

УДК 621.777.4

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА СМЕШЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

В.А. Ульшин

Доктор технических наук, профессор
Кафедра системной инженерии*

В.В. Леваничев

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра системной инженерии*

Т.М. Терещенко

Кандидат технических наук
Кафедра компьютерных наук*

А.В. Леваничев

Кафедра экономической кибернетики*

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля
кв. Молодёжный, 20а, г. Луганск, Украина, 91034

Проведено аналіз критеріїв якості змішування на прикладі технології соекструзії. Досліджено вплив якості змішування на фізико-механічні показники багатошарових плівкових виробів. Визначено нормативне значення індексу змішання характеризує якісну багатокомпонентну суміш. Досліджено та проведено аналіз одиначної проби для розробки методик контролю гравіметричних систем дозування багатокомпонентних сумішей

Ключові слова: технологія спільної екструзії, індекс змішання, гравіметричне дозування, багатокомпонентна суміш, якість змішування

Проведен анализ критериев качества смешения на примере технологии соекструзии. Исследовано влияние качества смешения на физико-механические показатели многослойных пленочных изделий. Определено нормативное значение индекса смешения, характеризующее качественную многокомпонентную смесь. Исследован и проведен анализ одиначной пробы для разработки методик контроля гравиметрических систем дозирования многокомпонентных смесей

Ключевые слова: технология совместной экструзии, индекс смешения, гравиметрическое дозирование, многокомпонентная смесь, качество смешения

1. Введение и методы исследования

В работе [1] было показано, что комплексным критерием качества смешения является суммарное среднеквадратичное отклонение компонентов смеси от заданного значения концентрации. Но такой критерий не является универсальным.

В качестве универсального критерия предлагается применять индекс смешения [2].

При этом предлагается оттолкнуться от следующих показателей смеси:

$$s_0^2 = c^*(1-c), \tag{1}$$

где c – концентрация компонента (в долях относительно единицы),

S_0^2 – дисперсия абсолютно несмешанной системы.

$$s_0 = \sqrt{c^*(1-c)}, \tag{2}$$

где s_0 – среднеквадратичное отклонение содержания компонента для абсолютно несмешанной системы,

S – среднеквадратичное отклонение содержания компонента в пробах отбираемых в процессе эксперимента.

При этом дисперсия s^2 рассчитывается по формуле:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n-1}, \tag{3}$$

где c_i и \bar{c} – текущая и средняя концентрация содержания компонента в пробе, n – число проб.

σ^2 – генеральная дисперсия для абсолютно смешанной системы

$$\sigma^2 = \frac{c^*(1-c)}{N}, \tag{4}$$

где N – число частиц в пробе.

Индексы смешения предлагается рассчитывать по следующим соотношениям [2]:

$$I_1 = \sigma^2 / s^2, \tag{5}$$

$$I_2 = 1 - S^2 / S_0^2, \tag{6}$$

$$I_3 = 1 - S / S_0, \tag{7}$$

$$I_4 = (S_0^2 - S^2) / (S_0^2 - \sigma^2), \tag{8}$$

$$I_5 = 1 - (S^2 - \sigma^2) / (S_0^2 - \sigma^2). \tag{9}$$

Для анализа чувствительности индексов был проанализирован пример из [3] где рассматриваются четыре варианта распределения компонента,

В табл. 1 приведены оценки качества смешения. Индексы I_1 и I_3 наиболее приемлемы, так как максимально близки к визуальной оценке несмешанных систем. Но индекс I_3 более просто применять на практике так как он не содержит параметра N – количество частиц в пробе, что очень важно для методов объемного отбора проб. Также I_3 более чувствителен для высокого уровня смешения (оценка 9 и более).

го удлинения многослойного пленочного материала V_F . В эксперименте был проведен расчет индекса смешения I_3 для пяти периодов изготовления продукции. Результаты расчета индекса смешения представлены в табл. 2.

Таблица 2

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	I_3 - среднее значение	S_{Σ}	V_F
Период 1	0,951	0,958	0,957	0,941	0,914	0,972	0,949	5,25	15,3
Период 2	0,960	0,969	0,986	0,946	0,944	0,970	0,962	4,03	11,4
Период 3	0,964	0,961	0,951	0,950	0,962	0,975	0,960	4,14	13,2
Период 4	0,956	0,966	0,954	0,965	0,954	0,940	0,956	4,37	13,5
Период 5	0,969	0,959	0,957	0,955	0,963	0,969	0,962	3,81	11,7

Таблица 1

Результаты анализа качества смешения различных модельных систем

Система	1	2	3	4
Общая оценка смешения	Абсолютно несмешанная система	Смешение неудовлетворительное	Смешение неудовлетворительное	Смешанная система
Визуальная оценка качества смеси по 10 бальной шкале	0	3	6	9
Дисперсия измеренная (s^2)	0,105	0,0125	0,0021	0,00109
Среднеквадратичное отклонение, измеренное в процессе исследования проб (s)	0,324	0,1118	0,04583	0,03302
Дисперсия абсолютно смешанной системы *100 (σ^2*100)	0,1056	0,1056	0,1056	0,1056
Дисперсия несмешанной системы (s_0^2)	0,1056	0,1056	0,1056	0,1056
Среднеквадратическое отклонение для несмешанной системы (s_0)	0,325	0,32496	0,32496	0,32496
Индекс смешения 1 (I_1)	0,010	0,084	0,503	0,969
Индекс смешения 2 (I_2)	0,006	0,882	0,980	0,990
Индекс смешения 3 (I_3)	0,003	0,656	0,859	0,898
Индекс смешения 4 (I_4)	0,006	0,891	0,990	1,000
Индекс смешения 5 (I_5)	0,006	0,891	0,990	1,000

2. Результаты исследований и их интерпретация

Для 4-й системы, где распределение получено методом генерации случайных чисел, индекс смешения $I_3=0,898$, поэтому уровень $I_3=0,9$ может быть принят в качестве граничного для принятия решения о качестве смешения.

По результатам исследования [1] многокомпонентной смеси состоящей из шести компонентов К была показана взаимосвязь между суммарным среднеквадратичным отклонением компонентов в смеси S_{Σ} и коэффициентом вариации относительно

Все значения индекса смешения выше 0,9 поэтому качество смешения всех компонентов во всех периодах можно считать удовлетворительным. Индекс смешения I_3 не зависит от процентного содержания компонента, поэтому является универсальной оценкой.

Уравнение регрессии $V_F = 259 - 256,81 * I_3$ имеет коэффициент детерминированности $R^2=0,90$ и значение критерия Фишера $F=27,4$ что выше критического $F_{кр}=10,3$ (для степеней свободы $V_1=5-3-1=1$ и $V_2=5-1-1=3$ и уровня $\alpha=0,05$), вычисления проведены с применением пакета анализа Excel. Следует отметить, что значение критерия Фишера для уравнения $V_F=1,72+2,62 * S_{\Sigma}$ составляет $F=19,5$, поэтому индекс смешения I_3 имеет более глубокую связь с качественными характеристиками пленки чем суммарное среднеквадратичное отклонение S_{Σ} .

В данном исследовании диапазон изменения коэффициента вариации составляет 11,4%-15,7%. Причем это средние значения в периодах П2 и П1 соответственно. Уровень 15,7% можно считать критическим, желательно стабилизировать уровень 11%. С другой стороны каждое значение индекса смешения это также среднее значения для компонента в исследуемом периоде. В данном исследовании это 1 месяц. Но технологический процесс требует управления по результатам точечного контроля. Поэтому интерес представляет выработка критериев оценки каждой пробы.

Качество смешения единичной пробы.

Для выработки критериев оценки единичной пробы проведем анализ распределения отклонений для различных компонентов.

Анализ статистических данных таблицы 3 показывает что диапазон $\pm 3S$ почти полностью охватывает диапазон значений зафиксированных в периоде. В периодах максимально стабильных П2, П3 и П5 нет выходов за диапазон $\pm 3S$, в периодах П1 и П4 наблюдаются колебания смешения более чем $\pm 3S$. Поэтому выход

единичной пробы за допуск $\pm 3S$ уже свидетельствует о нестабильном смещении.

Проведем более глубокий анализ распределения на примере компонента К1. Результаты представлены в табл. 4.

Только в одном периоде наблюдается выход за диапазон $\pm 3S$. 93,8% всех измерений лежит в диапазоне $\pm 2S$.

Нормирование значения S_n возможно если принять что среднее значение индекса смещения должно быть $I_3 \geq 0,96$. Такое значение индекса смещения характерно для периодов П2, П3 и П5.

Тогда $0,96 = 1 - S_n / S_0$ и с учетом

$$s_0 = \sqrt{c^*(1-c)} \rightarrow S_n = 0,04 * \sqrt{c^*(1-c)}$$

Таблица 3

Результаты контроля содержания различных компонентов в различных периодах

	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Минимум	Максимум	Допуск min	Допуск max	Попадание в диапазон
k1	X_{cp}	S_i	X_{min}	X_{max}	$X_{cp}-3S_i$	$X_{cp}+3S_i$	$\pm 3S$
П1	87,07	1,66	83,00	89,70	82,10	92,04	+
П2	86,76	1,36	85,50	89,40	82,68	90,84	+
П3	87,38	1,21	85,40	90,90	83,74	91,02	+
П4	87,54	1,45	82,50	90,80	83,19	91,89	-
П5	87,59	1,02	86,20	90,00	84,52	90,66	+
k2	X_{cp}	S_i	X_{min}	X_{max}	$X_{cp}-3S_i$	$X_{cp}+3S_i$	
П1	7,38	1,10	4,90	10,30	4,07	10,69	+
П2	7,06	0,79	6,10	8,50	4,69	9,43	+
П3	7,21	1,01	5,60	9,80	4,18	10,24	+
П4	7,23	0,89	5,90	9,20	4,54	9,91	+
П5	7,46	1,09	5,80	10,20	4,20	10,72	+
k3	X_{cp}	S_i	X_{min}	X_{max}	$X_{cp}-3S_i$	$X_{cp}+3S_i$	
П1	1,90	0,59	1,30	3,90	0,13	3,68	-
П2	1,99	0,20	1,60	2,20	1,38	2,60	+
П3	1,82	0,65	0,50	2,70	-0,12	3,76	+
П4	1,96	0,64	0,80	3,40	0,05	3,87	+
П5	1,83	0,57	0,60	2,90	0,12	3,55	+
k6	X_{cp}	S_i	X_{min}	X_{max}	$X_{cp}-3S_i$	$X_{cp}+3S_i$	
П1	0,42	0,18	0	0,70	-0,12	0,96	+
П2	0,64	0,24	0,2	1,00	-0,07	1,35	+
П3	0,53	0,18	0,2	0,94	-0,01	1,07	+
П4	0,67	0,49	0,2	2,20	-0,80	2,15	-
П5	0,46	0,21	0,1	1,00	-0,17	1,09	+

Таблица 4

Статистический анализ результатов контроля проб для компонента К1 в разных периодах

Периоды наблюдений	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Минимум	Максимум	Общее количество проб	Количество проб лежащих в диапазоне			
						$\pm S$	$\pm 2S$	$\pm 3S$	$\pm 4S$
	X_{cp}	S_i	X_{min}	X_{max}					
Период 1	87,07	1,66	83,00	89,70	22	16	21	22	22
Период 2	86,76	1,36	85,50	89,40	10	8	10	10	10
Период 3	87,38	1,21	85,40	90,90	30	22	28	30	30
Период 4	87,54	1,45	82,50	90,80	30	24	28	29	30
Период 5	87,59	1,02	86,20	90,00	22	17	20	22	22
Всего					114	87	107	113	114
Всего, %					100	76,1	93,8	99,1	100

или в процентах

$$S_H(\%) = 0,04 * \sqrt{c * (1-c)} * 100. \quad (10)$$

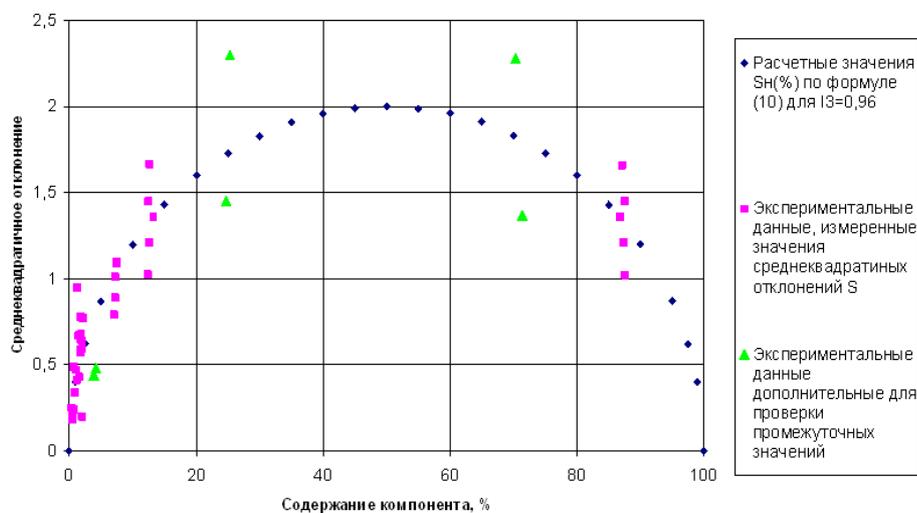


Рис. 1. Зависимость среднеквадратичного отклонения от процентного содержания компонента

Следует отметить, что при значительном количестве компонентов в рецептуре (например более 5-ти) анализ по каждому компоненту достаточно трудоемкое занятие. Поэтому технологу необходимо определить рациональное значение количества контроли-

руемых компонентов на основе анализа их влияния на свойства продукции и трудоемкости проведения контроля.

3. Выводы

1. Контроль качества смешения является обязательным в соэкструзионных технологиях применяющих многокомпонентные рецептуры.
2. При создании рецептур следует учитывать что при процентном содержании компонента 50% среднеквадратичное отклонение фактического содержания от заданного – максимально и может достигать 3% при качественном смешивании.
3. В многокомпонентной системе необходим контроль распределения каждого компонента.
4. Индекс смешения $I_3 \geq 0,96$ является комплексным и универсальным критерием качества смешения.
5. Контроль и анализ единичной пробы необходимо проводить на основе статистических методов.

Литература

1. Ульшин, В.А. Экспериментальное исследование влияния качества смешения на характеристики готового изделия [Текст] / В.А. Ульшин, В.В. Леванич, Т.М. Терещенко, А.В. Леваничев // Вестник СХУ им. Даля №9 (180). - Луганск, 2012. с. 194-198.
2. Ким, В.С. Диспергирование и смешение в процессах производства переработки пластмасс [Текст] / В.С. Ким, В.В. Скачков. - М.: Химия, 1988. - 240с.
3. Торнер, Р.В. Оборудование заводов по переработки пластмасс [Текст] / Р.В. Торнер, М.С. Акутин. - М.: Химия, 1986. - 400с.
4. Техника переработки пластмасс [Текст] / под ред. Н.И. Басова и В. Броя - М. Химия, 1985г. 528с.

Abstract

Modern coextruded production requires new approaches to technology, this is largely due to the wide nomenclature of raw materials, a combination of their application (recipes, multilayer structures) and a wide range of finished products.

One of the key modules coextrusion line is gravimetric dosing. Moreover, performance measures dosing systems are not available, but practice shows that the stability of the recipe is the first play technological parameter affecting the underlying trading performance of the performance, cost, and quality.

The analysis of the quality criteria for the example of mixing technology coextrusion. The effect of mixing on the quality of physical and mechanical properties of multilayer film products. Defined standard value index characterizes the qualitative mixing multicomponent mixture. Investigated and analyzed the samples for the development of unit testing procedures gravimetric dosing systems multicomponent mixtures.

Keywords: technology co-extrusion, mixing index, gravimetric dosing, multi-component mixture, mixing quality.