

УДК 504.062.2+519.8+676.2

В.Л. Колесников, профессор

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТЕХНИЧЕСКИХ ВИДОВ БУМАГИ
С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ**

We worked out the mathematical principles for the analysis and synthesis of the paper manufacture.

При производстве технических видов бумаги в качестве продукции творческой деятельности инженера-технолога традиционно выступают технологический режим и технологическая схема. Если создание оптимального технологического режима методически можно считать обеспеченным, то компьютерная методология создания технологических схем службами предприятий и отраслевых проектных институтов только начинает разрабатываться.

В качестве основного вида продукции, изготовленной из утилизируемой макулатуры, предложено выбрать обойную бумагу. Такой выбор хорош тем, что выводит макулатуру из многократного повторного использования. Наклеенные на стены обои долго не превратятся во вторичное сырье. К прочности обойной бумаги не предъявляется очень высоких требований, поскольку за весь период эксплуатации обоев она не работает ни на сжатие, ни на растяжение. Но есть и специфические требования к качеству обойной бумаги. Во-первых, она должна воспринимать рельефное тиснение без деформации благодаря ее повышенной растяжимости. Во-вторых, будучи пропитанной водным клеем, она не должна разрываться от собственного веса при выклейке обоев, что обеспечивается ее достаточно высокой влагопрочностью. В-третьих, рельефный рисунок, нанесенный на данный вид бумажной продукции, не должен изменять глубину тиснения при влажном разглаживании на гладкой плоской поверхности стены.

Требуемый комплекс потребительских и эксплуатационных свойств, предъявляемых к обойной бумаге, можно обеспечить применением полимерных связующих. Многие ценные и перспективные для нас полимеры не растворяются в воде и не плавятся при повышенной температуре. Поэтому их использование в технологии бумаги существенно затруднено. Самым интересным, самым универсальным и самым многотоннажным классом полимеров для наших целей являются водные дисперсии. Дисперсной фазой могут быть термопластичные и термореактивные смолы, а также все разновидности эластомеров, например синтетические каучуковые латексы. Последние придают бумаге не только требуемую влагопрочность, но и такие специальные свойства, как пластичность и растяжимость. Применение этого класса соединений при производстве технических видов бумаги значительно расширяет возможности использования в их композиции макулатуры благодаря их упрочняющему действию. Кроме этого, добавление к ним таких веществ, как жидкое стекло, обеспечивает устойчивость тисненого рельефа при выклейке обоев.

Одной из основных производственных операций, связанных со своеобразием макулатуры, является необходимость упрочнения листовых материалов, поскольку растительные волокна, уже однажды прошедшие размол, отлив и сушку, отбухли, ороговели и в значительной степени утратили свои бумагообразующие свойства. Поэтому упрочнение целесообразно осуществлять с помощью водных дисперсий бутадиенстирольных полимеров (каучуковых латексов).

В микрогетерогенной водной коллоидной системе взаимодействуют разнородные, разновеликие и разнопотенциальные микроскопические частицы волокон и каучуковых глобул. Эти частицы имеют одноименный электроотрицательный статический заряд, поэтому они не слипаются при контактах и требуют введения внешнего электролитного коагулянта, роль которого чаще всего выполняет сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$. В результате взаимодействия гидродисперсии полимера с электролитом частицы осадка каучука получают очень крупными (преимущественной формой коагуляции является гомокоагуляция – процесс слипания однородных мелкодисперсных частиц).

Целесообразной формой коагуляции латекса в водно-волоконистой суспензии является гетероадагуляция (процесс слипания разнородных разновеликих частиц или процесс налипания мелких частиц каучука на макроповерхность растительных волокон). Крупные частицы осадка раздвигают волокна, разрыхляют структуру листового материала и ослабляют межволоконные связи, тогда как фиксация мелкодисперсных частиц упрочняющих добавок на поверхности волокон заменяет жесткие связи волокно–волокно на пластичные волокно–полимер–волокно. В результате получается продукция, выдерживающая большое число двойных перегибов (высокое сопротивление излому), обладающая значительной влагонепрочностью и повышенным сопротивлением истиранию.

Надо также обратить внимание на то, что при обеспечении гетероадагуляции для достижения высокого качества листовых материалов требуемые расходы упрочняющих полимеров оказываются значительно меньшими, чем при гомокоагуляции. При этом фиксация полимера на волокнах предотвращает попадание химических веществ в сточные воды и снижает загрязнение окружающей среды.

Главным условием обеспечения гетероадагуляции следует считать предельное, достаточно малое содержание электролитов в волоконистой суспензии до введения в нее упрочняющих добавок. Это условие трудно выполнить в реальных производственных условиях, поскольку добавляемый коагулянт (сульфат алюминия) накапливается в рециркулирующих потоках оборотной воды и ухудшает характеристики всей технологии.

Соблюдение требований обеспечения высокого качества продукции, приемлемых экономических показателей технологии и допустимого уровня загрязнения окружающей среды наталкивается на совершенно естественные противоречия.

С одной стороны, необходимо максимально использовать оборотную воду для уменьшения объема стоков, но это приведет к удорожанию продукции за счет увеличения расхода упрочняющей полимерной добавки, так как в оборотной воде будет накапливаться сульфат алюминия, вредно влияющий на характер коагуляции латекса.

С другой стороны, если оборотную и сточную воду подвергнуть глубокой очистке, например термической деминерализации, то экологические и технологические требования будут удовлетворены, но финансовые затраты на деминерализацию приведут к банкротству предприятия по экономическим причинам.

Следовательно, для оптимального оперативного технологического управления необходимо решение компромиссной задачи оптимизации, в результате которого должны быть найдены такие значения управляющих воздействий, которые обеспечивают получение продукции заданного качества при допустимом уровне загрязнения окружающей среды и минимизируют функцию цели (стоимость энерготехнологических затрат) или максимизируют прибыль от реализации продукции.

Избыточность информации блок-схемы заключается в том, что в нее включено больше материальных потоков, чем требуется для номинального режима работы. При

синтезе бессточной технологии в схеме нужно оставить такие потоки, которые при функционировании системы обеспечивали бы качество продукции, ее дешевизну, технологичность и максимальную степень интеграции с окружающей средой.

В качестве конкретного примера, иллюстрирующего полезность математической логики, на рис. 1 изображена исходная многовариантная структурная блок-схема химико-технологической системы утилизации волокнистых отходов с избыточной информацией. Рассматриваемая система состоит из шести основных элементов (технологических операций) и 14 материальных потоков.

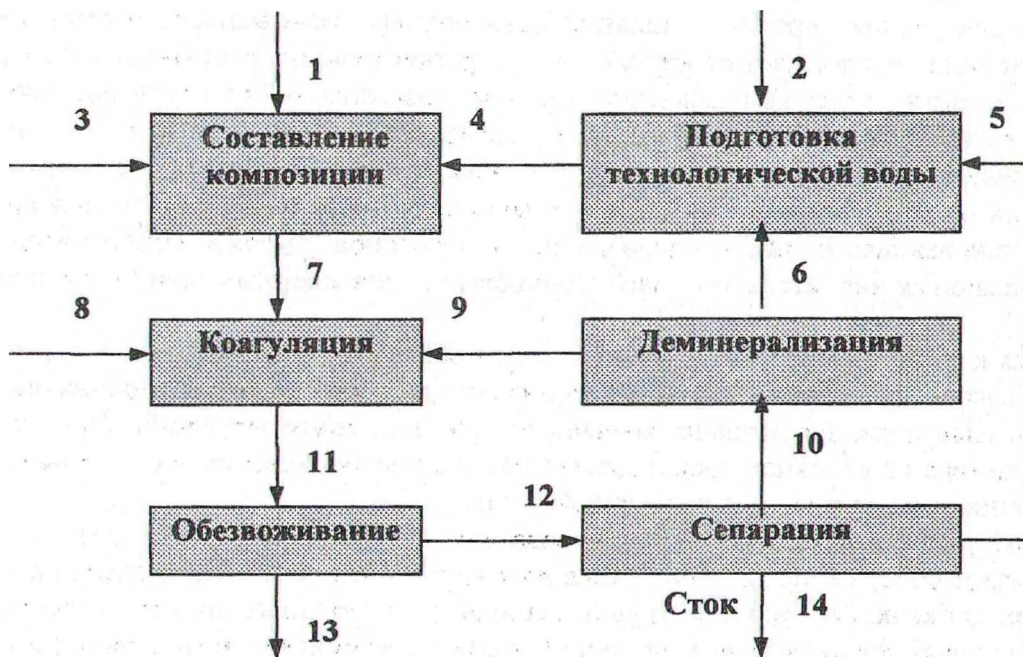


Рис. 1. Исходная многовариантная структурная блок-схема технологической системы с избыточной информацией

Из макулатурного сырья $Q(1)$ можно получить продукцию в виде листового материала $Q(13)$, если в волокнистую суспензию вводить упрочняющие добавки гидродисперсий полимеров $Q(3)$, которые необходимо коагулировать электролитами, добавляя их извне $Q(8)$ или извлекая их из оборотной воды на узле деминерализации $Q(9)$. Если для редиспергирования макулатуры использовать только оборотную воду $Q(5)$, в которой в виде накопленных растворенных загрязнений содержится коагулянт, то осаждение гидродисперсий происходит в неблагоприятном режиме, что приводит к перерасходу упрочняющей добавки и удорожанию продукции. Если работать на речной воде $Q(2)$, то расход полимеров уменьшится, но появится сток $Q(14)$, что делает технологию неэкологичной. Если вместо речной воды $Q(2)$ использовать только деминерализованную воду $Q(6)$, то при требуемой экологичности системы не получится требуемой дешевизны продукции.

Нужно так организовать структуру материальных потоков, чтобы система обладала одновременно и технологичностью, и экономичностью, и экологичностью и чтобы достигалось требуемое качество продукции.

Математической обработке с помощью формальной символической математической логики подвергаются следующие высказывания:

- система становится способной к началу работы лишь тогда, когда в ней будут присутствовать базовые потоки $Q(1)$, $Q(3)$, $Q(4)$, $Q(7)$, $Q(11)$, $Q(12)$ и $Q(13)$, превращающие сырье в готовую продукцию; логическая формула этого высказывания имеет вид

$$T \leftrightarrow Q(1) \wedge Q(3) \wedge Q(4) \wedge Q(7) \wedge Q(11) \wedge Q(12) \wedge Q(13); \quad (1)$$

- потоки рассола $Q(9)$ и оборотной воды $Q(10)$, поступающей на узел деминерализации, включаются в систему только тогда, когда есть потребность в деминерализованной воде; этому условию соответствует следующая логическая формула

$$(Q(9) \wedge Q(1)) \leftrightarrow Q(6); \quad (2)$$

- если из оборотной воды на узле деминерализации извлекаются растворенные соли $Q(9)$, то отпадает надобность в добавках свежего коагулянта $Q(8)$:

$$\neg Q(8) \leftrightarrow Q(9); \quad (3)$$

- загрязняющий окружающую среду сток $Q(14)$ появляется только тогда, когда в систему вводится речная вода $Q(2)$:

$$Q(14) \leftrightarrow Q(2); \quad (4)$$

- требуемое качество продукции получается только в тех случаях, когда потребность в воде обеспечивается или речной водой $Q(2)$, или оборотной $Q(5)$, или деминерализованной $Q(6)$, или их смесью:

$$K \leftrightarrow (Q(2) \vee Q(5) \vee Q(6)) \vee (Q(2) \wedge Q(5) \wedge Q(6)); \quad (5)$$

- если использовать только оборотную воду $Q(5)$ без речной $Q(2)$ и деминерализованной $Q(6)$ или только деминерализованную $Q(6)$ без речной $Q(2)$ и оборотной $Q(5)$ воды, то продукция получается очень дорогой и экономически невыгодной:

$$D \leftrightarrow (Q(5) \wedge \neg Q(2) \wedge \neg Q(6)) \vee (Q(6) \wedge \neg Q(2) \wedge Q(5)); \quad (6)$$

- экологичность системы будет обеспечена только тогда, когда будет отсутствовать сток $Q(14)$:

$$E \leftrightarrow \neg Q(14); \quad (7)$$

- структура материальных потоков в химико-технологической системе будет приемлема только тогда, когда будет обеспечена ее технологичность, экономичность, экологичность и выпуск продукции требуемого качества:

$$F \leftrightarrow T \wedge E \wedge K \wedge \neg D. \quad (8)$$

Первая трудность, которую приходится преодолевать при технической реализации идеи применения математической логики для анализа и синтеза химико-технологических систем, заключается в том, что количество вложенных циклов конфигурацией компьютера может быть лимитировано и составлять, допустим, не более десяти. В то же время реальное число материальных потоков, представленных в технологической схеме, может составлять многие сотни.

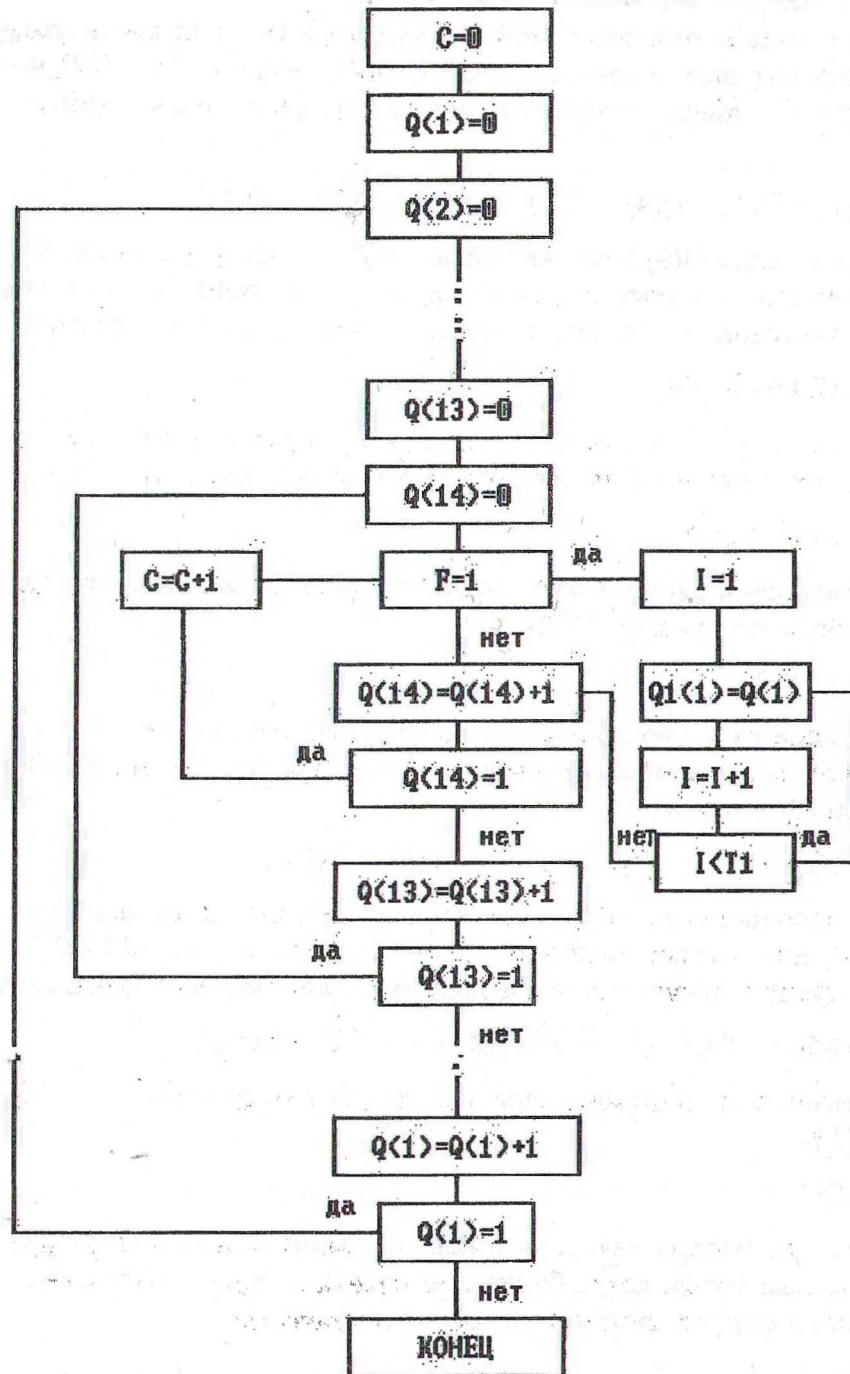


Рис. 2. Генерирование (формирование) вариантов технологической структуры

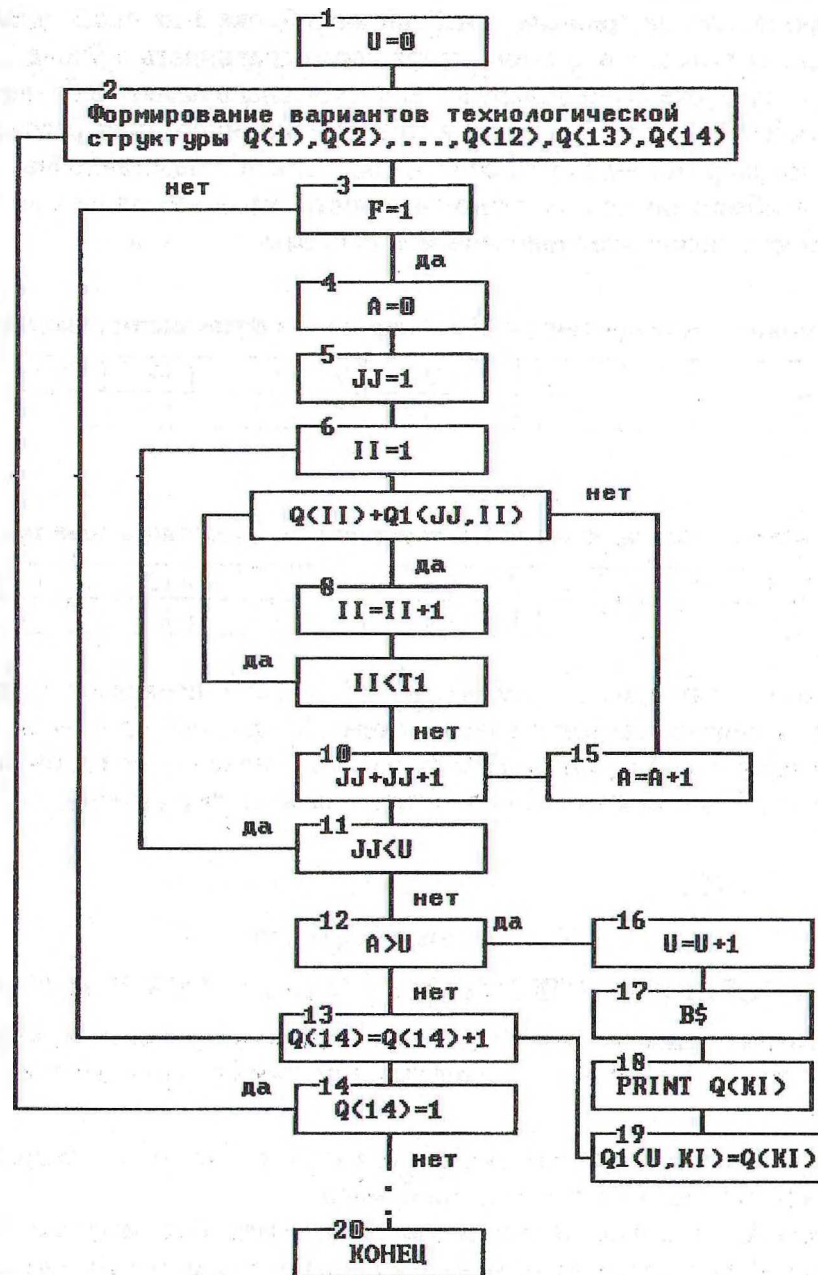


Рис. 3. Сравнение, фильтрация и запоминание оптимальной технологической структуры

Вторая трудность связана со сравнением, запоминанием и выдачей на печать допустимых вариантов технологической структуры.

Блок-схемы алгоритмов преодоления указанных трудностей представлены на рис. 2 и 3. Если в блоке 7 на рис. 2 критериальное логическое уравнение приобретает истинное значение, то в блоке 10 происходит запоминание соответствующей технологической структуры.

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 размолы бумажной массы является самой дорогостоящей и самой энергоемкой операцией в технологии бумаги.

При современной организации производства на бумажных фабриках процесс размолы осуществляется на последовательно-параллельно соединенных размалывающих машинах. Причем удельные давления (нагрузки) на двигатели мельниц, как правило, устанавливаются «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 размолы (снижая реактивную составляющую), можно добиться повышения эффективности использования электроэнергии.