

объединением масс, наблюдается повышение механических свойств бумаги и картона из, таким образом, подготовленной массы. При этом, для разных механических показателей повышение составляет от 20 до 40%.

Основным фактором повышения прочности является повышение межволоконных сил связи за счет электростатической составляющей [2].

Большой опыт работы с подавляющим количеством предприятий России показал необходимость индивидуального подхода к каждому акту применения химического продукта и выработки оптимальных условий максимально эффективного влияния на процесс. Проводимые в постоянном режиме исследования и опытно-промышленные испытания, являются комплексной работой, выполняемой с целью разработки и внедрения технологии высокопрочных бумажно-картонных материалов различного назначения на основе новых систем химических продуктов «СКИФ Спешиал Кемикалз». В плане достижения цели, разрабатываются новые прогрессивные схемы применения уже освоенных химических продуктов, разрабатываются и испытываются новые перспективные продукты, как, например, последние разработки - «Полиамин ССК, «Ультрасайз SP-312», катионный крахмал «Динадин».

ЛИТЕРАТУРА

1 Кожевников, С. Ю. Химия и технологии СКИФ для бумаги. Монография / С. Ю. Кожевников, И. Н. Ковернинский. Изд-во Сайменского университета прикладных наук, г. Иматра, Финляндия, 2010. 91 с.

2 Кожевников, С. Ю. Научные основы упрочнения бумаги при участии полимерполионных наночастиц / С. Ю. Кожевников, В. К. Дубовый //Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – №10. – С.50-52.

УДК 676.2.01

В. Л. Колесников, проф., д-р техн. наук
v.kolesnikov@belstu.by (БГТУ, г. Минск)

Н. В. Черная, проф., д-р техн. наук
chornaya@belstu.by (БГТУ, г. Минск)

ТЕХНОЛОГИЯ БУМАГИ КАК КОГЕРЕНТНАЯ СИСТЕМА

Успеха в оперативном оптимальном управлении технологическими процессами производства бумаги и картона можно добиться лишь в том случае, если проблему рассматривать не на уровне отдельных стадий, а в их совокупности, как систему, состоящую из упо-

рядоченного множества взаимосвязанных материальными и информационными потоками технологических операций бумажно-картонного производства, действующих как одно целое.

Технология бумаги обладает всеми признаками самого сложного типа моделируемых систем. Во-первых, она состоит не из однотипных процессов и поэтому не обладает свойством аддитивности (в отличие, допустим, от набора одинаковых ткацких станков). Во-вторых, в системе присутствуют рециклы и байпасы, делающие зависимой работу каждого элемента от функционирования всех остальных. Следовательно, по структуре она должна быть отнесена к классу когерентных систем, обязывающему при изучении рассматривать все явления в их диалектической противоречивости, взаимосвязанности, цельности и единстве. В-третьих, работа системы имеет ярко выраженный динамический характер, в ее материальных потоках способны в процессе эксплуатации накапливаться такие компоненты и загрязнения, которые влияют на протекание принципиально важных процессов основной технологической линии. Накопление этих веществ в потоках приводит к необходимости закладывать в разрабатываемую модель принципы самообучения или самонастройки. Поэтому в алгоритм необходимо ввести оптимизирующий блок, в котором поступающая информация обрабатывается, и, в случае рассогласования фактической ситуации с заданными условиями, решается компромиссная задача оптимизации с выдачей необходимых управляющих импульсов на исполнительные механизмы и с учетом величины выбранного критерия, например, суммы энерготехнологических затрат.

Методическую основу оперативного оптимального управления можно успешно разработать, заменив реальное предприятие его адекватным виртуальным аналогом.

Структура модели когерентной системы производства бумаги и картона представлена на рис. 1.

В основу системной математической модели получения бумаги и картона целесообразно положить мультипликативный принцип расчета многокомпонентных материальных балансов технологической системы через любые заданные промежутки времени, например, через отрезок времени, равный времени выработки одной тонны продукции. Связь состава потоков с режимными параметрами осуществляет комплекс полиномиальных моделей, описывающих зависимость степени удержания каждого компонента бумажной массы в структуре бумажного полотна при отливе от степени помола, композиции, расходов полимера и коллоидно-химического регулятора, содержания сульфата алюминия в массе до введения в нее проклеивающих веществ и т. п.

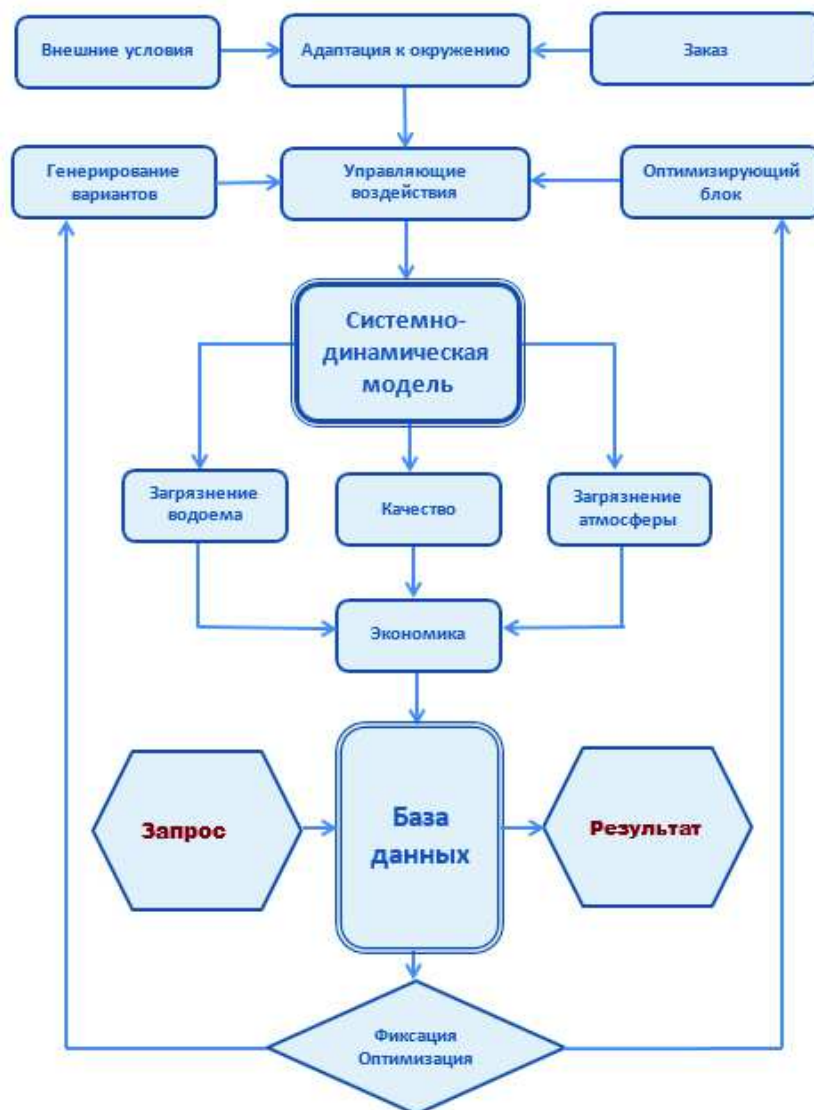


Рисунок 1 - Структура модели когерентной системы производства бумаги и картона

Зависимость свойств готовой продукции от состава материальных потоков описывает второй комплекс полиномиальных моделей. Таким образом, в одной системной математической модели объединяются расходные и режимные управляющие параметры с качеством готовой продукции, экономикой и экологией в условиях, псевродинамики.

Для формализации процедуры расчета материальных балансов в динамике все потоки закодированы в виде двухмерного массива с именем Q . Первой координате этого вектора присваиваются номера материальных потоков, под которыми они выступают в технологической схеме,

второй координате – цифровой индекс компонентов этих потоков.

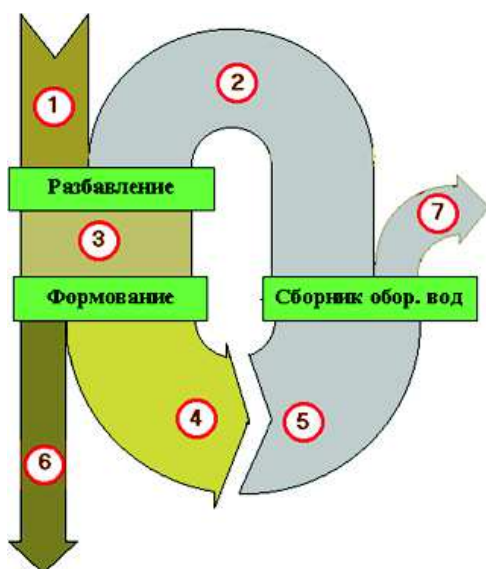


Рисунок 2 - Фрагмент технологической схемы

Разработанный мультипликативный принцип формализации работы системы в динамике удобно продемонстрировать на диаграммном фрагменте технологической схемы, представленном на рис. 2, где изображены семь материальных потоков, объединяющих три элемента технологической системы, в том числе разбавление массы в смесительном насосе, отлив бумажного полотна на сетке бумагоделательной машины и аккумулярование избыточной воды в сборнике регистровых вод. В первом цикле расчета полагаем, что запуск машины осуществляется на свежей воде, поэтому концентрации

потоков № 2, 4, 7 равны между собой и равны нулю. Но сразу же в потоке № 6 оказываются компоненты бумажной массы, не удержанные в структуре полотна на сетке машины, поэтому поток регистровой воды, поступающей в сборник искусственно, разорван и из него сделано два потока – № 6 и 7 (самостоятельные источники и стоки), равные по объему, но разные по концентрации. Зная механизм удержания всех компонентов массы в структуре сформированного полотна, можно рассчитать концентрацию потока № 6 уже на первом цикле работы программы с тем, чтобы на втором и последующих циклах переприваивать полученные значения концентрациям потоков № 2, 4, 7.

Корректируя в каждом цикле величину расхода сырья по простой пропорции, можно подстраивать систему таким образом, чтобы она на выходе давала значения близкие к 1000 кг. Поэтому масштабной единицей времени в разрабатываемой динамике будет выступать время выработки 1 т продукции. Эта величина будет осуществлять связь с реальным масштабом времени с учетом рабочей ширины машины, ее скорости и массы квадратного метра бумаги или элементарного слоя картона.

Когерентность системы иллюстрируется информационно-потокowym мультиграфом трехэлементного фрагмента технологической схемы рис. 3, где показана взаимосвязь («под отвертку») всех материальных и информационных потоков от режимных, управляющих, возмущающих и регламентированных переменных

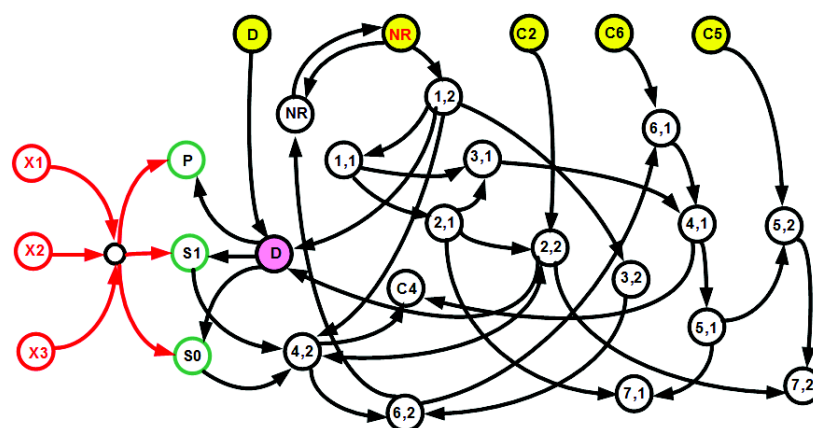


Рисунок 3 - Информационно-поточковый мультиграф трехэлементной системы

В настоящей статье описывается девятикомпонентная нумерация потоков. В каждом потоке определяются: общая масса, содержание сухих веществ, содержание волокнистых отходов, содержание солей натрия, кальция и алюминия, содержание полимера, содержание гидрофобизатора, содержание наполнителя.

Моделированию подвергается упрощенная технологическая схема (рис. 4), полученная после декомпозиции и агрегирования переменных. Она состоит из 18 элементов (стадий технологического процесса), связанных 42 материальными потоками.

Структурный анализ информационно-поточкового мультиграфа этой системы позволил определить места оптимального разрыва ветвей и последовательность обегания вершин.

Одной из основных производственных операций, связанных с использованием разнородного волокнистого сырья является упрочнение получаемых материалов.

Наиболее простой и эффективный способ получения листовых материалов типа бумаги или картона – применение полимерных связующих, которые могут обеспечить продукции новый комплекс ценных свойств. Многие полимеры не растворяются в воде и не плавятся при повышенной температуре. Поэтому их использование в технологии бумаги существенно затруднено. Интересным, универсальным и самым многотоннажным классом полимеров для этих целей являются водные дисперсии. Дисперсной фазой могут быть термопластичные и терморезактивные смолы, а также все разновидности эластомеров, например, синтетические каучуковые латексы.

Наибольшей сложностью в использовании гидродисперсий упрочняющих добавок для бумаги и картона является их чувствитель-

ность к электролитам, одной из причин которой является неуравновешенность силовых полей граничных молекул дисперсной фазы.

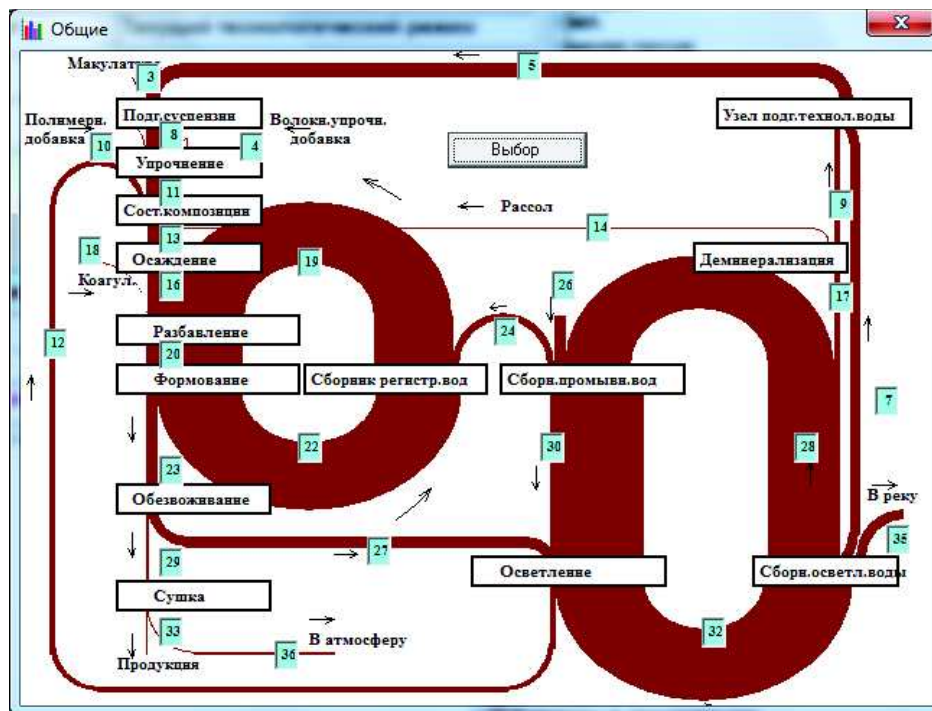


Рисунок 4 - Диаграмма материального баланса по общей массе всех потоков

Чтобы обеспечить агрегативную устойчивость гидродисперсий, в них добавляют поверхностно-активные вещества. В качестве коагулянтов чаще всего применяются растворимые соли многовалентных металлов типа сульфата алюминия, которые практически мгновенно и до конца реагируют с мылами. Если гидродисперсии упрочняющих добавок вводить в волокнистую суспензию, уже содержащую коагулянт, то осадок будет образовываться в момент соприкосновения двух жидкостей в виде крупных творогоподобных частиц. Крупные частицы осадка в структуре бумаги будут раздвигать волокна, и ослаблять межволоконные связи, ухудшая качество продукции.

Желаемой формой коагуляции при осаждении гидродисперсий в волокнистой массе является гетероадагуляция.

Первое условие обеспечения гетероадагуляции состоит в том, чтобы в межволоконной жидкости до введения упрочняющей добавки не содержалось электролитов.

Второе условие связано с оптимальной степенью насыщенности частиц дисперсной фазы поверхностно-активным веществом. Для оперативного ситуационного технологического управления предложено [1] использовать коллоидно-химические регуляторы (КХР), ко-

торые могут быть ионогенными, неионогенными и амфолитными полиэлектролитами с основными свойствами. В микрогетерогенной системе устанавливается лабильное адсорбционное равновесие между молекулами КХР, располагающимися на поверхностях частиц дисперсной фазы и волокон, а также в межволоконной и межглобулярной жидкости.

Выполнение первого условия может быть обеспечено извлечением солей из оборотной воды (деминерализацией). Для этого необходимо сформулировать и решить задачу максимизации степени водооборота при допустимых экологических нагрузках на окружающую среду и заданном уровне требований к качеству продукции.

Для выполнения второго условия необходимо исследовать и математически описать механизм коллоидно-химических взаимодействий компонентов в водно-волоконистых микрогетерогенных системах с разнородными, разновеликими, разнопотенциальными и разноименно заряженными частицами.

Все процессы получения бумаги и картона оказываются существенно зависимыми от факторов внешнего окружения (погодных условий, ветрового режима, и, в первую очередь, от солевого состава речной воды). Следовательно, единственного, установленного на все времена оптимального технологического режима быть принципиально не может. Текущие обстоятельства вынуждают персонал вырабатывать ответную реакцию на изменения внешнего окружения, наощупь корректируя значения управляющих воздействий. Анализ накопленных данных позволяет выявить скрытые закономерности и вычислять, а не угадывать необходимые коррекции технологического режима.

Для описания коллоидно-химических процессов и определения предельного допустимого содержания электролитов при коагуляции гидродисперсий упрочняющих добавок в микрогетерогенной системе получены экспериментально-аналитические модели для вычисления констант скоростей сорбции молекул коллоидно-химического регулятора на каждом виде сорбентов. Приращение поверхности, занятой молекулами КХР на частицах дисперсной фазы при диффузионном и кинетическом контроле, определялось по уравнениям Файнермана.

Свойства различных волокнистых отходов при совместном воздействии упрочняющих добавок, коллоидно-химических регуляторов, перезаряжающих и сшивающих агентов математически описывались с использованием греко-латино-арабских гиперкубов первого порядка, совмещенных с факторными шкалами.

Информационное и математическое обеспечение осуществлялось на основе результатов наших многолетних исследований [2]. Для получения стохастических моделей показателей качества продукции строились информационные сети на базе ортогональных таблиц, получаемых с помощью проективных геометрий и полей Галуа, которые после проведения экспериментов трансформировались в таблично заданные функции. В качестве линеаризующих преобразующих соответствий использовались отрезки ряда Тейлора, бикубические сплайн-функции, интерполяционные полиномы Чебышева.

Условия проведения вычислительного эксперимента формировали три группы независимых переменных: случайные воздействия, композиционный состав по волокну, управляющие факторы. В качестве случайных воздействий в моделях представлены: содержание солей в речной воде, температура речной воды, рН речной воды, содержание сухих веществ в сырье, срок хранения сырья. Добавками к базовому волокну (беленая листовая целлюлоза) служили макулатура, древесная масса, коротковолокнистые отходы от стрижки искусственного меха, вязкие волокна, коллагеновые волокна. Управление технологическим процессом осуществляли: расход речной воды, расход полимера, степень помола волокна, концентрация при формовании, скорость бумажного полотна, расход наполнителя, расход гидрофобизатора, рН при коагуляции.

Результаты эксперимента оценивали десять параметров: прочность, пластичность (число двойных перегибов), влагопрочность, зольность, гидрофобность, впитывающая способность, сорность, загрязнение водоема, загрязнение атмосферы.

Мультипликативность алгоритма функционирования виртуального производственного комплекса позволила разработать интерфейс программного средства *Virtual_Complex* в виде рабочего места технолога (рис. 5) с пультом управления, где представлена мнемоническая схема материальных и информационных потоков комплекса. Управление осуществляется путем изменения значений главных факторов с помощью активных элементов схемы в виде ползунков. Адаптация к внешнему окружению при запуске комплекса осуществляется настройками текстовых полей диалоговых окон. Имеется возможность имитировать работу в полноводие и засуху, в зимних и летних условиях, использовать речную воду с различным солевым составом.

Разработанная модель когерентной технологической системы, имитирующая все основные особенности функционирования реаль-

ных предприятий, позволяет планировать и осуществлять беспрецедентные вычислительные эксперименты.

Во-первых, виртуальный производственный комплекс можно использовать как источник информации для моделирования производственных процессов путем реализации активных экспериментов, планы которых могут быть получены с помощью современных методов построения информационных сетей.

Во-вторых, программные возможности компьютерного средства позволяют вычислить оптимальные условия получения продукции с заданным комплексом свойств.

В-третьих, визуализация моделей качества продукции позволяет осуществить количественный анализ условий и результатов производственной деятельности предприятия с поддержкой принятия управленческих решений и оценкой инвестиционных потребностей.

В-четвертых, поскольку предприятие реагирует на случайные изменения пяти параметров внешнего окружения и управляется одиннадцатью оперативными факторами, то все независимые переменные, как параметры окружения, так и управляющие воздействия могут изменяться осмысленным или случайным образом. Системно-динамическая позволяет вычислять и заносить в накапливающуюся базу данных условия и результаты функционирования этого виртуального предприятия за длительный срок наблюдений. Формируемая таким образом база данных необыкновенно большой размерности содержит в себе информацию о том, как получались образцы бумаги с различным сочетанием свойств. Сочетания построчных значений показателей качества в базе данных могут соответствовать требованиям не только ассортимента продукции действующих предприятий, но и указывать на перспективность выпуска продукции с принципиально новыми свойствами.

Для количественного описания качественных оценок используется функция принадлежности [3]. Функция принадлежности – это некоторая не вероятностная субъективная мера нечеткости, изменяющаяся в пределах от нуля до единицы. Лингвистическая переменная отличается от числовой переменной тем, что ее значениями являются не числа, а слова или предложения в естественном или формальном языке. Преобразование натуральных значений признака в соответствующие значения функции принадлежности носит название фазификации. Обратная операция называется дефазификацией.

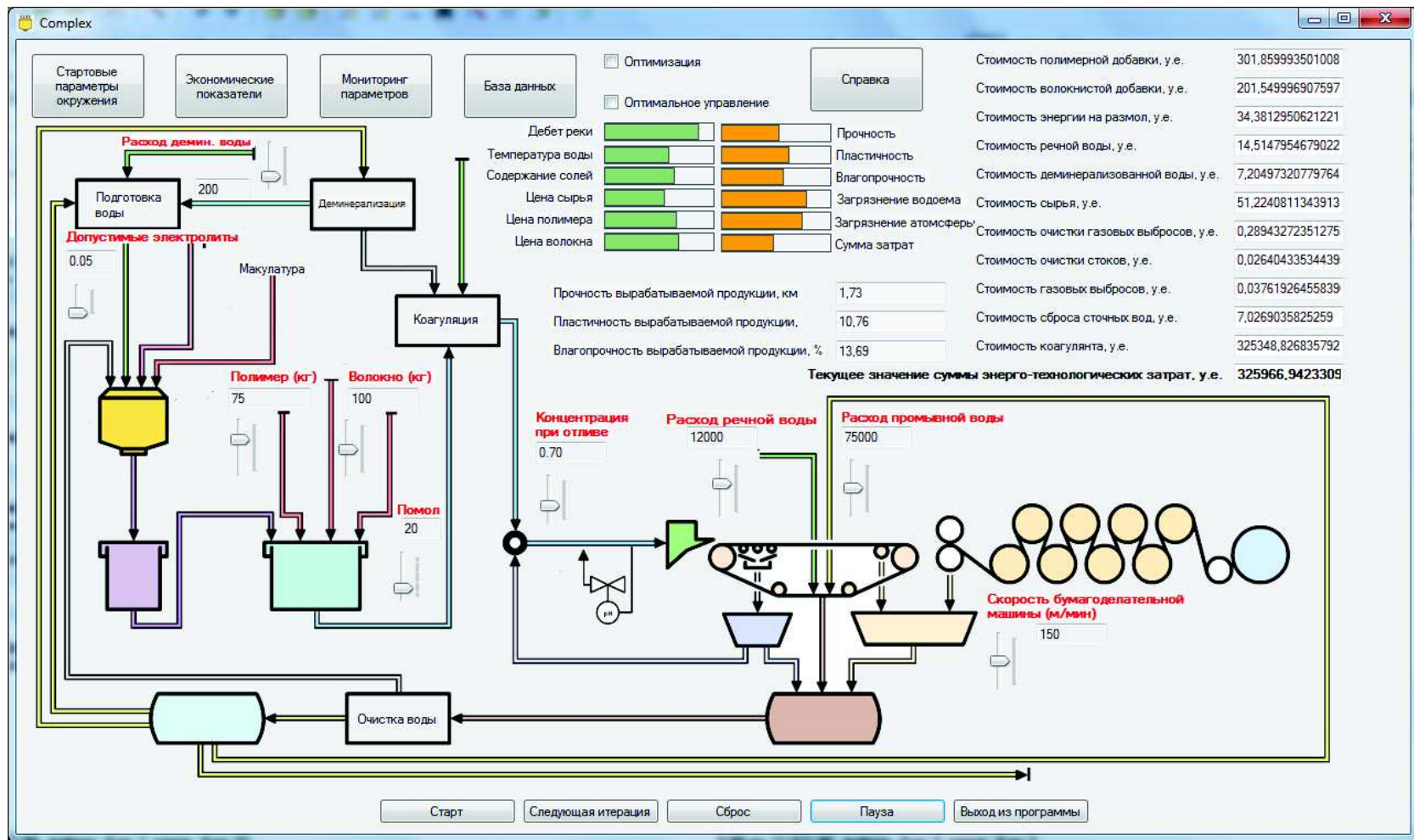


Рисунок 5 - Интерфейс программного средства в виде рабочего места технолога виртуального производственного комплекса

На рис. 6 представлен интерфейс разработанной программы FUZZY и в качестве примера показана формализация требований к качеству салфеточной бумаги из макулатуры, характерного вида продукции для индустрии Республики Беларусь.

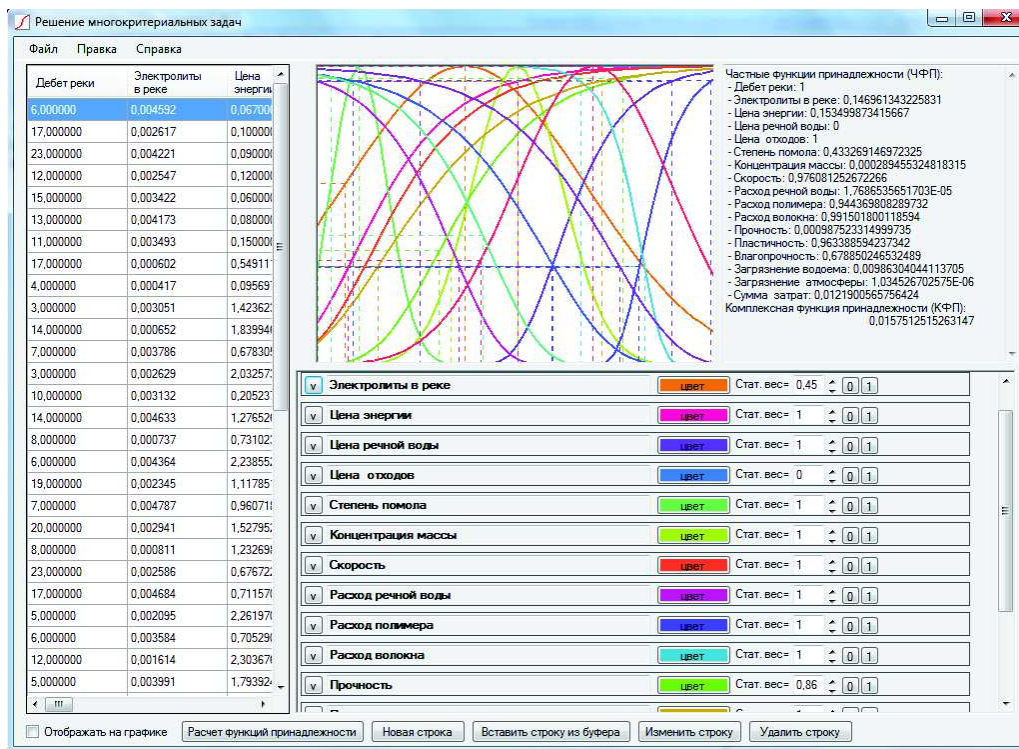


Рисунок 6 - Математико-графический образ требований к качеству бумаги

Гибкость программы позволяет из тысяч вариантов технологических режимов, сформированных программой Virtual_Complex, выявить лучшее сочетание значений управляющих факторов для избранных условий, например, содержания солей в речной воде в периоды половодья и засухи, для летних и зимних температур.

База данных и программное средство Fuzzy не предназначены для немедленного внедрения на любом предприятии и ревизии действующих технологических режимов. Главным достоинством работы мы считаем ее смысловую и методическую составляющие, демонстрирующие возможность адаптации производства к внешнему окружению, а целевое наполнение базы данных в любой отрасли может обозначить новые направления поиска оригинальных решений в удовлетворении потребностей различных категорий населения и обрести уверенность в конкурентной борьбе.

ЛИТЕРАТУРА

1 Колесников, В. Л. Оптимальное управление процессом канифольной проклейки бумаги в массе с использованием коллоидно-

химического регулятора / В. Л. Колесников, В. С. Малыгин // Известия вузов: Лесной журнал. – Вып. 1, 1978, С. 110–113.

2 Колесников, В. Л. Бумага и картон из волокнисто-полимерных композиций / В. Л. Колесников – Мн.: БГТУ, 2004. – 242 с.

3 Колесников, В. Л. Системный анализ производственных процессов в полиграфии / В. Л. Колесников. – Мн.: БГТУ, 2011. – 360 с.

УДК 676.017.2

Я. В. Казаков, доц., д-р техн. наук;
Д. Г. Чухчин, доц., канд. техн. наук;
И. В. Лебедев, асп.; М. А. Архилин, асп.;
К. А. Романенко, магистрант

j.kazakov@narfu.ru (С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, РФ)

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА
ПОВЕРХНОСТИ ВОЛОКНА ПРИ ХАРАКТЕРИСТИКЕ
БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

При изучении формирования бумагообразующих свойств волокон в ходе изготовления волокнистого целлюлозного материала ключевым моментом является получение количественной и качественной информации о состоянии поверхности волокон. Поверхность волокон определяет силы взаимодействия волокна с компонентами бумажной массы и оказывает определяющее влияние на процессы формования волокнистой структуры на сетке БДМ, а также механические свойства и деформационное поведение образцов. Получение новой информации о поверхности волокна является важным шагом при совершенствовании технологии переработки растительного сырья при получении бумаги и картона. В качестве количественного критерия принимается величина удельной поверхности [1], которая увеличивается в процессе удаления лигнина и, в большей степени, при механическом воздействии – размоле. Определение величины удельной поверхности растительных волокон является одним из важных элементов исследований [4].

В эксперименте использовали лабораторные отливки хвойной сульфатной беленой целлюлозы (не содержащей остаточного лигнина), а также небеленой целлюлозы с высоким и низким содержанием лигнина (число Каппа 51,9 и 25,4), изготовленные на листоотливном аппарате BBS-2 (Estanit) типа Rapid-Ketten¹. Из размолотой до 16, 20, 30 и 60-ШР на мельнице Йокро¹ целлюлозы были изготовлены и испытаны стандартные отливки с массой 75 г/м². Для исследования поверхности образцов пробы отбирали в виде влажной отливки, снятой с