

BADANIA DYNAMIKI PROCESU MYCIA OPAKOWAŃ SZKLANYCH

Grzegorz Wojciechowski

Instytut Maszyn Roboczych Politechniki Poznańskiej

WPROWADZENIE

Opakowania szklane, przeznaczone do produktów spożywczych, powinny charakteryzować się takim stopniem czystości (tak pod względem fizyko-chemicznym, jak też i mikrobiologicznym), aby w wymaganym czasie nie zaszły żadne zmiany własności pakowanego produktu. Doprowadzenie wewnętrznych powierzchni opakowań szklanych do wymaganego stopnia czystości jest, wbrew pozorom, procesem bardzo złożonym. Liczba czynników biorących udział w procesie hydromechanicznego mycia opakowań szklanych jest znaczna. Biorąc pod uwagę ich interakcje, liczba ta ulega zwielokrotnieniu. Do czynników zidentyfikowanych, których wpływ na stopień wymycia można badać eksperymentalnie, należy zaliczyć: temperaturę i skład cieczy myjącej, energię i kąt padania strumienia, czas natrysku i jego charakter (przerywany lub ciągły), ciśnienie robocze, typ dysz natryskowych, ich średnicę i geometrię, typ butelki, rodzaj szkła, charakter zabrudzenia i inne. Znaczna liczba czynników i ich różnorodność pod względem charakteru sprawiła, że badania, mające na celu wyznaczenie istotności wpływu na skuteczność usuwania zabrudzeń z wewnętrznych powierzchni opakowań szklanych, są trudne i pracochłonne, co w konsekwencji jest powodem braku informacji o udziale i roli w tym procesie chociażby części z wymienionych czynników [2].

CEL PRACY I PROGRAM BADAŃ

Podjęcie badań przedmiotowych wymagało stworzenia systemu zdeterminowanego czynnikami pochodzącymi od myjarki, cieczy myjącej opakowania i charakteru jego zabrudzenia, wraz z wzajemnymi więziami wewnętrznymi i zewnętrznymi. Celem pracy było wyznaczenie istotności wpływu wybranych czynników na skuteczność usuwania za-

brudzeń z wewnętrznych powierzchni opakowań szklanych. Wymagało to wyznaczenia i sprawdzenia takiej metody analizy statystycznej wyników pomiarów, która pozwoliła na realizację programu uwzględniającego równoczesne badanie kilku czynników i uogólnienie ich wyników.

Na podstawie analizy literatury, przeglądu konstrukcji myjarek i warunków ich pracy oraz badania wstępnego dokonano ustalenia programu badań. Badaniom poddano butelkę do mleka o pojemności 1000 ml (PN-74/0-79706). Zabrudzeniem modelowym było mleko skondensowane, zawierające trudne do wymycia substancje, głównie tłuszcze oraz cukry oraz dobrze przyjmujące znacznik promieniotwórczy (technet) białka. Przegląd i klasyfikacja dysz, najczęściej stosowanych w myjarkach opakowań szklanych, pozwoliły na wybór do badań następujących ich typów: D (Dubru), H (Hund-Kappert) oraz K (Krones) [7]. Wartości średnic dysz ustalono na trzech poziomach. Również na trzech poziomach ustalono wartości ciśnienia roboczego, natomiast czas natrysku (przerywany) i stężenie ługu sodowego ustalono na dwóch poziomach. Wybór wartości ekstremalnych czynników zmiennych był zależny głównie od typu (masy) butelki badanej. Doboru wartości średnic dysz i ciśnień roboczych dokonano na podstawie wyników badań, których celem było wyznaczenie takiej wartości energii strumienia, aby swym zakresem dosięgał on dna butelki, a równocześnie nie powodował wyrzucenia jej z gniazda myjarki. Eksperyment wykonano na stanowisku badawczym, przedstawionym w pracy [8].

Pomiary zanieczyszczenia modelowego, stanowiące podstawę do analizy funkcjonalnej układu: parametry sterowania - skuteczność procesu mycia prowadzono przy użyciu metody izotopowej, w której znacznikiem był eluat $\text{Na}^{99\text{m}}\text{ZrO}_4$ [6,8].

METODY ANALIZY WYNIKÓW POMIARÓW

Podejmując badania przedmiotowe założono, że powinny być przeprowadzone według takiego programu, który pomimo uwzględnienia wyjątkowo dużej liczby czynników pozwoli na uzyskanie maksymalnej ilości informacji o istotności ich wpływu na proces mycia opakowań szklanych strumieniem cieczy roboczej. W wyniku analizy literatury przedmiotu [1,3,4,5] do badań przyjęto program statyczny kompletnie zdefiniowany, zmiennowartościowy (PS/DK-v), charakteryzujący się możliwością stosowania różnych liczb poziomów wartości czynników n_k dla różnych czynników X , który cechuje bardzo duża pojemność informatyczna. W wyniku analizy statystycznej wyników pomiarów przy pomocy tzw. analizy wstecznej, uzyskano model matematyczny - równanie regresji - w następującej postaci ogólnej

$$\bar{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5, \quad (1)$$

gdzie:

\bar{Y} - funkcja celu,

b_0 - stały współczynnik regresji,

$b_1 - b_5$ - współczynnik regresji cząstkowej,

$x_1 - x_5$ - zmienne zależne (czas natrysku, stężenie ługu, temperatura cieczy roboczej, średnica dyszy, ciśnienie robocze),

opisujące wpływ zmian wartości parametrów sterowanych na stopień umycia badanej butelki, dla uprzednio przyjętego układu: d y s z a × b u t e l k a.

W prezentowanych badaniach szczególną uwagę zwrócono na uzyskanie maksymalnej ilości informacji o wpływie wymienionych uprzednio czynników na skuteczność mycia dla poszczególnych typów dysz. Analizę statystyczną wyników pomiarów stanowiskowych przeprowadzono w dwóch etapach. W etapie pierwszym wyznaczono podstawowe charakterystyki statystyczne, a mianowicie: oceny wartości średnich, oceny odchyłeń standardowych, błędy standardowe średnich, współczynniki zmienności, przedziały ufności dla wartości średnich ze współczynnikiem ufności równym 0,95 oraz wartości minimalne i maksymalne w poszczególnych podzbiorach danych. Charakterystyki te wykorzystano następnie do klasyfikacji poszczególnych układów parametrów w szereg, od najlepszego do najgorszego. Klasyfikację powyższych układów przeprowadzono przy założeniu, że ilość zanieczyszczeń po myciu zmniejsza się zgodnie z funkcją wykładniczą, tj. o wartość $\frac{1}{e} n$, gdzie n oznacza klasę skuteczności mycia. W ten sposób uzyskano pięć klas, a mianowicie:

1 klasa - 0,0000 - 1,8315% pozost. zabrudzenia modelowego,

2 klasa - 1,8316 - 4,9786% pozost. zabrudzenia modelowego,

3 klasa - 4,9787 - 13,5333% pozost. zabrudzenia modelowego,

4 klasa - 13,5334 - 36,7876% pozost. zabrudzenia modelowego,

5 klasa - 36,7877 - 100,0000% pozost. zabrudzenia modelowego.

Przyjęto, że przedział ufności średniego procentu zanieczyszczenia modelowego po procesie mycia mieści się w jednym z wymienionych wyżej zakresów. Przedziały obejmujące więcej niż jedną z wymienionych klas wskazują na równoważność danego układu, ale również i na wyższą zmienność wyników, świadczącą o większej nierównomierności pracy urządzenia myjącego. Ponadto, na podstawie wyników obliczeń stwierdzono, że dla układów, w których wymycie zabrudzeń nie przekracza 86,4667%, analiza ich nie ma istotnego wpływu na określenie optymalnych wartości parametrów pracy dysz natryskowych.

W drugim etapie opracowania statystycznego wyników pomiarów, dla każdego układu: t y p d y s z y × t y p b u t e l k i przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej, przyjmując za pięć zmiennych kolejno: ciśnienie robocze, średnicę dyszy, stężenie ługu, czas natrysku oraz temperaturę cieczy roboczej. W analizie tej stosowano zasadę wyboru zmiennych na podstawie wartości statystyki R^2 , eliminując te zmienne, których nieobecność w modelu matematycznym zmniejszała wartość R^2 w stopniu nieistotnym. W obydwu etapach obliczenia wykonano na maszynie

Tabela 1

Wartości czynników objętych programem badań

Rodzaj butelki	Typ dyszy	Średnica dyszy mm	Wartość poziomów ciśnienia roboczego MPa			Czas natrysku s	Temperatura cieczy myjącej °K	Stężenie NaOH %	Liczba powtórzeń
			Poziom min	Poziom 0	Poziom max				
Mleko 1000 ml	D	1,5	0,10	0,25	0,40	6 x 3	333	0,5	4
		3,0	0,10	0,25	0,40				
		4,0	0,10	0,20	0,30				
	H	1,5	0,10	0,25	0,40	6 x 3	333	0,5	4
		3,0	0,10	0,25	0,40				
		4,0	0,10	0,20	0,30				
	K	1,4	0,10	0,25	0,40	6 x 3	333	0,5	4
		3,0	0,10	0,25	0,40				
		4,0	0,10	0,25	0,30				

cyfrowej ODRA 1204, korzystając z procedur w języku ALGOL. Do analizy regresji wielokrotnej z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych posłużono się programem ABS-12 [3].

Przedstawione procedury analizy wyników pomiarów stanowiących zmierzają w dwóch zasadniczych kierunkach:

- 1) ustalenia tych parametrów sterowania procesem mycia badanych butelek, które mają największy wpływ na jego skuteczność,
- 2) ustalenia optymalnych wartości parametrów pracy dysz natryskowych, na podstawie uzyskanych równań regresji.

Wyniki przeprowadzonych zgodnie z programem badań stanowiskowych, poddane wyżej omówionym procedurom obliczeń statystycznych, pozwoliły na stwierdzenie, że:

- w odniesieniu do butelki do mleka o pojemności 1000 ml, dla wszystkich trzech badanych typów dysz D, H, K parametrami, które mają największy wpływ na stopień wymycia ($\bar{Y}\%$) są kolejno: czas natrysku, ciśnienie robocze, średnica dyszy,
- w najmniejszym stopniu na $\bar{Y}\%$ wpływają: temperatura cieczy roboczej, stężenie ługu,
- czynnikami, których wpływ na $\bar{Y}\%$ w warunkach przeprowadzonych badań jest mniejszy od 5%, są: dla dyszy typu D - stężenie ługu, dla dyszy typu K - średnica dyszy i temperatura cieczy roboczej, dla dyszy typu H - istotność wpływu na $\bar{Y}\%$ wszystkich badanych czynników jest większa od 5% (brak czynników nieistotnych).

W tabeli 2 przedstawiono matematyczny opis dynamiki zmian ilości zanieczyszczeń $\bar{Y}\%$, pozostałych po procesie mycia badanych butelek. Tabela 3 zawiera zestawienie optymalnych wartości parametrów w warunkach prowadzonych badań.

Analiza wyników badań i obserwacje poczynione w trakcie ich trwania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków szczególnych:

- dyszą, która najlepiej wymywa zabrudzenie modelowe z butelek do mleka o pojemności 1000 ml jest dysza typu D, a jej optymalna średnica w warunkach badań wynosi 4,03 mm,
- racjonalna wartość ciśnienia roboczego, wynosi 0,10-0,40 MPA,
- w zależności od charakteru zabrudzenia należy stosować różne wartości środka myjącego. Dla zabrudzeń, które nie powodują powstawania piany w trakcie procesu mycia, można stosować wyższe stężenia, co zwiększy jego skuteczność. Piana utrudnia dostęp strumienia do wszystkich obszarów powierzchni mytej, obniżając skuteczność procesu,
- należy unikać powstawania tzw. korka wodnego, pogarszającego w znacznym stopniu skuteczność usuwania zabrudzeń z wewnętrznych powierzchni badanych butelek przez obniżenie wartości ciśnień roboczych cieczy myjącej lub zastosowanie natrysku przerywanego, umożliwiającego cieczy na wypływ z butelki,
- ustalono, że największy wpływ na skuteczność badanego procesu ma czas natrysku. Do parametrów mających istotny wpływ należą ponadto: ciśnienie robocze, średnica dyszy i temperatura cieczy myjącej.

Matematyczny opis dynamiki zmian $\bar{Y}\%$ ilości zanieczyszczenia po myciu butelek ML-1000 przy użyciu dysz typu D, H, K

Lp.	Typ dyszy	Typ butelki	% brudu \bar{Y}	Równanie $\bar{Y}\% = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5$ (x_1 - ciśnienie; x_2 - średnica; x_3 - stężenie ługu; x_4 - czas; x_5 - temperatura)	Eliminacja nieistotnego parametru pracy (Lp. 1)	R (korelacja)	Statystyczna istotność korelacji	Zmiana $\bar{Y}\%$ dla jednostkowej zmiany parametru x_i	Parametry pracy w kolejności wg wielkości wpływu na \bar{Y}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	D	ML-1000	25,6384	$\bar{Y}\% = 95,5463 - 38,28754 x_1 - 8,1524 x_2 + 1,0828 x_3 - 0,5097 x_4 - 0,2725 x_5$	0	0,6538	0,05	-	-
2.	D	ML-1000	25,6384	$\bar{Y}\% = 96,8999 - 38,2875 x_1 - 8,1524 x_2 - 0,5097 x_4 - 0,2725 x_5$	x_3 - stęż.	0,6527	0,05	$x_1 = -0,200649$ $x_2 = -0,3867$ $x_4 = -0,496255$ $x_5 = -0,1264$	$x_4 > x_2 > x_1 > x_5$
3.	H	ML-100	24,6905	$\bar{Y}\% = 19,08467 - 24,8338 x_1 - 5,1451 x_2 + 4,70912 x_3 - 0,53388 x_4 + 0,58951 x_5$	0	0,6668	0,05	$x_1 = -0,131$ $x_2 = -0,2369$ $x_3 = +0,1659$ $x_4 = -0,5267$ $x_5 = +0,2769$	$x_4 > x_2 > x_1 > x_3 > x_5$
4.	K	ML-1000	29,7560	$\bar{Y}\% = 67,91166 - 41,38206 x_1 - 1,56043 x_2 + 4,9111 x_3 - 0,56757 x_4 - 0,11375 x_5$	0	0,5706	0,05	-	-
5.	K	ML-100	29,7560	$\bar{Y}\% = 59,94916 - 41,38206 x_1 - 1,5603 x_2 + 4,9111 x_3 - 0,56757 x_4$	x_5 - tem.	0,5685	0,05	-	-
6.	K	ML-1000	29,7560	$\bar{Y}\% = 54,8574 - 39,02106 x_1 + 4,9111 x_3 - 0,56757 x_4$	x_2 - śr.	0,5674	0,05	$x_1 = -0,1882$ $x_3 = +0,15718$ $x_4 = -0,50846$	$x_4 > x_1 > x_3$

T a b e l a 3

Optymalne wartości parametrów pracy badanych dysz do mycia butelek do mleka o pojemności 1000 ml

Typ dyszy	Średnica dyszy mm	Ciśnienie robocze MPa	Stężenie NaOH %	Czas natrysku s	Temperatura cieczy myjącej °K
D	4,03	0,20-0,30	0,5	60	353
H	4,02	0,20-0,30	2,0	60	333
K	3,04	0,10-0,25	0,5	60	333

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych rozważań można stwierdzić, że proponowana metoda badawcza pozwala na:

- ustalenie racjonalnych wartości parametrów pracy myjarek,
- rozwiązanie problemu wydajności tych urządzeń,
- sformułowanie wymagań technicznych w odniesieniu do konstrukcji materiałoozczędnych i energooszczędnych,
- sformułowanie przesłanek do budowy optymalnego systemu zasad doboru dysz i parametrów ich pracy w zależności od typu opakowania i charakteru jego zabrudzenia.

Powyższe możliwości mogą być wykorzystane również w przypadkach:

- konieczności mycia butelek lub słoików szklanych innych typów,
- wprowadzenia istotnych zmian konstrukcyjnych w istniejących typach myjarek,
- nowych konstrukcjach myjarek, zwłaszcza przeznaczonych do mycia kilku typów opakowań szklanych,
- sprawdzenia słuszności zalecanych przez konstruktora i producenta parametrów pracy myjarek w warunkach eksploatacyjnych.

PIŚMIENNICTWO

1. Eland R.: Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczenia rolniczego. Warszawa, WNT 1964.
2. Gladuśnjak A. K.: Mašiny dla mojki konserwnego syrja i tary. Piščevaja promyšlennost, Moskva 1973.
3. Malec E., Caliński T.: Analiza regresji wielokrotnej z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu LXIV (1973), s. 11-29.

4. Mańczak K.: Technika planowania eksperymentu. Warszawa, WNT 1976.
5. Nalimow W., Czernowa N.: Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych. Warszawa, WNT 1967.
6. Overmann P. T., Clark H. M.: Izotopy promieniotwórcze, metodyka stosowania. Warszawa, WNT 1972.
7. Wojciechowski G.: Badnia wpływu wybranych czynników na proces mycia butelek szklanych. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, 1984, 24, 287-297.
8. Wojciechowski G.: Założenia metody badania skuteczności usuwania zabrudzeń z powierzchni opakowań szklanych produktów spożywczych strumieniem cieczy. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej 1984, 24, 300-308.

Г. Войцеховски

ИСПЫТАНИЯ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА МОЙКИ СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Р е з ю м е

В работе представлена возможность использования анализа множественной регрессии с подбором наилучшего подмножества переменных независимых при использовании обратной элиминации в испытаниях процесса мойки стеклянной тары для продовольственных продуктов. Результаты экспериментальных испытаний молочных бутылок вместимостью 1000 мл., проведенных при использовании радиоактивных изотопов, позволили констатировать, что вышеуказанный метод можно признать вполне эффективным и удовлетворительным для испытания существенности влияния избранных факторов на эффективность мойки возвратной стеклянной тары. Представленный метод анализа позволил определить модель математического процесса мойки, учитывающего динамику изменений количества модельного загрязнения в зависимости от величины переменных независимых. Предлагаемая процедура особенно пригодна при формулировании предпосылок для материалоемких и энергоемких конструкций, а также при оптимизации производительности тоннельных моечных установок при предпосылке, что основным условием является осуществление требуемой степени внутренней чистоты поверхности тары, подвергнутой приему мойки.

G. Wojciechowski

RESEARCH ON DYNAMICS OF WASHING GLASS PACKAGINGS

S u m m a r y

The possibility of application of multiple regression analysis with the choice of the best independent variable using a reverse elimination in the research on washing the glass packagings for food products is presented in the paper. The results of the experimental research on the milk bottles of 1000 ml capacity carried out with the use of radioactive isotopes have led to the statement that the above method can be recognized as fully efficient and satisfactory in the investigations of the essence of the selected factors influence on the effectiveness of washing returnable glass packagings. The method of the analysis presented here has allowed for determination of a mathematical model of washing with regard to changes in dynamics of quantity of model impurity according to independent variables values. The procedure proposed is particularly useful for material-saving and energy-saving brief foredesign as well as for the best output of tunnel bottle-washers with the assumption that the basic condition is to realize the required degree of cleanness of inner surfaces of packagings being washed.