

Однако в процессе поиска может быть найдено несколько решений. Поэтому массив решений нужно делать двумерным, а найденное в блоке 3 на рис.3 допустимое сочетание материальных потоков в системе необходимо сравнивать в блоке 7 с теми решениями, которые ранее уже были обнаружены и записаны в память в блоке 19.

После просмотра 11663 и 12175 вариантов функционирования рассматриваемой технологической схемы рекомендуются сочетания потоков, представленные в табл. 1 и 2 соответственно и обеспечивающие технологичность, качество продукции, экологичность и экономичность химико-технологической системы.

Таблица 1

Сочетание потоков после просмотра 11663 вариантов функционирования схемы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0

Таблица 2

Сочетание потоков после просмотра 12175 вариантов функционирования схемы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0

Таким образом, применение математической логики позволяет формализовать процедуру анализа и синтеза технологических схем. На примере производства обойной бумаги получены варианты оптимальной структуры материальных потоков при согласованных уровнях требований к их эксплуатационным характеристикам.

УДК 504.062.2+519.8+676.2

В.Л. Колесников, профессор

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РАЗМОЛЕ БУМАЖНОЙ МАССЫ

On the base of logistic models of fiber suspensions grinding process in a battery of series-parallel connected machines, an optimisation of specific consumption of energy has been made.

Известно [1], что стадия размола бумажной массы является самой дорогостоящей и самой энергоемкой операцией в технологии бумаги.

При современной организации производства на бумажных фабриках процесс размола осуществляется на последовательно-параллельно соединенных размалывающих машинах. Причем удельные давления (нагрузки) на двигатели мельниц, как правило, устанавливают «вслепую», «наощупь», руководствуясь опытом и интуицией. Поэтому существуют возможность и предпосылки для снижения энергозатрат, если нагрузки не подбирать, а вычислять, основываясь на научном подходе к решению проблемы.

Основной характеристикой эффективного использования электроэнергии является коэффициент мощности, который для размалывающих мельниц в среднем составляет 0,8. В общем случае, доводя нагрузки до номинальных, паспортных характеристик каждой мельницы и уменьшая продолжительность размола (снижая реактивную составляющую), можно добиться повышения эффективности использования электроэнергии.

Можно утверждать, что между оптимальными и реальными затратами электроэнергии на размол существует значительный интервал, который возможно сократить путем оптимизации условий проведения процесса. Если так управлять системой, чтобы достигалось заданное качество продукции при минимально возможных затратах энергии, то это ликвидирует перерасход электроэнергии и позволит перейти на более высокий уровень организации процесса.

Результаты процесса размола могут быть охарактеризованы двумя крайними показателями – степенью измельчения волокон целлюлозы вдоль и поперек.

Измельчение вдоль волокон называется гидратацией и измеряется степенью помола, выражаемой в градусах Шоппер-Риглера. Неразмолотая целлюлоза чаще всего имеет степень помола 13–16 °ШР, высоко размолотая целлюлоза – 65–95°ШР. Массовые сорта бумаги вырабатываются из целлюлозы со степенью помола 25–45 °ШР.

Измельчение волокон поперек называется рубкой и измеряется длиной волокна. Чаще всего длина волокна характеризуется косвенной величиной – весовым показателем, изменяющимся от 250–500 мг для неразмолотых волокон до 35–45 мг для размолотых, сильно укороченных волокон.

Чем выше степень помола длинных волокон, тем прочнее межволоконные связи в бумаге, но тем неравномернее по структуре бумажный лист. Из коротких волокон можно получить равномерный по структуре бумажный лист, но он не будет прочным. Поэтому для каждого вида бумаги должно существовать оптимальное соотношение между длиной волокна и степенью помола.

Энергетические затраты на размол целлюлозы с различными соотношениями степени помола и длины волокна, естественно, будут разными. К основным управляемым факторам относятся продолжительность и удельное давление при размоле. Концентрация массы является вспомогательным управляющим фактором для регулирования процесса размола.

Известно, что изменение степени помола и длины волокна при размоле происходит по логистическим кривым. Если бы размол осуществлялся в одну ступень, то его продолжительность определялась бы временем, необходимым для достижения конечных результатов на данном размалывающем оборудовании. При последовательном соединении нескольких машин заданные показатели качества размолотой массы будут складываться из времени пребывания суспензии в зоне размола на каждой мельнице.

Таким образом, математическая модель процесса размола должна описывать такую ситуацию, при которой начальные параметры для последующей машины равны конечным параметрам предыдущей. Для степени помола должна быть выбрана модель с подвижной нижней асимптотой G_{k-1} , для длины волокна – с подвижной верхней асимптотой L_{k-1} . Характерный вид этих кривых представлен на рис. 1.

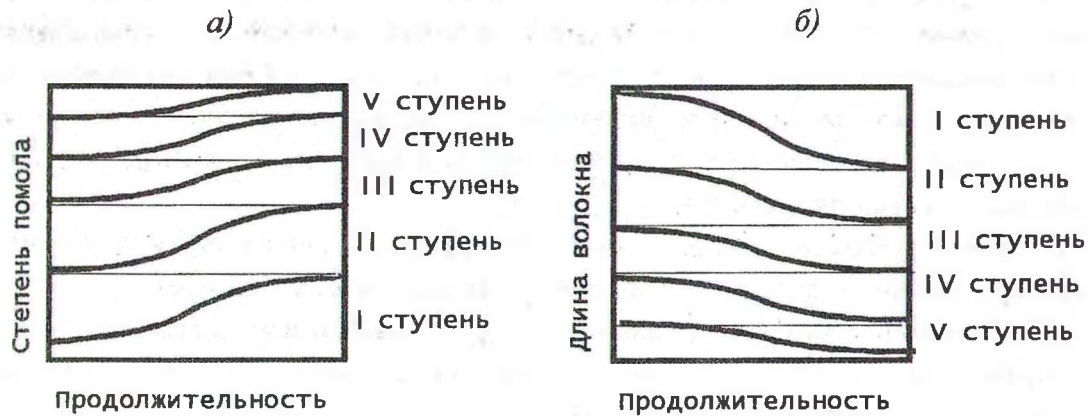


Рис. 1. Графические образы логистических моделей процесса размола на машинах непрерывного действия: *а* – логистическая модель степени помола массы с подвижной нижней асимптотой; *б* – логистическая модель длины волокна с подвижной верхней асимптотой

В эксперименте участвовало 5 факторов:

X_1 – нагрузка на двигатели;

$X_2 = G_{k-1}$ – степень помола, достигнутая на предыдущей мельнице;

$X_3 = L_{k-1}$ – длина волокна, достигнутая на предыдущей мельнице;

X_4 – концентрация массы при размоле;

X_5 – текущая пропускная способность одной мельницы.

Значение X_5 устанавливалось путем дросселирования массы на выходе.

С помощью линеаризующих преобразующих соответствий получены математические модели, схемы которых представлены ниже и имеют следующий вид:

$$z_1 = f(X_1, \dots, X_5); \quad z_2 = f(X_1, \dots, X_5);$$

$$G_k = G_{k-1} + \frac{(As^{\text{верхн}} - G_{k-1}) \cdot e^{z_1}}{1 + e^{z_1}};$$

$$L_k = L_{k-1} - \frac{(L_{k-1} - As^{\text{нижн}}) \cdot e^{z_2}}{1 + e^{z_2}},$$

где k – номер мельницы, $As^{\text{верхн}}$, $As^{\text{нижн}}$ – неподвижные асимптоты.

Зависимость удельных расходов электроэнергии от управляющих переменных мало обсуждалась в специальной литературе, встречаются лишь данные об удельных расходах электроэнергии в зависимости от вида сырья (сульфатная целлюлоза беленая и небеленая, сульфитная целлюлоза, облагороженная и др.). Зависимости минимальных удельных расходов энергии для достижения бумажной массы требуемых значений степени помола и длины волокна не исследовались совсем.

Специфика настоящей работы заключается в том, что в результате эксперимента, проведенного в условиях Сегежского ЦБК, не только получены указанные логистические модели для степени помола и длины волокна в зависимости от текущих нагрузок при параллельно-последовательном включении размалывающих машин, но и по комбинаторному плану вычислительного эксперимента методом Монте-Карло решалась задача оптимизации поиска минимальных значений удельных расходов для различных сочетаний требуемых значений степени помола и длины волокна.

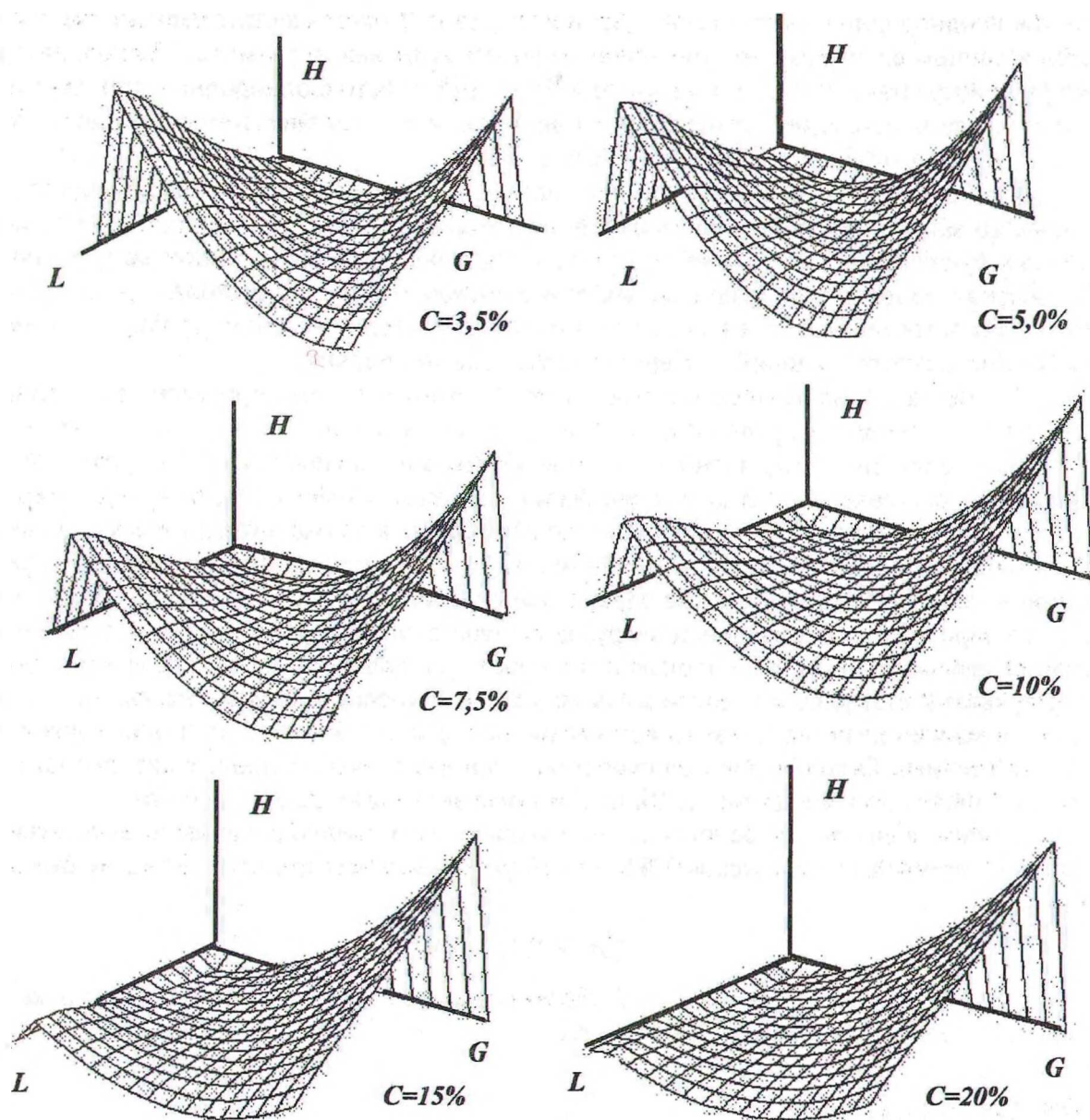


Рис. 2. Поверхности отклика минимальных удельных расходов электроэнергии при размоле одной тонны целлюлозы для различных видов бумаги на один градус Шоппер-Риглера и снижении весового показателя длины волокна на один дециграмм: H – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/(т·°ШР); L – длина волокна, мг; G – степень помола, °ШР

Трехмерные поверхности отклика (рис. 2) свидетельствуют о существовании области наименьших минимальных удельных расходов электроэнергии для различных видов бумаги, задаваемых характерными соотношениями длины волокна (L) и степени помола (G).

Минимальные удельные расходы энергии увеличиваются при получении волокнистой массы с длинными волокнами и высокой степенью помола. В этом случае затраты энергии идут преимущественно на расчесывание и продольное расщепление.

При этих условиях достигается высокая прочность межволоконных связей, но наблюдается неоднородность структуры бумажного листа. Расход электроэнергии увеличивается в данном случае за счет увеличения продолжительности размола. Расход электроэнергии возрастает также при получении бумажного листа с однородным просветом. В этом случае преобладает процесс рубки волокон, и расход энергии возрастает за счет увеличения нагрузок на двигатели мельниц.

Поскольку в разбавленных суспензиях преимущественно идет процесс рубки волокна, то затраты на получение волокнистой массы с короткими волокнами в разбавленных суспензиях меньше, чем затраты на получение волокон таких же размеров в суспензиях более концентрированных при одинаковой степени помола. Иными словами, область минимальных расходов электроэнергии с ростом концентрации смещается в область высоких значений степени помола и длины волокна.

Особенность настоящей работы также и в том, что при определении минимальных расходов энергии осуществлялась оптимизация распределения нагрузок на двигатели всех мельниц, объединенных в последовательно-параллельную батарею, причем автоматически генерировались и оценивались сотни и тысячи вариантов сочетаний нагрузок в пределах области факторного пространства, а также автоматически добавлялись мельницы как при последовательном, так и параллельном их включении с определением необходимого количества параллельных цепочек на каждой стадии. Кроме того, оценка вариантов распределения нагрузок осуществлялась с учетом различных концентраций массы при размоле и производительности размольно-подготовительного отдела. В результате определялись число мельниц, степень дросселирования массы на выходе, число ступеней размола с разной концентрацией, а также количество линий параллельно включенных батарей, обеспечивающих заданные значения производительности отдела, степени помола и длины волокна и минимизирующих расход энергии.

Таким образом, на основании математического моделирования и оптимизации процесса размола на Сегежском ЦБК из 118 установленных мельниц 30 могут быть отключены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Легоцкий С.С., Гончаров В.И. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы. – М.: Лесн. пром-сть, 1990.

УДК 676.2:012.24

В.Л. Колесников, профессор; Н.В. Черная, доцент

УПРОЧНЕНИЕ БУМАГИ СМЕСЯМИ ГИДРОДИСПЕРСИЙ ПОЛИМЕРОВ

The technology was inculcation in papermills and cardboard factories in Belarus.

Одним из перспективных способов упрочнения бумаги является использование в ее композиции таких гидродисперсий полимеров, как синтетические каучуковые латексы [1]. Эффективность их действия зависит от химического строения каучука и степени адсорбционной насыщенности частиц поверхностно-активным веществом [2]. Бумажной промышленностью широко используются такие синтетические каучуковые латексы, как бутадиен-винилиденхлоридные, карбоксилатные, хлоропреновые, бутадиенстирольные и бутадиен-нитрильные. Для снижения дисперсности частиц осадка каучука и последующего смещения режима проклейки волокнистой массы от гомотоагуля-