

Электронный научный журнал «Век качества» ISSN 2500-1841 <http://www.agequal.ru>
2024, №2 http://www.agequal.ru/pdf/2024/AGE_QUALITY_2_2024.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:

Хорошева Е.Р., Макаров Р.И. Автоматизация контроля качества гнутых закаленных стекол в процессе производства // Электронный научный журнал «Век качества». 2024. №2. С. 252-258. Режим доступа: <http://www.agequal.ru/pdf/2024/224012.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 666.1.05:004.942

**Автоматизация контроля качества гнутых закаленных стекол
в процессе производства**

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*

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*

В статье рассматривается процесс производства неветровых гнутых закаленных автомобильных стекол. Проведен выборочный контроль качества вырабатываемых гнутых закаленных стекол. Составлена модель логистической регрессии для определения вероятности выработки качественных стекол в зависимости от режима закалки. Показана эффективность использования логистической регрессии для оперативного контроля качества вырабатываемых стекол.

Ключевые слова: закаленное автомобильное стекло, контроль, модель, логистическая регрессия.

Безопасные стекла применяются в качестве остекления наземного транспорта. Стекла подразделяют на ветровые, для остекления переднего

проема транспортных средств, и прочие, применяемые для остекления боковых и задних проемов транспортных средств [1].

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 [2]. В процессе производства неветровых гнутых закаленных автомобильных стекол закалка протекает в горизонтальной печи СИВ-Г непрерывного действия. Стекла крупных размеров вырабатываются в одном потоке, мелкие - в два потока. Непрерывно контролируется качество вырабатываемых изделий [3]. Проверяют форму и размеры стекол, поперечную кривизну гнутых стекол, отклонение поверхности гнутого стекла от прямой, образующей цилиндр [1].

При контроле качества стекол определяется соответствие изделий требованиям чертежа. Качество вырабатываемого стекла может принимать два значения: 1 – соответствие изделия требованиям чертежа и 0 – изделие не соответствует требованиям. В рассматриваемом случае качество является бинарной величиной, поэтому для статистического анализа может применяться бинарная логистическая регрессия. Данные логистической регрессии могут использоваться для предсказания вероятности выработки качественных изделий в зависимости от режима закалки.

Вопросы построения и оценки параметров модели логистической регрессии освещены в литературе достаточно полно [4].

Для отбора предикторов авторами были использованы два метода – множественный корреляционный анализ и метод прямой селекции. Корреляционный анализ позволил отбросить коррелированные предикторы (режимы закалки), а метод селекции - последовательно отобрать 10 режимных переменных x_4 - x_{21} , коррелированных с зависимой переменной:

X_4 – температура в печи в камере 1, зоне 1 в своде, $^{\circ}\text{C}$;

- X5 - температура в печи в камере 1, зоне 11 в поде, °С;
- X10 - температура в печи в камере 4, зоне 2 в своде, °С;
- X11 - температура в печи в камере 4, зоне 12 в поде, °С;
- X13 – количество потоков выработки, шт.;
- X14 – температура пирометра 1, °С;
- X17 – интервал 1 левый, мм;
- X18 – интервал 2 левый, мм;
- X19 – высота пуансона 1, мм;
- X21 – обдув предварительный, низ, Па.

Общее число наблюдений при равномерном их распределении рекомендуется выбирать не менее 10 на 1 предиктор. В нашем случае достаточно 100 наблюдений при 10-ти предикторах.

Для статистического анализа использовали данные мониторинга процесса закалки в течение 3,5 месяцев непрерывной работы производства. Выборка содержала 129 сменных данных контроля качества закаленных стекол (неприлегание на четырех сторонах стекла - не более 2 мм и отклонение образующей цилиндра - менее 1,5 мм) и режиму закалки (параметры печи и пресса, 10 точек контроля). Из 129 изделий в выборке 78 стекол соответствовали требованиям чертежа, а 51 изделие было с отклонениями.

Была проведена разбивка набора данных для обучения и тестирования. 99 данных использовались для обучения модели, а 30 - для тестирования качества разработанной модели.

С использованием программы *Statgraphics Plys* получено уравнение регрессии, описывающее зависимую переменную z , которая является дихотомической и кодируется: 1 – изделие соответствует требованиям чертежа, 0 – изделие с отклонениями от требований:

$$z=78,72-0,54x_4+0,18x_5+7,59x_{10}-7,61x_{11}+4,58x_{13}-0,064x_{14}+43,85x_{17}-58,74x_{18}-0,56x_{19}+0,26x_{21}, \quad (1)$$

где x_4 - x_{21} – предикторы, приведенные выше в тексте.

Множественная регрессия (1) предсказывает переменную отклика z большей 1 и меньшей 0. Это недопустимо для поставленной задачи. Вместо переменной z используют переменную p со значениями на отрезке $[0,1]$, получаемую преобразованием:

$$p = \frac{e^z}{1 + e^z}. \quad (2)$$

Для оценки качества полученной модели (2) использовали ROC- анализ [5]. Ошибки I и II рода разработанной модели указаны в таблице. Таблица сопряженности отражает классификацию моделью данных обучающей выборки и фактическую принадлежность результатов контроля к классам.

Таблица сопряженности

Классификация моделью данных	Фактическая принадлежность результатов контроля	
	Положительная	Отрицательная
Положительная	TP=54	FP=21 (ошибка модели II-го рода)
Отрицательная	FN=7 (ошибка модели I-го рода)	TN=17

По данным таблицы рассчитываем долю истинно положительных примеров классификации:

$$TPR = TP/(TP+FN)*100\% = 88,89\%$$

и долю ложно положительных примеров:

$$FPR = FP/(TN+FP)*100\% = 55,26\%.$$

Чувствительность модели отражает долю истинно положительных случаев классификации:

$$Se = TPR = TP/(TP+FN)*100\% = 88,89\%.$$

Специфичность модели отражает долю выявленных отрицательных случаев, которая была правильно идентифицирована моделью:

$$Sp = TN/(TN+FP)*100\%=44,74\%.$$

Результаты анализ подтвердили высокую чувствительность модели (1, 2), построенной на обучающей выборке. Расчетная вероятность выработки закаленных стекол, удовлетворяющих требованиям чертежа, совпала с фактическими данными обучающей выборки в 88,89% случаев.

Оценивалась также точность прогнозирования качества вырабатываемых закаленных стекол на тестовой выборке. Выборка содержала 17 изделий, соответствующих требованиям чертежа, и 13 – с отклонениями от требований. Здесь использовали обученную модель (1, 2), чтобы делать прогнозы для тестового набора данных. Точность прогнозирования оценивали с использованием ROC- анализа.

Чувствительность модели на тестовой выборке составила $Se=41,18\%$. Доля истинно отрицательных случаев, которая была правильно идентифицирована моделью, составила $Sp=76,92\%$.

Выводы

1. Проведенные исследования подтвердили эффективность использования логистической регрессии для контроля качества вырабатываемых закаленных стекол.

2. В случае, когда расчетное значение вероятности p будет меньше 0,5, можно предположить, что выработка качественных стекол не наступит. При этом необходимо принять корректирующие действия по изменению режима закалки.

Список литературы

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32565-2013. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия. -М., ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2016.-53с.
2. Хорошева Е.Р., Макаров Р.И. Оценка качества технологического процесса моллирования в производстве автомобильного стекла // Век качества. -2023. -№ 1. - С. 135-145. -Режим доступа: <http://www.agequal.ru/pdf/2023/123008.pdf>.
3. Макаров Р. И., Хорошева Е. Р. Автоматизация контроля качества многослойных стекол в процессе производства // Стекло и керамика. -2019. -Т. 92. -№ 6. -С. 3-4.
4. Практика построения модели логистической регрессии [Электронный ресурс] // Центр статистического анализа, 10.01.2013. -URL: <https://www.statmethods.ru/stati/modeli-logisticheskoy-regressii/>.
5. Логистическая регрессия и ROC-анализ – математический аппарат [Электронный ресурс] // Loginom, 20.01.2020. -URL: <https://loginom.ru/blog/logistic-regression-roc-auc>.

Automation of quality control of bent tempered glass during production

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

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

The article discusses the production process of non-wind bent tempered automobile glass. Selective quality control of produced bent tempered glass was carried out. A logistic regression model has been compiled to determine the probability of producing high-quality glass depending on the tempering mode. The effectiveness of using logistic regression for operational control of the quality of produced glass is shown.

Keywords: tempered automobile glass, control, model, logistic regression.