) - 500 об/мин.

Синее поле - расчет с помощью программы Solid Works; зеленое поле - определение скорости с помощью ИВК.

Рисунок 16 - Сопоставление теоретически и практически определенной абсолютной скорости в аппарате профилированной формы

На основе полученных теоретических и практических результатов исследования можно утверждать, что использование программы Solid Works при исследовании гид-родинамики в перемешивающих аппаратах, имеет большую практическую ценность, т.к. является современным методом исследования, позволяющим оценить гидродина-мику движения потоков жидкости в рассматриваемом аппарате при минимальных за-тратах времени.

В практическом применении результатов исследования выполнен расчет по определению параметров диспергированного режима течения волокнистой массы в цилиндрическом перемешивающем аппарате с турбинной мешалкой и аппарате про-филированной формы с установленным РГТ-270 и верхней направляющей вставкой с углом установки направляющих планок 0°. По результатам расчета установлено, что применение аппарата профилированной формы совместно с РГТ-270 и верхней направляющей вставкой позволяет снизить потребления энергии на 40 %.

Оптимизация технологических параметров работы предлагаемого перемешива-ющего аппарата выполнена с использованием программы STATGRAPHICS Plus 5.1 и предусматривает получение оптимальных условий проведения процесса перемешива-ния для достижения минимально допустимых значений по физико-механическим (Р = 1,4 Н) и гидрофильным (В = 20 мм) свойствам санитарно-гигиенической бумаги. Для разрушающего усилия оптимальный технологический режим составил: с = 0,1 %; т = 19,6 мин; n = 407,4 об/мин; для капиллярной впитываемости: с = 0,1 %; т = 18,2 мин; n = 393,2 об/мин.

Исходя из полученных оптимальных значений технологических параметров ра-боты аппарата профилированной формы, рекомендуется процесс перемешивания композиции бумажной массы, состоящей из 60 % хвойной беленой сульфитной цел-люлозы и 40 % лиственной беленой сульфатной целлюлозы, проводить по оптималь-ному технологическому режиму, полученному для разрушающего усилия, т.к. для до-стижения требуемого разрушающего усилия процесс перемешивания должен прово-диться дольше по времени перемешивания и большей частотой вращения ротора.

Представлена методика инженерного построения корпуса аппарата профилиро-ванной формы, позволяющая разрабатывать перемешивающие аппараты различного функционального назначения (минимально в трех вариантах исполнения): бассейн хранения волокнистой массы, композиционный и массный бассейны.

Выполнен экономический расчет по модернизации оборудования для перемеши-вания композиции бумажной массы, для производства санитарно - гигиенической бу-маги - основы. В качестве базового оборудования выбран вертикальный перемешива-

-5

ющий аппарат объемом 50 м . Годовая производительность базового оборудования взята по данным Сясьского ЦБК.

Основные технико-экономические результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные технико-экономические показатели

Показатель Значение

Цилиндрический аппарат с тур-бинной мешал¬кой Аппарат профи-лированной фор¬мы с РГТ

1 Г одовая производительность оборудования, тыс. т/г 27,45 27,45

2 Списочный состав рабочих, чел.: 12 12

- основные 7 7

- вспомогательные 4 4

3 Сумма капитальных затрат, тыс. руб. 2003,4 1151,8

4 Г одовой фонд зарплаты, тыс. руб. 2756 2756

5 Себестоимость обработки единицы продукции, тыс. руб. 240,4 227,8

6 Затраты на ремонт оборудования, тыс. руб. 1033,7 1049

7 Амортизационные отчисления, тыс. руб. 200,3 1151,8

8 Удельный расход электроэнергии, руб./т 25,08 15,3

9 Среднемесячная зарплата одного рабочего, тыс. руб. 19,1 19,1

10 Условно-годовая экономия, тыс. руб. - 345,9

11 Срок окупаемости капитальных затрат, лет - 3,3

Предлагаемый вариант перемешивающего оборудования обеспечивает сни¬жение себестоимости производимой бумаги - основы, что дает условно-годовую экономию в размере 345,9 тыс. руб. Срок окупаемости модернизированного обору¬дования составляет 3,3 года.

Выводы:

1 На основании компьютерного моделирования выполнены исследования гид-родинамики движения потоков жидкости в аппарате цилиндрической конструкции с ротором геликоидального типа. В результате чего, в рабочей полости аппарата обнаружены застойные зоны динамического характера, оказывающие отрицатель¬ное влияние на качество перемешивания и увеличивающие энергопотребление при работе аппарата.

2 Разработаны теоретические положения о принципах профилирования корпус-ных элементов и методика построения профилей корпусных элементов емкостных аппаратов.

3 На основании экспериментальных исследований гидродинамических характе-ристик перемешивающих аппаратов различной конструкции установлено, что при-менение аппарата профилированной формы с ротором геликоидального типа и верх¬ней направляющей вставкой (угол установки лопаток а = 0°) приводит к увеличению осевой составляющей абсолютной скорости потока на 35 % по сравнению с аппара¬том цилиндрической конструкции.

4 Установлено, что применение аппарата профилированной формы совместно с РГТ-270 и верхней направляющей вставкой позволяет снизить потребления энергии на 40 % по сравнению с цилиндрическим аппаратом с турбинной мешалкой.

5 Определены оптимальные технологические режимы работы аппарата с про-филированными элементами корпуса при подготовке композиции бумажной массы. Для разрывного усилия оптимальный технологический режим составил: с = 0,1 %; т = 19,6 мин; n = 407,4 об/мин; для капиллярной впитываемости: с = 0,1 %; т = 18,2 мин; n = 393,2 об/мин.

6 Разработана методика инженерного построения аппарата с профилированны¬ми элементами корпуса различного функционального назначения с ротором гелико-идального типа.

7 Выполнена оценка экономической эффективности применения перемешива-ющего аппарата профилированной формы для подготовки композиции бумажной массы при производстве санитарно-гигиенической бумаги-основы. Предлагаемый вариант перемешивающего оборудования позволяет снизить себестоимость произ-водимой бумаги-основы и обеспечивает условно-годовую экономию в размере 345,9 тыс. руб. Срок окупаемости модернизированного оборудования составляет 3,3 года.

Основное содержание диссертации отраженно в следующих работах:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1 Иванов, Д. А. Создание многофункциональных емкостных аппаратов с ис-пользованием имитационного моделирования / Д. А. Иванов, К.А. Иванов, А.П. Ру¬денко // Химия растительного сырья. - 2011. - №2 4. - С. 319 - 324, автора - 0,11 п.л.

2 Иванов, Д. А. Об эффективности применения аппарата профилированной формы с ротором геликоидального типа в ЦБП / Д.А. Иванов, К.А. Иванов, А.П. Ру¬денко // Химия растительного сырья. - 2013. - №2 4. - С. 237 - 242, автора -0,1 п.л.

3 Определение эффективности и интенсивности работы ротора геликоидально¬го типа с помощью гидродинамики / К.А. Иванов, Д.А. Иванов, А.П. Руденко, С.Н. Мартыновская // Химия растительного сырья. - 2013. - № 4. - С. 243 - 247, ав¬тора - 0,08 п.л.

Материалы конференций:

4 Иванов, Д. А. Профилирование основных элементов корпуса емкостного ап-парата для обеспечения минимальных энергозатрат при эксплуатации / Д. А. Иванов, К. А. Иванов, А. П. Руденко // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2010. -Т. II. - С. 76 - 78, автора - автора - 0,06 п.л.

5 Иванов, К. А. Построение пространственной геометрии ротора геликоидного типа / К. А. Иванов, Д. А. Иванов, А. П. Руденко // Молодые ученые в решении акту-альных проблем науки: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2010. -Т. II. - С. 78 - 80, автора - 0,06 п.л.

6 Иванов, Д. А. Об основных принципах построения конструктивных элементов емкостного аппарата профилированного сечения / Д. А. Иванов, К. А. Иванов, А. П. Руденко // Наука и современность - 2011: сб. материалов IX междунар. науч.- практ. конф. - Новосибирск: НГТУ, 2011. - С. 29-32, автора - 0,12 п.л.

7 Иванов, К. А. Построение пространственной геометрии ротора геликоидного типа с различным функциональным назначением / К. А. Иванов, Д. А. Иванов, А. П. Руденко // Наука и современность - 2011: сб. материалов IX междунар. науч.- практ. конф. - Новосибирск: НГТУ, 2011. - С. - 32-35, автора - 0,09 п.л.

8 Иванов, Д.А. Зондирование - как средство анализа работоспособности целлю-лозно-бумажного и биохимического оборудования / Д.А. Иванов, К.А. Иванов, А.П. Руденко // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. ст. все- рос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2011. - Т. I. - С. 230-233, автора - 0,1 п.л.

9 Иванов, К.А. Способы измерения скоростей в потоках жидких сред и методи¬ка работы с шаровым зондом / К.А. Иванов, Д.А. Иванов, А.П. Руденко // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2011. - Т. I. - С. 233-237, автора - 0,13 п.л.

10 О методе совместного профилирования корпуса емкостного аппарата с пе-ремешивающим органом / Д.А. Иванов, К.А. Иванов, Л.И. Земляков, А.П. Руденко // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2011. - T. II. - С. 24-26, автора - 0,09 п.л.

11 Моделирование гидродинамических процессов в проточных полостях реак-торов емкостного типа / К.А. Иванов, Д.А. Иванов, Л.И. Земляков, А.П. Руденко // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2011. - T. II. - С. 26-30, автора - 0,13 п.л.

12 Иванов, Д.А. Диагностика эффективности работы перемешивающих аппара¬тов с помощью измерительно-вычислительного комплекса / Д.А. Иванов, К.А. Ива¬нов, А.П. Руденко // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2012. - T. II. - С. 46-50, автора - 0,13 п.л.

13 Иванов, Д.А. Масштабирование аппаратов с профилированными элементами корпуса и с роторами геликоидального типа / Д.А. Иванов, К.А. Иванов, А.П. Руден¬ко // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. ст. всерос. науч. - практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2012. - T. II. - С. 50-52, автора - 0,06 п.л.

14 Иванов, К. А. К вопросу об определении функциональной эффективности роторов геликоидального типа в аппаратах стандартной конструкции / К. А. Иванов, Д. А. Иванов, А. П. Руденко // Лесной и химический комплексы - проблемы и реше¬ния: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. - Красноярск: СибГТУ, 2012. - T. II. - С. 52-56, автора - 0,13 п.л.

Патент:

15 Аппарат для перемешивания : заявка Рос. Федерации : МПК В 01 F 7/16 / К.А. Иванов А.П., Д.А. Иванов, Руденко (RU) ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ Сибирский государственный технологический университет. - № 2012146961/05 ; 02.11.2012, автора - 0,29 п.л.