

О.В. ПОЛУНИНА

**Применение аксиоматического  
контроля качества на стадии  
моллирования в производстве  
безопасного многослойного стекла**

УДК 62-50

ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Владимир

*В статье рассматривается контроль качества технологического процесса производства безопасного многослойного стекла. Оценена стабильность технологического процесса производства с помощью аксиоматического подхода.*

Наиболее общей и важной характеристикой функционирования производства является качество выпускаемой продукции. Постоянное повышение качества вырабатываемой продукции возможно на основе системного подхода, основу которого составляет управление технологическим процессом.

Современная технология производства трехслойного безопасного стекла (триплекса) представляет высокоавтоматизированное поточное производство, состоящее из последовательных технологических операций (процессов). Порядок выполнения операций регламентируется стандартом, регулирующим технологический процесс.

Основной агрегат в производстве многослойного стекла (печь моллирования) является, с точки зрения теории автоматического регулирования и управления, многомерным, т.е. имеющим много входных и выходных параметров. Он подвержен влиянию внешних факторов при ограниченном количестве управляемых и управляющих воздействий.

Такие особенности агрегатов в производстве многослойного стекла как быстротечность процессов, резкие колебания их во времени, наличие неконтролируемых возмущений (окружающая температура, состояние оборудования), недостаточная изученность про-

цессов как объектов автоматизации, создают существенные трудности для контроля и управления их работой. Для эффективного управления необходима наиболее полная и достоверная информация о состоянии объекта управления (технологического процесса).

Для того, чтобы получить оценки качества функционирования технологического процесса в целом с позиций совершенствования управления ими, воспользуемся анализом качества технологического процесса (ТП) по выходу годных изделий.

Для оценки стадий ТП используем дисперсию (формула 1):

$$\sigma_{Yeld}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Yeld_i - \overline{Yeld})^2}{N-1}, \quad (1)$$

где  $Yeld_i$  – значение выхода продукции для  $i$  наблюдения,

$N$  – количество наблюдений,

$\overline{Yeld}$  – среднее арифметическое выхода годных изделий стадии ТП.

А также коэффициент вариации (формула 2):

$$V = \frac{\sigma_{Yeld}}{\overline{Yeld}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $\sigma_{Yeld}$  – среднеквадратическое отклонение выхода продукции.

Проводился анализ стадий А2, А3, А5, А7 технологического процесса, оценка которых приведена в таблице 1.

Таблица 1

Оценка каждого стадий ТП

Кодированное значение стадии	А2	А3	А5	А7
Стадия	резка, обработка кромки, мойка, сушка, напыление, печать канта, напыление, поступление в накопитель, сборка стекла	маркировка, базирование пакета, моллирование, поступление в накопитель	мойка, сушка, подготовка поливинилбутиральной пленки, сборка пакета	упаковка
$\overline{Yeld}$ , %	99,92	99,37	98,69	98,52
$\sigma_{Yeld}^2$ , %	0,01	0,48	0,28	0,94
$V$ , %	0,1	0,7	0,53	0,98

Анализ стадий ТП изготовления триплекса показывает, что наименьший процент выхода годных изделий приходится на стадии А7 и А3.

Одной из ключевых технологических стадий в производстве многослойного стекла является моллирование, которая представляет собой критическую стадию, определяющую геометрию и параметры готовых стекол, а также напряжения растяжения и сжатия в кромке стекла.

Технологическая стадия моллирования протекает в трехкамерной печи непрерывного действия. Пакет стекла проходит камеру предварительного нагрева, далее, в главной камере моллирования, под действием температуры и силы тяжести заготовка ложится на поверхность формы, которая придает стеклу нужную геометрию. После этого в камере отжига снимаются возникающие напряжения в стекле. Режим моллирования контролируется 150 термопарами типа ХА, установленными в своде и поде печи равномерно по ширине и длине камер [1].

Для анализа температурного режима моллирования были использованы статистические данные производства ветрового гнutoго многослойного стекла в течение восьми месяцев непрерывной работы. Для извлечения полезной информации из массива данных была использована технология анализа процессов РАТ[1]. С помощью методов кластерного анализа были существенно понижены размеры системы, описывающей температурный режим моллирования стекла (таблицы 2,3,4) [1].

Проверка однородности выборки температурного режима моллирования проводилась с применением аксиоматического анализа данных, собранных с производства автомобильного стекла ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод». Анализ включает проверку выполнения условий трех принципов [2,3]:

1. принципа порядка;
2. принципа сходства;
3. принципа соответствия.

Это позволяет повысить достоверность результатов анализа, когда распределение выборки анализируемых температурных режимов отличается от нормального закона. К тому же возрастает

оперативность контроля, что важно при управлении технологическим процессом.

Принцип порядка выполняется, если выборки состоят из 50% (тип *C*) и более (типы *D* и *E*) сложных событий [2,3]. Для этого эмпирические значения репрезентативности (ЭЗР) должны быть распределены в пределах интервалов теоретического значения репрезентативности (ТЗР).

Выполнение принципа сходства крайне необходимо для установления сходства между распределениями ЭЗР и ТЗР. Репрезентативное распределение ТЗР есть ожидаемое распределение, представленное в виде вероятностного распределения Бернулли [2,3].

В зависимости от значения вероятности появления благоприятного события  $p$  распределение ТЗР бывает:

1. асимметричное (коэффициент сходства ( $K_c$ ), рассчитывается с применением коэффициента асимметрии);
2. симметричное (коэффициент сходства ( $K_c$ ), рассчитывается с применением коэффициента эксцесса).

Принцип сходства выполняется, если  $K_c \geq 0,5$ , т.е. распределения эмпирических и теоретических значений репрезентативности совпадают.

Принцип соответствия формулируется так: переменные распределений ЭЗР и ТЗР соответствуют одному типу набора однородных выборок. Анализ на выполнение принципа соответствия основан на следующих условиях:

1.  $sk(x_k) > 0$ , если  $P < 0,5$ ;
2.  $sk(x_k) = 0$ , если  $P = 0,5$ ;
3.  $sk(x_k) < 0$ , если  $P > 0,5$ ,

где  $P$  - постоянная вероятность благоприятного события,  $p$  - вероятность благоприятного события распределения Бернулли.

Зная  $P$  и  $p$  можно определить вид репрезентативного вероятностного распределения ТЗР [2].

Если переменные распределений ЭЗР и ТЗР характеризуются одним и тем же типом, следовательно, условие принципа соответствия выполняется. В случае выполнения условий трех принципов выборка считается репрезентативной, т.е. однородной, подчиненной нормальному закону распределения.

Результаты проверки температурного режима моллирования приведены в таблицах 2,3,4.

Таблица 2

**Однородность выборок температурного режима в камере предварительного нагрева печи моллирования**

Результаты проверки	Сводовые термопары					
	AZ1	AZ2Z3	BZ4Z5	AZ8Z9	BZ8Z9	CZ8Z9
Кодированное значение	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$
Принцип порядка	+	+	+	+	+	+
	(Тип C)	(Тип D)	(Тип D)	(Тип C)	(Тип D)	(Тип D)
$\rho$	0,5	0,62	0,61	0,5	0,65	0,59
$K_c$	0,8	0,38	0,35	0,42	0,48	0,3
Принцип схождения	+	-	-	-	-	-
$sk(T_k)$	0,4	-	-	-	-	-
Принцип соответствия	-	-	-	-	-	-
	( $P < 0,5$ Тип D)					
Результаты проверки	Подовые термопары					
	AZ1	BZ2Z3	BZ4Z5	AZ8Z9	AZ8Z9	CZ8Z9
Кодированное значение	$T_7$	$T_8$	$T_9$	$T_{10}$	$T_{11}$	$T_{12}$
Принцип порядка	+	+	+	+	+	+
	(Тип D)	(Тип D)	(Тип D)	(Тип D)	(Тип D)	(Тип D)
$\rho$	0,65	0,65	0,61	0,62	0,6	0,65
$K_c$	0,48	0,48	0,34	0,38	0,31	0,48
Принцип схождения	-	-	-	-	-	-
$sk(T_k)$	-	-	-	-	-	-
Принцип соответствия	-	-	-	-	-	-

Таблица 3

**Однородность выборок температурного режима в главной камере печи моллирования**

Результаты проверки	Сводовые термопары						Подовые термопары	
	AZ10Z11	CZ12Z13	DZ12Z13	CZ14Z15	AZ16Z17	HZ10Z11	JZ12Z13	HZ14Z15
Кодированное значение	$T_{13}$	$T_{14}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{17}$	$T_{18}$	$T_{19}$	$T_{20}$
Принцип порядка	+	+	+	+	+	+	+	+
	(Тип D)	(Тип C)	(Тип C)	(Тип D)	(Тип D)	(Тип D)	(Тип C)	(Тип C)
$\rho$	0,67	0,5	0,5	0,63	0,65	0,65	0,5	0,55
$K_c$	0,52	0,71	0,2	0,49	0,48	0,48	0,76	0,41
Принцип схождения	+	+	+	-	-	-	+	-
$sk(T_k)$	-1,1	-0,5	0,2	-	-	-	-0,6	-
Принцип соответствия	-	-	-	-	-	-	-	-
	( $P > 0,5$ Тип C)	( $P > 0,5$ Тип D)	( $P < 0,5$ Тип D)				( $P > 0,5$ Тип D)	
Результаты проверки	Подовые термопары							
	BZ18	FZ10Z11	EZ14Z15	AZ10Z11	CZ12Z13	DZ12Z13	CZ14Z15	AZ16Z17
Кодированное значение	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	$T_{24}$	$T_{25}$	$T_{26}$	$T_{27}$	$T_{28}$
Принцип порядка	+	+	+	+	+	+	+	+
	(Тип C)	(Тип C)	(Тип C)	(Тип C)	(Тип C)	(Тип C)	(Тип C)	(Тип C)
$\rho$	0,5	0,56	0,65	0,62	0,5	0,62	0,5	0,5

$K_c$	0,8	0,28	0,48	0,37	0,72	0,3	0,74	0,44
Принцип сходимости	+	-	-	-	+	-	+	-
$sk(T_k)$	0	-	-	-	0	-	0	-
Принцип соответствия	+( $P=0,5$ Тип C)	-	-	-	+( $P=0,5$ Тип C)	-	+( $P=0,5$ Тип C)	-
<b>Результаты проверки</b>	<b>Подовые термопары</b>							
	<b>HZ10Z11</b>	<b>JZ12Z13</b>	<b>HZ14Z15</b>	<b>BZ18</b>	<b>FZ10Z11</b>	<b>EZ14Z15</b>		
Кодированное значение	$T_{29}$	$T_{30}$	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	$T_{34}$		
Принцип порядка	+(Тип C)	+(Тип C)	+(Тип C)	+(Тип C)	+(Тип C)	+(Тип D)		
$\rho$	0,65	0,5	0,56	0,63	0,5	0,57		
$K_c$	0,48	0,72	0,28	0,51	0,98	0,28		
Принцип сходимости	-	+	-	+	+	-		
$sk(T_k)$	-	-0,4	-	1,1	-0,5	-		
Принцип соответствия	-	-	-	+( $P<0,5$ Тип C)	-( $P>0,5$ Тип D)	-		

Таблица 4

**Однородность температурного режима в камере отжига  
печи моллирования**

<b>Результаты проверки</b>	<b>CZ19Z20</b>	<b>AZ21Z22</b>	<b>RET</b>	<b>F</b>
Кодированное значение	$T_{35}$	$T_{36}$	$T_{37}$	$T_{38}$
Принцип порядка	+(Тип C)	+(Тип C)	+(Тип C)	+(Тип C)
$\rho$	0,5	0,5	0,5	0,5
$K_c$	0,99	0,73	0,66	0,83
Принцип сходимости	+	+	+	+
$sk(T_k)$	0,3	-0,5	0,4	-0,6
Принцип соответствия	-( $P<0,5$ Тип D)	-( $P>0,5$ Тип D)	-( $P<0,5$ Тип D)	-( $P>0,5$ Тип D)

Примечание: + проверяемый принцип выполняется; - проверяемый принцип не выполняется.

Принцип порядка выполняется для всех выборок температурного режима моллирования стекла ( $T_1, \dots, T_{38}$ ). Далее осуществляется проверка выполнения принципа сходимости. В зависимости от вероятности появления благоприятного события  $\rho$  вычисляется коэффициент сходимости ( $K_c$ ) [2,3]. Из таблицы 2 видно, что принцип сходимости выполняется для  $T_1$ ; из таблицы 3 - для  $T_{13}, T_{14}, T_{15}, T_{19}, T_{21}, T_{25}, T_{27}, T_{30}, T_{32}, T_{33}$ ; из таблицы 4 – для  $T_{35}, T_{36}, T_{37}, T_{38}$ .

Принцип соответствия выполняется для  $T_{21}, T_{25}, T_{27}, T_{32}$ , переменные распределений ЭЗР и ТЗР которых, соответствуют одному типу наборов сложных событий.

Условия трех принципов выполняются только для T21, T25, T27, T32, следовательно, эти выборки однородны.

По результатам анализа можно сделать вывод о том, что в целом температурный режим стадий моллирования является нестабильным. В нем прослеживается влияние внешних факторов, нарушающих стабильность технологического процесса моллирования [4].

Неоднородность данных температурного режима моллирования не позволяет использовать традиционные методы контроля стабильности процессов и использовать регрессионный анализ для выявления причинно-следственных связей между режимом моллирования и качеством вырабатываемой продукции.

### Литература

1. *Макаров, Р.И.* Управление качеством автомобильного стекла: монография / Р.И. Макаров [и др.]. – Владимир: издательство Владимирского государственного университета, 2009. – 280 с. – ISBN 978–5–89368–965–5
2. *Швырков, В.В.* Тайна традиционной статистика Запада / В.В. Швырков.– М.: Финансы и статистика, 1998.–144 с. – ISBN 5–279–01946–1
3. *Полунина О.В.* Контроль качества в производстве безопасного многослойного стекла // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. №20. С. 77-84
4. *Макаров, Р.И.* Аксиоматический подход к оценке стабильности процесса производства автомобильных стекол // Стекло и керамика.– М.: Издательство «Ладья», 2012. – №11.– с. 25-27. – ISSN 0131-9582

E-MAIL: OLENKAN1@YANDEX.RU