

Электронный научный журнал «Век качества» ISSN 2500-1841 <https://www.agequal.ru>

2026, №1 https://www.agequal.ru/pdf/2026/AGE_QUALITY_1_2026.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:

Хорошева Е.Р., Макаров Р.И. Повышение качества ветровых автомобильных стекол в процессе производства // Электронный научный журнал «Век качества». 2026. №1. С. 227-234. Режим доступа: <https://www.agequal.ru/pdf/2026/126012.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 666.1.054.3:004.942

Повышение качества ветровых автомобильных стекол в процессе производства

Хорошева Елена Руслановна,

доктор технических наук,

профессор кафедры «Информационные системы и программная инженерия»,

Владимирский государственный университет имени

Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,

600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, д. 87

khorosheva@vlsu.ru

Макаров Руслан Ильич,

доктор технических наук,

профессор кафедры «Информационные системы и программная инженерия»,

Владимирский государственный университет имени

Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,

600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, д. 87

makarov.ruslan@gmail.com

В статье оценена стабильность и настроенность процесса моллирования. Разработаны адаптивные регрессионные модели, описывающие влияние режима моллирования на остаточные напряжения растяжения в кромке ветровых стекол. Проведено имитационное моделирование температурного режима моллирования. Показана возможность повышения качества вырабатываемых ветровых автомобильных стекол выбором режима моллирования.

Ключевые слова: ветровое стекло, моллирование, регрессионная модель, адаптация, имитационное моделирование.

Введение

В современных условиях развития информационных технологий используются программные комплексы для создания цифровых двойников

технологических объектов. Применение имитационных моделей позволяет более полно изучить объект по сравнению с проведением реального эксперимента и выбирать оптимальный режим работы технологического оборудования.

Постановка задачи

Объектом исследования является технологический процесс моллирования в производстве ветровых автомобильных стекол из триплекса [1]. Требования для автомобильных стекол изложены в ГОСТ 32565-2013 [2]. Напряжения в стекле после изготовления должны равномерно распределяться вдоль кромки изделия. Значения не должны превышать величин, установленных в технических документах на изделие. В процессе производства проводится контроль изделий периодичностью один раз в смену. Контролируется напряжение в 12-ти точках, равномерно распределенных вдоль кромки стекла. Результаты измерений коррелированы между собой. Для контроля отобраны наиболее информативные четыре измерения, по одному на каждой стороне стекла – это точки 1, 5, 8, 10.

Анализ качества вырабатываемых ветровых стекол, проведенный на выборке, отобранной в 106 сменах, показал превышение остаточных напряжений растяжения допустимой величины более чем в 30 случаях. В связи с этим возникла задача исследования возможности повышения качества вырабатываемых ветровых стекол на действующем оборудовании выбором режима моллирования.

Метод решения

Исследовалось влияние температурного режима моллирования на напряжение растяжения в кромке стекла. Режим моллирования контролируется 150-ю термопарами, установленными в камерах печи. С помощью кластерного

и корреляционного анализом отбирались показания 38 информативных термопар (таблица 1) [3].

Таблица 1

Информативные термопары печи моллирования

Камера предварительного нагрева. Сводовые термопары						
Термопара	AZ1	AZ2Z3	BZ4Z5	AZ8Z9	BZ8Z9	CZ8Z9
Камера предварительного нагрева. Подовые термопары						
Термопара	AZ1	BZ2Z3	BZ4Z5	AZ8Z9	BZ8Z9	CZ8Z9
Главная камера. Сводовые термопары						
Термопара	AZ10Z11	CZ12Z13	DZ12Z13	CZ14Z15	AZ16Z17	HZ10Z11
Термопара		JZ12Z13	HZ14Z15	BZ18	FZ10Z11	EZ14Z15
Главная камера. Подовые термопары						
Термопара	AZ10Z11	CZ12Z13	DZ12Z13	CZ14Z15	AZ16Z17	HZ10Z11
Термопара		JZ12Z13	HZ14Z15	BZ18	FZ10Z11	EZ14Z15
Камера отжига						
Термопара	CZ19Z20	AZ21Z22	RET	F		

Оценивалась стабильности и настроенность процесса моллирования с использованием аксиоматического анализа качества производимой продукции [4]. Выявлена нестабильность изучаемого процесса производства ветровых стекол [5].

Для установления зависимости остаточных напряжений растяжения в кромке ветровых стекол от температурного режима моллирования строились регрессионные модели. Выбор типа модели обоснован в ранее проведенных исследованиях [6]:

$$y_1 = -245,9 - 0,066x_1 + 0,139x_2 + 0,297x_3, \quad (1)$$

где y_1 – напряжение растяжения в 1-ой точке контроля; x_1 – температура в своде камеры предварительного нагрева AZ2Z3; x_2 – температура в поде камеры предварительного нагрева BZ8Z9; x_3 – температура в поде главной камеры EZ14Z15.

Средняя квадратичная погрешность уравнения регрессии равна 0,72 МПа.

$$y_5 = 259,9 + 0,16x_5 + 0,015x_6 + 0,059x_7 + 0,038x_8 - 0,52x_9 - 0,03x_{10} - 0,12x_{11}, \quad (2)$$

где y_5 – напряжение растяжения в 5-ой точке контроля; x_5 – температура в своде камеры предварительного нагрева *BZ4Z5*; x_6, x_7, x_8 – температуры в своде главной камеры *HZ10Z11, HZ14Z15, FZ10Z11*; x_9, x_{10} – температуры в поде главной камеры *AZ10Z11, DZ12Z13*.

Средняя квадратичная погрешность уравнения регрессии равна 0,72 МПа.

$$y_8 = 88,98 - 0,184x_{11} + 0,117x_{12} - 0,058x_{13}, \quad (3)$$

где y_8 – напряжение растяжения в 8-ой точке контроля; x_{11} – температура в своде главной камеры *AZ10Z11*; x_{12} – температура в своде главной камеры *CZ12Z13*; x_{13} – температура в поде главной камеры *DZ12Z13*.

Средняя квадратичная погрешность уравнения регрессии равна 0,67 МПа.

$$y_{10} = 50,75 - 0,017x_{14} - 0,063x_{15} + 0,01x_{16}, \quad (4)$$

где y_{10} – напряжение растяжения в 10-ой точке контроля; x_{14} – температура в своде главной камеры *JZ12Z13*; x_{15} – температура в своде главной камеры *AZ16Z17*; x_{16} – температура в поде главной камеры *BZ18*.

Средняя квадратичная погрешность уравнения регрессии равна 0,84 МПа.

Полученные уравнения регрессии имеют не высокую точность описания остаточных напряжений растяжения в кромке ветровых стекол. Для повышения точности уравнений их коэффициенты корректировались на каждом шаге обучения N с использованием итерационной формулы (5) [7]. Начальные значения коэффициентов модели приведены в формулах (1-4).

$$b_i(N) = b_i(N-1) + \frac{y(N) - \sum_{i=0}^k b_i(N-1)x_i(N)}{\gamma + \sum_{i=0}^k x_i^2(N)} x_i(N), \quad (5)$$

где $b_i(N-1)$ – значение коэффициентов модели на $(N-1)$ -ом такте; N – такт обучения; $x_i(N)$ – значение i -ой входной переменной на N -ом такте, $i = 1, 2, \dots, k$;

k – число входных переменных; $y(N)$ – значение выходной переменной на N -ом такте; γ – скалярный параметр алгоритма, зависящий от уровня помех.

С использованием адаптивных моделей в программном комплексе «Технолог стекольного производства» проводилось имитационное моделирование процесса моллирования [8]. Критерий управления представлен функцией F , ограничивающей величину напряжения растяжения в кромке стекла:

$$F = (\min(y1(x_i)) + \min(y5(x_i)) + \min(y8(x_i)) + \min(y10(x_i))),$$

где x_i – температура в камерах печи моллирования. $i=1, 2...16$; \min – оператор поиска минимума функции, описывающей напряжение растяжения в точках контроля.

Область поиска устанавливалась заданием диапазона и шага варьирования температуры в камерах печи моллирования (таблица 2).

Таблица 2.

Условия поиска минимума критерия оптимальности

Температура моллирования	Диапазон изменения температур		Шаги варьирования температур	
	Мин, °С	Макс, °С	Мин. шаг, °С	Макс шаг, °С
x1	482	496	1	2
x2	570	680	5	6
x3	670	690	1	2
x5	495	597	2	3
x6	600	715	10	20
x7	610	645	3	4
x8	690	732	2	3
x9	659	680	2	4
x10	636	680	3	4
x11	679	695	1,5	3
x12	658	688	3	5
x13	636	668	3	5
x14	611	676	6	10
x15	679	695	1	2
x16	604	656	5	10

Моделирующая программа выполняла поиск режима моллирования, обеспечивающего минимальное значение остаточных напряжений растяжения в кромке вырабатываемых ветровых стекол. Поиск проводился последовательно

по координатам x_1, \dots, x_{16} до тех пор, пока наблюдалось уменьшение критерия оптимальности на очередном шаге вычислений: $F_{j+1} < F_j$. Результаты моделирования заносились в файлы вычисленных значений критерия оптимальности, температур моллирования и напряжений растяжения в кромке стекла.

Имитационное моделирование позволило сравнить результаты оптимального управления с ручным ведением процесса моллирования в производстве ветровых автомобильных стекол (таблица 3).

Таблица 3.

Сравнительные результаты имитационного моделирования с ручным ведением процесса моллирования в производстве ветровых стекол

Напряжение растяжения в кромке стекла	Ручной режим моллирования		Имитационное моделирование	
	Среднее значение, МПа	СКО, МПа	Среднее значение, МПа	СКО, МПа
y1	2,51	0,88	0,36	0,58
y5	2,27	0,8	0,12	0,7
y8	3,31	0,85	0,48	0,89
y10	2,56	0,88	1,17	0,78

Анализ результатов моделирования показал возможность уменьшения остаточных напряжений растяжений в кромке вырабатываемых ветровых стекол на текущем производстве выбором режима моллирования.

Заключение

Оценена отлаженность и настроенность технологического процесса моллирования триплекса в производстве ветровых автомобильных стекол. Сделан вывод о нестабильности анализируемого процесса по показателям качества вырабатываемых ветровых стекол.

Разработаны регрессионные модели для описания зависимости остаточных напряжений растяжения в кромке ветровых стекол от режима моллирования. Требуемая точность регрессионных моделей обеспечивалась коррекцией ее коэффициентов в процессе моделирования.

Проведено имитационное моделирование технологического процесса моллирования в производстве ветровых автомобильных стекол. Показана возможность уменьшения остаточных напряжений растяжения в кромке вырабатываемых ветровых автомобильных стекол выбором температурного режима моллирования.

Список литература

1. Маневич В.Е., Чесноков А.Г., Емельянова О.А. Автомобильные стекла. ОАО «Институт стекла» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.oskolocheck.ru/file/avto_stekla.pdf (дата обращения 25.02.2026).
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32565–2013. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 54 с.
3. Makarov R.I. Morphological approach to taking corrective actions in quality control systems for laminated glass production // Glass and Ceramics, Springer US. – 2008. – Vol. 65. – № 7-8. – Pp.227-230.
4. Швырков В.В. Тайна традиционной статистики Запада. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 144 с.
5. Макаров Р.И. Аксиоматический анализ контроля качества безопасного многослойного стекла в производстве // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный журнал. – 2015. – № 2(31). – С. 72-76.
6. Хорошева Е.Р., Макаров Р.И. Подход к построению математических моделей для оценки качества моллирования в производстве автомобильных стекол // Электронный научный журнал «Век качества». – 2025. – № 3 – С. 172-182. – Режим доступа: <https://www.agequal.ru/pdf/2025/325011.pdf> (дата обращения 25.02.2026).
7. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. – М.: Энергия, 1975. – 375 с.

8. Makarov R.I. Software package «Glass production technologist» // Glass and ceramics. – 1993. – Vol. 50. – Pp. 493-496.

Improving the Quality of Automotive Windcreens during Production

Khorosheva Elena Ruslanovna,
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Departments of Information Systems and Software Engineering,
Vladimir State University Alexander Grigoryevich
and Nikolai Grigoryevich Stoletov,
Russia, 600000, Vladimir, 87 Gorky St.
khorosheva@vlsu.ru

Makarov RuslanIlyich,
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Departments of Information Systems and Software Engineering,
Vladimir State University Alexander Grigoryevich
and Nikolai Grigoryevich Stoletov,
Russia, 600000, Vladimir, 87 Gorky St.
makarov.ruslan@gmail.com

The article assessed the stability and mood of the bending process. Adaptive regression models have been developed that describe the effect of the bending mode on residual tensile stresses at the edge of windshields. Simulation modeling of the temperature regime of bending was carried out. The possibility of improving the quality of produced car windcreens by choosing a bending mode is shown.

Keywords: windshield, mollification, regression model, adaptation, simulation modeling.