

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

2023, №1 [http://www.agequal.ru/pdf/2023/AGE\\_QUALITY\\_1\\_2023.pdf](http://www.agequal.ru/pdf/2023/AGE_QUALITY_1_2023.pdf)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Хорошева Е.Р., Макаров Р.И. Оценка качества технологического процесса моллирования в производстве автомобильного стекла // Электронный научный журнал «Век качества». 2023. №1. С. 135-145. Режим доступа: <http://www.agequal.ru/pdf/2023/123008.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 666.1.054.3:519.24

## **Оценка качества технологического процесса моллирования в производстве автомобильного стекла**

***Хорошева Елена Руслановна,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры информационные системы и технологии,  
Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,  
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87  
[khorosheva@vlsu.ru](mailto:khorosheva@vlsu.ru)*

***Макаров Руслан Ильич,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры информационные системы и технологии,  
Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,  
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87  
[makarov.ruslan@gmail.com](mailto:makarov.ruslan@gmail.com)*

Постоянное повышение качества вырабатываемой продукции предполагает системный подход к управлению качеством, основу которого составляет управление качеством технологического процесса. В современном производстве автомобильных стекол при исследовании технологических процессов используется имитационное моделирование. В статье рассматривается технологический процесс моллирования многослойного (триплекса) автомобильного стекла. Проведены исследования формирования остаточных напряжений растяжения в кромке триплекса. Результаты исследований подтвердили влияние температурного режима моллирования на величину остаточных напряжений растяжения в кромке стекла.

**Ключевые слова:** триплекс, моллирование, остаточные напряжения растяжения, качество процесса, качество продукции.

Постоянное повышение качества вырабатываемой продукции, как это предусматривают стандарты ИСО серии 9000, возможно на основе системного подхода к управлению качеством, основу которого составляет управление качеством технологического процесса [1, 2].

Многослойные стекла используются при производстве ветровых стекол для автомобильного транспорта. Внедрение в процесс производства автомобильных стекол технологии «Индустрия 4.0» позволяет оптимизировать режимы работы оборудования и повысить качество выпускаемой продукции [3].

Моделирование в современном производстве автомобильных стекол используется как инструмент исследования процессов и выдачи рекомендаций по принятию решений по управлению, а также как способ убеждения с помощью математических моделей и моделирования эвристических догадок, интуиции и опыта лиц, принимающих решения [4, 5].

К ветровым стеклам автомобиля предъявляются особые требования, определяемые условиями эксплуатации. Качественное стекло должно не только улучшать аэродинамические характеристики автомобиля, но и быть прочным, чтобы обеспечить безопасность водителя и пассажиров.

Исследованию формирования остаточных напряжений при сборке автомобильного стекла посвящена статья авторов Мурзаевой И.В., Носова Н.В., Якубовича Е.А. [6]. Избыточные остаточные напряжения в стекле приводит к его разрушению при соединении стекла с проемом в кузове, а также под влиянием рабочих нагрузок при эксплуатации автомобиля. Утверждается, что деформация стекла связана с образованием остаточных напряжений при их изготовлении.

Аналізу формирования остаточных напряжений в триплекс при его изготовлении посвящена статья Логинова Н.Ю. и Кучерова А.О. В ней авторы делают вывод, что причиной избыточных остаточных напряжений в триплексе

и саморазрушения стекла являются отклонения геометрии стекол, входящих в пакет триплекса [7].

В данной работе рассматривается технологический процесс моллирования многослойного (триплекса) автомобильного стекла. Одним из показателей качества технологического процесса является величина напряжения растяжения, которая измеряется в кромке стекла. В статье исследуется влияние режима моллирования триплекса на остаточные напряжения в кромке стекла.

Основные технические требования для безопасного стекла типа триплекс изложены в ГОСТ 32565-2013 [8]. Допустимые величины остаточных напряжений растяжения и сжатия в триплексе не должны превышать величин, устанавливаемых в нормативно-технических документах на изделия конкретного назначения.

Для изготовления гнутого «триплекса» вырезанное стекло изгибают путем моллирования [9]. Процесс моллирования протекает в трехкамерной электрической печи непрерывного действия. Режим моллирования контролируется 150-ю термопарами, установленными в своде и поде по ширине и длине камер. Методами статистического анализа было определено 38 представительных импульсов для контроля температурного режима моллирования [10, 11].

В процессе производства многослойных ветровых автомобильных стекол проводится контроль изделий периодичностью один раз в смену на соответствие требованиям технических условий (рис. 1).

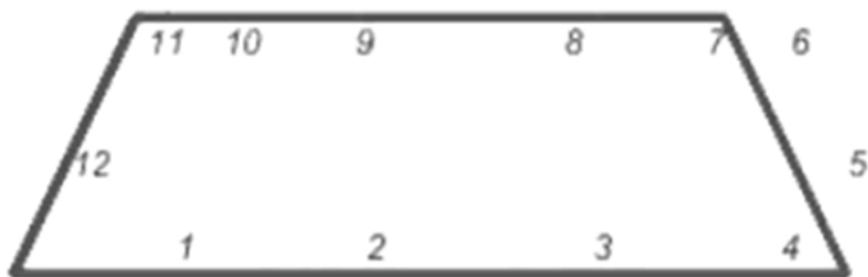


Рис.1. Точки контроля напряжений по периметру стекла

Для уменьшения количества точек контроля проводился анализ вероятностных зависимостей результатов измерений.

Анализ парных коэффициентов корреляции выявил сильные коррелированные связи между измерениями в рядом расположенных точках, образующих четыре кластера. В первый кластер вошли измерения в точках 1, 2, 3; во второй - 4, 5, 6; в третий – 7, 8, 9, в четвертый – 10, 11, 12. Среди точек каждого кластера выбирались информативные импульсы. Такими импульсами поверхностного напряжения сжатия стали измерения в точках 1, 5, 7, 11 в кромках многослойного стекла [12].

Аналогично были определены информативные импульсы по напряжению растяжения, измеряемые в точках 1, 5, 8, 10 в кромках многослойного стекла.

Для выявления зависимости между поверхностными напряжениями и температурой в камерах печи моллирования строилась математическая модель с использованием данных, собранных с печи в промышленных условиях выработки автомобильных стекол. Выборка состояла из 104 сменных данных температурного режима моллирования и измерений напряжений растяжения и сжатия в кромках многослойного стекла.

Допускали, что между температурным режимом моллирования и остаточными напряжениями в триплексе имеется связь. Для установления этой связи использовалась нейронная сеть. Существенной особенностью нейронных сетей является то, что они в процессе обучения выявляют неизвестные зависимости между входными и выходными переменными.

Для обучения сети отбиралось 50 обучающих данных с температурами моллирования и соответствующими им остаточными напряжениями в кромках многослойного стекла. Числовые значения остаточных напряжений масштабировались умножением на 100 в подходящий диапазон с данными температур моллирования.

Нейронная сеть строилась с использованием пакета *STATISTICA Neural Networks*. В этом пакете реализованы все типы нейронных сетей, используемые для решения практических задач [13]. Для создания сети пользовались

функцией автоматического конструктора сети, которая выбирает подходящий тип сети и его архитектуру. Программа предложила нейронную сеть с радиальными базисными функциями *RBF* 9\_1, приведенную на рис. 2.

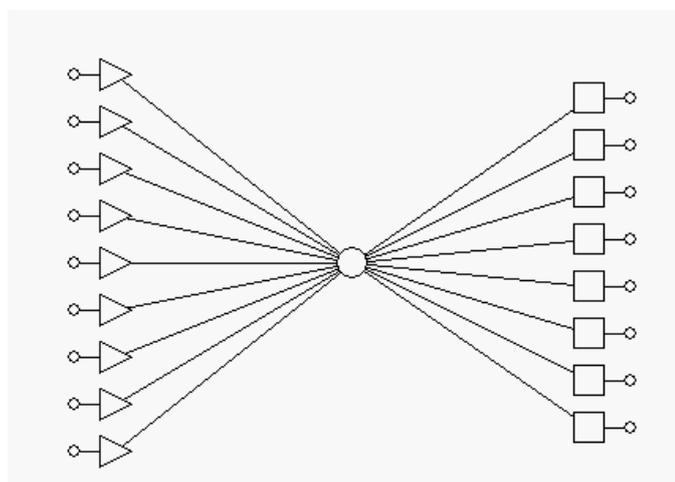


Рис. 2. Структура модели нейронной сети *RBF* 9\_1

Пакет *STATISTICA Neural Networks* в режиме автоматического конструктора сам отбирает 9 информативных входных сигналов из 38 представительных импульсов, отобранных для контроля температурного режима в камерах печи моллирования.

Структура *RBF*-сети (рис. 2) содержит 9 нейронов во входном слое для ввода температур из камер печи моллирования (таблица 1), один слой скрытых нейронов и 8 нейронов в выходном слое - 4 для напряжения растяжения и 4 - для напряжения сжатия.

Таблица 1

Термопары печи моллирования, подключаемые на вход нейронной сети *RBF* 9\_1

Камера	Предварительного нагрева				
Термопара подовая	AZ1				
Камера	Главная				
Термопары сводовые	AZ10Z11	DZ12Z13	AZ16Z17	JZ12Z13	EZ14Z15
Термопара подовая	AZ10Z11				
Камера	Отжига				
Термопары	CZ19Z20	RET			

После обучения сети проверилось, насколько она хорошо работает. Наиболее важной статистикой является отношение стандартной величины ошибки прогноза к стандартному отклонению исходных данных. В нашем случае это отношение составило величину 0,88.

После обучения сети с ее помощью был проведен анализ данных: прогонялась сеть на проверочных 50-ти данных, не использованных при построении сети. Результаты прогонки приведены в таблице 2. Прогонка сети на проверочных данных показала практически одинаковую точность описания данных обучающей и проверочной выборок.

Таблица 2

Результаты испытания нейронной сети *RBF* 9\_1 на проверочных данных

Напряжение	Растяжения				Сжатия			
	1	5	8	10	1	5	7	11
Точки контроля								
Дисперсия погрешности описания обучающей выборки, (МПа) <sup>2</sup>	0,5969	0,5985	0,5982	0,7857	3,44413	13,5210	18,714	12,0833
Дисперсия погрешности описания проверочных данных, (МПа) <sup>2</sup>	0,4770	0,5480	0,5858	0,76832	3,6797	12,4445	13,390	12,8719
Отношение дисперсий погрешности описания проверочных данных к обучающей выборке	0,7991	0,9155	0,9793	0,9778	1,0683	0,9203	0,7155	1,0652

Построенная сеть больше не была привязана к обучающему множеству. Сеть использовалась для оценки эффективности управления остаточными напряжениями в кромках многослойного стекла изменением температурного режима моллирования.

Задача управления температурным режимом моллирования сформулирована как одношаговая задача принятия решений. Режим моллирования корректировался с периодичностью один раз в смену.

Критерий управления представлен штрафной функцией, ограничивающей максимальное поверхностное напряжение растяжения величиной 3 МПа и минимальное поверхностное напряжение сжатия величиной 10 МПа:

$$F = \max((y_1 - 3); 0) + \max((y_5 - 3); 0) + \max((y_8 - 3); 0) + \max((y_{10} - 3); 0) + \\ + \text{abs}(\min((y_{1c} - 10); 0)) + \text{abs}(\min((y_{5c} - 10); 0)) + \text{abs}(\min((y_{7c} - 10); 0)) + \\ + \text{abs}(\min((y_{11c} - 10); 0)),$$

где  $y_i, i = 1, 5, 8, 10$  – напряжения растяжения в точках контроля  $i$ .

$y_{ic}, i = 1, 5, 7, 11$  - напряжения сжатия в точках контроля  $i$ .

Оптимальный температурный режим моллирования определялся методом покоординатного спуска [14] по минимуму штрафной функции. При поиске ограничивался диапазон варьирования режимных переменных по температуре моллирования величиной, задаваемой технологическим регламентом. Результаты имитационного моделирования процесса моллирования в сменах, в которых напряжения растяжения превышали ограничения, приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Температура моллирования при выработке триплекса и имитационном моделировании алгоритма управления, в °С

Камеры		Пред-варительная	Главная					Отжига		
			AZ1	AZ10 Z11	CZ12 Z13	AZ16 Z17	JZ12 Z13	EZ14 Z15	AZ10 Z11	CZ19 Z20
Смена 10, режим	рабочий	360	660	679	680	659	720	690	460	81
	имитационный	358	660	679	680	659	720	690	462	81
Смена 15, режим	рабочий	373	660	682	680	653	720	690	471	79
	имитационный	371	660	670	684	643	722	682	477	77
Смена 17, режим	рабочий	366	660	681	680	636	720	690	471	78
	имитационный	370	660	669	684	642	722	682	477	78
Смена 29, режим	рабочий	380	660	656	690	630	720	680	479	79
	имитационный	370	660	670	684	642	722	682	477	77
Смена 40, режим	рабочий	374	659	682	680	618	720	690	479	81
	имитационный	370	661	682	680	618	720	682	477	81
Смена 42, режим	рабочий	367	660	680	680	617	720	691	476	79
	имитационный	361	660	680	680	617	720	691	481	77
Смена 48, режим	рабочий	361	660	677	680	611	720	690	478	81
	имитационный	361	660	677	680	613	720	690	466	77

Таблица 4

Характеристики триплекса при выработке и имитационном моделировании алгоритма управления

Режим	Напряжение растяжения в кромках моллированного стекла, МПа									
	Рабочий					Моделирование алгоритма управления				
	1	5	8	10	Критерий	1	5	8	10	Критерий
Смена 10	2,60	3,12	3,60	2,08	0,24	2,99	1,98	3,24	2,76,	0,082
Смена 15	2,08	3,12	4,16	2,60	0,42	3,34	1,91	2,97	2,78	0,116
Смена 17	2,60	3,65	4,16	3,12	0,64	3,34	1,91	2,98	2,78	0,116
Смена 29	2,08	2,08	4,16	2,08	0,38	3,34	1,91	2,97	2,78	0,116
Смена 40	3,12	2,6	2,08	5,73	0,95	3,00	1,98	3,24	2,76	0,082
Смена 42	2,60	3,65	2,60	4,17	0,60	2,99	1,98	3,24	2,76	0,082
Смена 48	2,08	2,08	4,17	3,12	0,43	3,02	1,98	3,22	2,76	0,083

## **Выводы**

Результаты исследований подтвердили эффективность использования статистических методов для отбора точек контроля и оценки качества процесса моллирования по напряжению в кромке стекла.

Температурный режим моллирования может быть использован для управления остаточными напряжениями растяжения в кромках ветровых автомобильных стекол.

Имитационное моделирование показало возможность дальнейшего повышения качества вырабатываемых автомобильных стекол на действующей производственной установке за счет выбора температурного режима моллирования.

## **Список литературы**

1. Кучерявский С.В. Технология анализа процессов // Методы менеджмента качества. 2006. № 5. С. 12-17.
2. Розно М.И., Шинко Л.В. Пора заняться технологическими процессами // Методы менеджмента качества. 2004. № 7. С. 39-44.
3. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р. Особенности внедрения цифровой экономики на стекольных заводах России // Стекло и керамика. 2018. № 11. С. 26-28.
4. Зворыкин Н.М. Реализация процессного подхода на промышленном предприятии // Методы менеджмента качества. 2004. № 1. С. 35-40.
5. Управление качеством автомобильного стекла / Р.И. Макаров, Е.В. Суворов, В.В. Тарбеев, Е.Р. Хорошева, под ред. Р.И. Макарова. – Владимир: Издательство Владимирского государственного университета, 2009. – 280 с.
6. Мурзаева И.В., Носов Н.В., Якубович Е.А. Исследование формирования остаточных напряжений при сборке автомобильного стекла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-10-22-29> (дата обращения 01.03.23).
7. Логинов Н.Ю., Кучеров А.О. Анализ формирования остаточных

- напряжений в стекле типа триплекс при его изготовлении [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-formirovaniya-ostatochnyh-napryazheniy-v-stekle-tipa-tripleks-pri-ego-izgotovlenii> (дата обращения 01.03.23).
8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32565-2013. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия.
  9. 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](http://www.oskolocheck.ru/file/avto_stekla.pdf) (дата обращения 01.03.23).
  10. Макаров Р.И. Морфологический подход при выборе корректирующих действий в системах менеджмента качества производства многослойного стекла // Стекло и керамика. 2008. № 7. С. 13-16.
  11. Макаров Р.И., Суворов Е.В., Кочетов А.И. Анализ влияния режима моллирования на форму поверхности многослойного стекла: Сб. тр. XX международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». Т. 5. - Ярославль, 2007. - С. 163-165.
  12. Макаров Р.И., Суворов Е.В., Кочетов А.И. Применение статистических методов в производстве безопасного стекла для наземного транспорта // Материалы второй международной научно-технической конференции «Автоматизация машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования». Т. 2. - Вологда, 2006. - С.121-124.
  13. Производственное издание. Нейронные сети. *STATISTICA Neural Networks*. Пер. с англ, оригинал макет и оформление Stat Soft RUSSIA. – М.: Издательский Дом «ГРААЛЬ», 2001.
  14. Карманов В. Г. Математическое программирование - М.: Наука,1980. - 256с.

## **Evaluation of the quality of the process of milling in the production of automotive glass**

***Khorosheva Elena Ruslanovna,***  
*Doctor of Technical Sciences,*  
*Professor, Department of Information System and Technology,*  
*Vladimir State University*  
*Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,*  
*Russia, 600000, Vladimir, 87 Gorky St.*  
*[khorosheva@vlsu.ru](mailto:khorosheva@vlsu.ru)*

***Makarov Ruslan Ilyich***  
*Doctor of Technical Sciences,*  
*Professor, Department of Information System and Technology,*  
*Vladimir State University*  
*Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,*  
*Russia, 600000, Vladimir, 87 Gorky St.*  
*[makarov.ruslan@gmail.com](mailto:makarov.ruslan@gmail.com)*

Continuous improvement of the quality of the produced products implies a systematic approach to quality management, the basis of which is quality management of the technological process. Simulation modeling is used in the modern production of automotive glasses for the study of technological processes. The article discusses the technological process of milling multilayer (triplex) automotive glass. Studies were carried out on the formation of residual tensile stresses in the edge of the triplex. The results of the studies confirmed the effect of the temperature regime of milling on the value of residual tensile stresses in the glass edge.

**Keywords:** triplex, milling, residual tension stresses, process quality, product quality.