

3. Практикум по коллоидной химии / В.И. Баранова, Е.Е. Бибик, Н.М. Кожевникова и др. – М.: Высшая школа, 1983.
4. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы). – М.: Химия, 1982.
5. Ефремов И.Ф., Усыров О.Г. Взаимодействие частиц дисперсной фазы на большом расстоянии // Коллоидный журнал. – 1972. – Т.34. – № 2. – С.213-218.

УДК 676.2:012.24.038

В. Л. Колесников, профессор; Г. С. Гридюшко, ст. преподаватель;  
Н. В. Черная, доцент

### ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛИМЕРНЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ДОБАВОК В ПРОИЗВОДСТВЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ БУМАГИ

Mathematical function  $D$  should be used for the determination of the paper and board optimal composition.

Для определения оптимального состава волокнисто-латексных композиций при получении бумаги и картона с заданным набором показателей качества в математическую модель должны быть включены факторы, меняющиеся дискретно с целочисленными цифровыми индексами (кодами), характеризующими вид волокнистых и полимерных материалов [1].

Процессы, в которых участвуют качественные (атрибутивные) дискретно меняющиеся факторы, легче всего исследуются с помощью латинских или греко-латинских квадратов, ортогональных гиперкубов или параллелепипедов. Однако этим путем можно определить лишь оптимальную природу веществ, то есть решить только третью часть задачи.

Известны также планы эксперимента, в матрицу которых входят не только атрибутивные, но и режимные параметры, например латинские квадраты, совмещенные с репликой полного факторного эксперимента различной степени дробности. Особенностью этих планов является возможность оценивания только нетривиальных комбинаций главных эффектов и получения векторов коэффициентов полинома, так как варьирование режимных параметров предусматривается не более чем на двух уровнях, причем размерность совмещаемого латинского квадрата должна быть кратной двум. Эти особенности ограничивают применение указанных планов для решения задачи оптимизации композиционного состава бумаги по волокну и рецептур латексных проклеивающих смесей для управления свойствами бумаги и картона.

Наиболее плодотворный подход к составлению компромиссных регулярных насыщенных планов эксперимента заключается в последовательном преобразовании ортогональных таблиц заданной мощности, получаемых из проективных геометрий, в которых вершинам связок параллельных плоскостей на бесконечности соответствуют изучаемые факторы.

Оптимизацию рецептур латексных проклеивающих смесей для различных массовых и специальных видов бумаги и картона было решено проводить с учетом 13 основных факторов процесса:  $X(1)$  – природа целлюлозы (сульфитная беленая хвойная (СФИБХ), сульфатная беленая хвойная (СФАБХ) и сульфатная беленая лиственная (СФАБЛ));  $X(2)$  – природа синтетического каучукового латекса (БСК-65/3, ДВХБ-70,

ДММА, СКН-40ИХ, СКС-65ГП и СКИ-3); X(3) – природа коллоидно-химического регулятора (резинат натрия (РЕНА), поверхностно-активное вещество ОП-7, метилцеллюлоза (МЦ), силикат натрия (СИНА), меламиноформальдегидная смола (МФС) и поливиниловый спирт (ПВС)); X(4) – природа коагулянта (сульфат алюминия (СА), алюминат натрия (АЛ) и катионный водорастворимый полиэлектролит (КВП)); X(5) – природа волокнистой добавки (макулатура (М), древесная масса (Д), лавсановые (Л) и коженные волокна (КОЖ)); X(6) – природа полимерной добавки (церезин (ЦЕР), поливинилацетатная эмульсия (ПВА) и пековый клей (ПЕК)); X(7) – степень помола целлюлозы (25, 35 и 45° ШР); X(8) – расход проклеивающей смеси (15, 50 и 75 кг/т); X(9) – расход коллоидно-химического регулятора (5, 10 и 15 кг/т); X(10) – концентрация массы при проклейке (0,5, 1,0 и 3,5%); X(11) – доля волокнистой добавки в композиции (0, 0,25 и 0,50 доли ед.); X(12) – доля полимерной добавки в проклеивающей смеси (0, 0,15 и 0,30 доли ед.); X(13) – расход наполнителя (каолина) (0, 100 и 250 кг/т).

Для того чтобы по результатам испытаний образцов бумаги составить упорядоченный ряд предпочтительности на количественной основе, в качестве оценочного критерия целесообразно использовать функцию желательности ( $D$ ). Такой подход позволяет преобразовать массив выходных величин большой размерности в один столбец обобщенных результатов наблюдений. При разработке технологии специальных видов бумаги эталон комплекса свойств составляется из набора требуемых значений по каждому показателю качества. Формирование функции желательности начинается с изображения декартовой системы координат (рис.), ордината которой представляет собой безразмерную равномерную шкалу частных функции желательности, изменяющихся от нуля до единицы и характеризующих качество продукции по каждому показателю. Оси абсцисс представляют собой натуральные равномерные шкалы значений тех показателей, по которым оценивается качество продукции. Чтобы увеличить эффективность алгоритма, шкалам дана возможность перемещаться в двух направлениях в горизонтальной плоскости, сжиматься и растягиваться до необходимой степени с тем, чтобы можно было зафиксировать любую из них в любом положении относительно любой из двух экспоненциальных кривых, расположенных в координатном пространстве и имеющих ограничения с одной или с двух сторон. Кривая 1, ограниченная с одной стороны, используется в тех случаях, когда за лучшие будут приниматься такие значения показателей качества, которые больше или меньше определенной установленной величины. Кривая 2 с двухсторонними ограничениями используется тогда, когда качество располагается в определенном диапазоне, причем изменения значений показателя в обе стороны от установленных границ считаются явлением нежелательным.

Организация подготовки исходных данных должна осуществляться по следующим правилам. Во-первых, начальным этапом подготовки является выбор и обоснование количества показателей качества продукции, по которым предполагается получить обобщенную комплексную оценку. Во-вторых, по результатам анализа свойств исследуемого объекта каждый показатель качества следует соотнести с одной из двух экспоненциальных кривых, по которым будет осуществляться настраивание функции желательности. Если изменения значений показателя в одну сторону приводят к закономерному изменению частной функции желательности, то для настраивания следует выбрать асимметричную кривую 1 с односторонними ограничениями. Если изменения в одну сторону замеренных значений показателя приводят сначала к улучшению частной функции желательности, а затем к ее ухудшению, то настраивать этот показатель нужно по симметричной экспоненциальной кривой 2 с двухсторонними ограничениями.

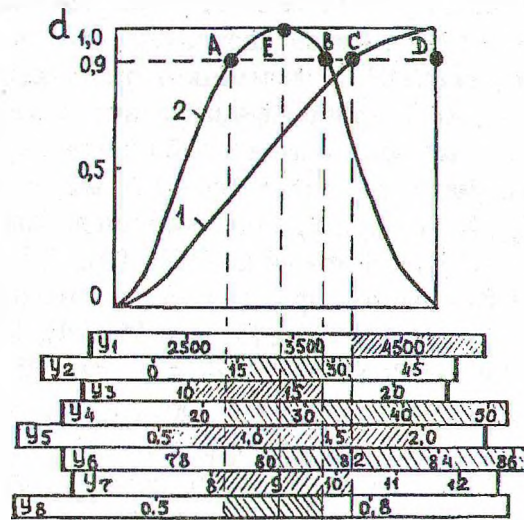


Рис. Система координат для формирования функции желательности (d)

Асимметричная кривая 1 с односторонним ограничением описывается уравнением

$$d_{ij} = e^{-e^{-(b_0 + b_1 \cdot Y_{ij})}} \quad (1)$$

где  $d_{ij}$  - частные функции желательности для  $j$ -го показателя качества;  $Y_{ij}$  - текущие (измеренные) значения  $j$ -го показателя качества;  $b_0$  и  $b_1$  - эмпирические коэффициенты.

При двухсторонних ограничениях кривая 2 задается выражением

$$d_{ij} = e^{-(Y'_{ij})^N} \quad (2)$$

где  $N$  - характеризует крутизну и острровершинность кривой 2;  $Y1j$  и  $Y2j$  - нижние и верхние границы диапазона значений  $j$ -го показателя, внутри которого качество должно соответствовать нижнему (нулевому) уровню;  $Y0j$  - значение  $j$ -го показателя качества, соответствующего значению 0,33 частной функции желательности.

Значения  $Y_{ij}$  и  $N$  при  $K = -1,0354$  рассчитывают по формулам:

$$Y_{ij} = \frac{2 \cdot Y0_j - (Y2_j + Y1_j)}{K} \quad (3)$$

$$N = \frac{\ln|\ln(1/0,33)|}{\ln|K|} \quad (4)$$

Если расчет ведется по кривой с односторонним ограничением, то эмпирические коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$  определяются из выражений:

$$b_1 = \frac{\ln|\ln|D2_j| - \ln|\ln|D1_j||}{K2_j - K1_j} \quad (5)$$

$$b_0 = \ln|\ln|D1_j| - b_1 \cdot K1_j \quad (6)$$

где  $K1j$  и  $D1j$ ,  $K2j$  и  $D2j$  - попарные элементы массивов, являющиеся координатами двух средних точек на кривой 1 для каждого показателя.

Обобщенный критерий качества ( $D_i$ ) вычисляется по формуле

$$D_i = \left( \prod_{j=1}^p d_{ij}^{\delta_j} \right)^{1/\sum_{j=1}^p \delta_j}, \quad (7)$$

где  $p$  - количество обобщаемых показателей качества;  $d_{ij}$  - частные функции желательности  $i$ -го значения по  $j$ -му показателю;  $\delta_j$  - статистический вес (важность)  $j$ -го показателя качества ( $0 \leq \delta_j \leq 1$ ).

Важным достоинством разработанного алгоритма является возможность его использования для оптимизации рецептур латексных проклеивающих смесей при производстве различных видов продукции с разнообразными свойствами. Настройка на оптимизацию условий производства нового вида продукции осуществляется только перемещением, раздвиганием или сужением соответствующих подвижных шкал на осях абсцисс.

Для определения оптимальных рецептур латексных проклеивающих смесей выбраны такие виды бумаги, при производстве которых латексная проклейка является эффективной: бумага для изготовления обоев (обойная), бумага мешочная, бумага шпагатная, бумага для изделий бытового и санитарно-гигиенического назначения (салфеточная), бумага для печати (типографская), бумага-основа влагопрочная для шлифовальных шкурок (шлифшкурка) и бумага обложечная влагопрочная. К каждой из них предъявляются требования по таким показателям качества, как разрывная длина ( $Y_1$ , м), влагопрочность ( $Y_2$ , %), впитываемость при одностороннем смачивании ( $Y_3$ , г/м<sup>2</sup>), сопротивление излому ( $Y_4$ , ч.д.п.), растяжимость ( $Y_5$ , %), белизна ( $Y_6$ , %), зольность ( $Y_7$ , %) и объемная масса ( $Y_8$ , г/см<sup>3</sup>). Требования к качеству рассматриваемых видов бумаги, используемые при конструировании комплекса их свойств, даны в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Статистический вес (важность) показателей качества  $Y_1$ - $Y_8$  различных видов бумаги с латексной проклейкой и вид кривой функции желательности

Вид бумаги	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$
Статистический вес (важность) каждого показателя качества								
Обойная	1	0,95	0,85	0,70	0,95	0,40	0,80	0,85
Мешочная	1	0,95	0,80	0,85	1	0,10	0,85	0,85
Шпагатная	1	0,95	0,85	0,95	0,90	0,50	0,75	0,85
Салфеточная	0,65	1	1	0,30	0,90	0,75	0,95	1
Типографская	1	0,50	0,75	0,80	0,30	1	1	1
Шлифшкурка	1	1	0,90	0,90	0,80	0,50	0,80	0,80
Обложечная	0,80	0,75	0,70	1	1	0,20	0,85	0,80
Вид кривой функции желательности каждого показателя качества								
Обойная	1	2	2	1	1	2	1	2
Мешочная	1	2	2	1	1	2	2	2
Шпагатная	1	2	2	1	1	2	2	2
Салфеточная	2	1	1	1	1	2	2	1
Типографская	1	2	2	1	1	1	1	1
Шлифшкурка	1	1	1	1	1	2	2	1
Обложечная	2	2	2	1	1	2	2	2

Таблица 2

Нижние и верхние пределы значений показателей качества  $Y_1$ - $Y_8$  при двухстороннем ограничении кривых функции желательности

Вид бумаги	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$
Нижние пределы значений каждого показателя качества								
Обойная	3500	15	30	8	0,8	10	6,0	0,65
Мешочная	7500	20	10	800	4,5	20	0,7	0,70
Шпагатная	6500	25	50	400	3,0	20	0,7	0,65
Салфеточная	2000	20	100	50	6,0	30	0,5	0,30
Типографская	2000	7	40	10	2,0	70	1,5	0,80
Шлифшкурка	7000	30	5	1000	4,0	10	0,7	0,70
Обложечная	3000	20	40	100	4,5	20	2,0	0,70
Верхние пределы значений каждого показателя качества								
Обойная	4500	30	60	100	2,0	45	10	0,75
Мешочная	9500	45	40	5000	7,5	50	2,0	0,85
Шпагатная	9500	50	100	4000	6,0	50	2,0	0,85
Салфеточная	4500	40	850	800	2,4	80	2,0	0,60
Типографская	3800	20	160	90	5,0	90	25	1,00
Шлифшкурка	10000	70	15	2000	6,0	45	2,0	0,80
Обложечная	4000	30	80	300	6,5	80	4,0	0,80

Оптимальный композиционный состав и стоимость в условных единицах (доллары США) рассматриваемых видов бумаги с латексной проклейкой представлены в табл. 3.

Таблица 3

Оптимальные расходные и режимные параметры производства бумаги

Параметры производства бумаги	Значение параметра при производстве конкретного вида бумаги						
	Обойная	Мешочная	Шпагатная	Салфеточная	Типографская	Шлифшкурка	Обложечная
X(1)	САНХ	САНХ	САНХ	САБЛ	СИБХ	САНХ	САБЛ
X(2)	БСК	СКИ-3	СКИ-3	БСК	БСК	СКН	СКН
X(3)	РЕНА	РЕНА	МЦ	ОП-7	СИНА	МЦ	РЕНА
X(4)	СА	СА	СА	ПАЭГ	СА	АЛ	СА
X(5)	Д	М	М	Д	Д	Д	М
X(6)	СИНА	ПВА	ТПЭ	ПВА	ПВА	БИЦ	ТПЭ
X(7)	25	25	25	25	45	45	45
X(8)	50	75	50	75	75	75	15
X(9)	5,0	8,2	6,45	11,4	8,9	4,5	1,65
X(10)	3,5	3,5	0,5	8,5	3,5	1,0	3,5
X(11)	0,5	0,25	0,25	0,5	0	0	0,5
X(12)	0,15	0,15	0,15	0	0,30	0,30	0,30
X(13)	100	0	0	0	250	0	0
Значение $D$	0,25	0,30	0,85	0,30	0,44	0,70	0,33
Стоимость композиции, у.е./т	1659,7	1877,3	1784,5	1916,6	1909,1	2219,4	1807,8

Таким образом, формализация выбора волокнистых материалов и полимерных упрочняющих добавок в производстве массовых и специальных видов бумаги с использованием функции желательности позволяет оптимизировать расходные и режимные параметры их производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кафаров В.В., Петров В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. – М.: Химия, 1974.

УДК 676.2:012.24.038

В. Л. Колесников, профессор

#### **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛАТЕКСНОЙ ПРОКЛЕЙКИ БУМАГИ И КАРТОНА ПУТЕМ ГЕТЕРОАДАГУЛЯЦИИ УПРочНЯЮЩИХ ДОБАВОК ГИДРОДИСПЕРСИЙ ПОЛИМЕРОВ**

The optimal control of the process of latex sizing gives the possibility to improve the paper and board quality.

При организации производства бумаги и картона со специальными свойствами, утилизации макулатуры или размолотых кожевенных отходов необходимо использовать упрочняющие добавки в виде гидродисперсий полимеров [1]. Экологическая характеристика таких технологий будет зависеть от полноты фиксации частиц осадка дисперсной фазы на макроповерхности волокон при коагуляции гетерогенной системы электролитами.

Проблему обеспечения гетероадагуляции микрогетерогенных систем можно решить с помощью поверхностно-активных веществ, которые мы назвали коллоидно-химическими регуляторами, добавляя их в систему перед введением в нее коагулирующего электролита [2]. Установлено, что степень удержания дисперсной фазы упрочняющей добавки в структуре листового материала из макулатуры или кожевенных отходов изменяется по закону кубической параболы в зависимости от количества добавленного коллоидно-химического регулятора [3]. Оптимальным управлением является значение абсциссы второго экстремума (максимума).

Положение максимума в факторном пространстве закономерно изменяется при изменении степени помола волокнистого материала, расхода упрочняющей добавки, концентрации и температуры микрогетерогенной системы. Указанные изменения свидетельствуют о необходимости оценки и учета установления и нарушения лабильного абсорбционного равновесия между молекулами коллоидно-химического регулятора, располагающимися на поверхности разнородных фаз при различных термодинамических условиях.

Теоретически и экспериментально выведены аналитические зависимости для расчета оптимального расхода коллоидно-химического регулятора, обеспечивающего гетероадагуляцию микрогетерогенной системы, в статических, равновесных условиях.

Критерием оптимальности при определении направления и величины управляющего импульса выбрана степень адсорбционной насыщенности (А) частиц дисперсной фазы поверхностно-активным веществом. Установлено, что гетероадагуляция обеспе-