

ZESZYTY NAUKOWE

[25]

**WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA
W KOSZALINIE**

**PRACE WYDZIAŁU MECHANICZNEGO
NR 7**

**Wybrane zagadnienia inżynierii procesowej
i automatyzacji przemysłu żywnościowego**



KOSZALIN 1985

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W KOSZALINIE

PRACE WYDZIAŁU MECHANICZNEGO

Nr 7

Wybrane zagadnienia inżynierii procesowej
i automatyzacji przemysłu żywnościowego

KOSZALIN 1985

ZESZYT NAUKOWY WYDZIAŁU MECHANICZNEGO

O P I N I O D A W C Y :

Henryk Błasiński
Józef Grochowicz
Robert Sikora
Daniel Dutkiewicz
Lech Kamiński

R E D A K T O R Z Y :

Jerzy Milanowski
Bronisław Słowiński

Wydano za zgodą
Rektora Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie

Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie
75-620 Koszalin, ul. Raclawicka 15-17

Koszalin, nakład 100+75 egz., format B-5, ark. wyd. 6,55 Cena 196,- zł

SPIS TRESCI

1. Jerzy Milanowski, Jarosław Diakun - Wielomodelowe odwzorowanie i analiza zachowania się materiału w ślimakowych układach tłoczących 5
2. Jarosław Diakun, Jerzy Milanowski - Metodyka obliczeń tłoczni ślimakowych z rowkowanym cylindrem 22
3. Jerzy Milanowski, Ryszard Tesmer - Modele utraty spójności błon komórkowych surowców żywnościowych 37
4. Jarosław Diakun - Analiza możliwości cięcia nożami tarczowymi 47
5. Jerzy Maceluch, Janusz Owczarzak, Władysław Tarasewicz. - Metody określania stopnia rozdrobnienia materiałów żywnościowych 63
6. Jarosław Diakun - Ocena sprawności rozdziału układów niejednorodnych 71
7. Grzegorz Radomski, Władysław Tarasewicz - Szybkość homogenizacji cieczy w mieszalniku periodycznym 81
8. Władysław Tarasewicz - Kinetyka ujednorodniania płynów w przepływie 96
9. Władysław Tarasewicz - Zasady projektowania ujednorodniania płynów w przepływie 109
10. Tomasz Kiczowski, Jerzy Maceluch, Jerzy Milanowski, - Układ sterowania i napędu agregatu formujące - zawijającego do pomadek mlecznych "Krówka". 116
11. Jerzy Milanowski, Jan Dłaczuk - O potrzebie zmian rozwiązań układów pomiarowych dla przechowalni ziemniaków 129
12. Ewa Wachowicz, Tomasz Kiczowski - Model procesów wymiany ciepła i masy w warstwie ziemniaków podczas składowania długotrwałego 142

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego,

WIELOMODELOWE ODWZOROWANIE I ANALIZA ZACHOWANIA SIĘ
MATERIAŁU W ŚLIMAKOWYCH UKŁADACH TŁOCZĄCYCH.

Jerzy Milanowski, Jarosław Diakun

1. W s t ę p

Aktualnie w technologii i technice wielu branż przemysłu żywnościowego, chemicznego i innych, szeroko stosuje się ślimakowe układy tłoczące (SUT). Do opisu przetłaczania materiałów w takich układach stosuje się różne modele fenomenologiczne, zwłaszcza modele przepływowe [5, 9, 11]. We wcześniejszych pracach autorów [1-4, 6-8] przedstawiono wykorzystanie do tego celu modeli mechanicznych wykorzystujących różne stopnie przestrzenno wymiarowej idealizacji poruszającego się materiału, jak też idealizacji zjawisk wzajemnego oddziaływania SUT i materiału.

W kolejnych publikacjach przedstawiono szczegółowo metodykę tworzenia oraz analizę poszczególnych odmian takich modeli. W niniejszej pracy zestawione zostaną wyniki wcześniejszych badań oraz założenia idealizacyjne, przy których zostały one uzyskane. Zestawienie to umożliwi wielomodelowe odwzorowanie matematyczne i analizę zachowania się materiału w SUT. Podstawowym celem analizy wielomodelowej będzie określenie wpływu zmian przyjmowanych modeli fenomenologicznych na postać i adekwatność odwzorowań matematycznych zachowania się materiału w SUT.

2. Ś l i m a k o w e u k ł a d y t ł o c z ą c e i i c h
m o d e l e f e n o m e n o l o g i c z n e

Klasę rozpatrywanych tutaj SUT można określić następująco, Są to układy ślimakowe całkowicie wypełnione materiałem znajdującym się pod ciśnieniem, zawierające jeden ślimak pełnozwojny o stałej średnicy rdzenia oraz cylinder o stałej średnicy wewnętrznej.

Adres: dr inż. Jerzy Milanowski, dr inż. Jarosław Diakun

Wyższa Szkoła Inżynierska, ul. Ractawieka 15/17

75 - 620 Koszalin

Układy te mogą przyjmować różne postacie, a mianowicie: z układem dławiącym (rys.1a), lub bez takiego układu, z gładką wewnętrzną powierzchnią cylindra (rys.1b) lub z powierzchnią rowkową (rys.1c), z rowkami poosiowymi (rys.1d) lub śrubowymi (rys.1e)

Przepustowość takich SUT określona jest wzorem (1, 4, 7)

$$Q_r = \frac{1}{8} \omega \rho S (d_c^2 - d_r^2) \frac{1}{1 + \gamma_s \operatorname{tg} \varphi} \eta_q, \quad (1)$$

We wzorze tym występują parametry charakteryzujące: geometrię SUT (S - skok ślimaka, d_c - średnica wewnętrzna cylindra, d_r - średnica rdzenia ślimaka, $d_s = (d_c + d_r)/2$, $\gamma_s = S/\pi \cdot d_s$ - średnia stromość wstęgi ślimaka), kinematykę SUT (ω - prędkość kątowa ślimaka), materiał przetaczany (ρ - gęstość przetaczanego materiału), geometrię ruchu materiału (φ - kąt kierunku ruchu materiału), korygujące niektóre uproszczenia modelowe (η_q - sprawność przepustowościowa: parametr korygujący przepustowość rzeczywistą SUT w porównaniu z teoretyczną $\eta_q = Q_r/Q_t$ - uwzględniający niecałkowite wypełnienie materiałem przestrzeni między cylindrem i ślimakiem oraz ew. płynięcie materiału, tj. względne przemieszczanie się jego cząstek wynikające z braku spoistości materiału).

Kąt kierunku ruchu materiału określony jest zjawiskami dynamicznymi zachodzącymi pomiędzy przetaczanym materiałem a elementami SUT. Dla SUT bez rowków modele zjawisk dynamicznych wykorzystywać można do określania zależności wartości kąta kierunku ruchu materiału od innych parametrów konstrukcyjnych i roboczych. Zmiana tego kierunku w SUT bez rowków wiąże się ze zmianami ich przepustowości [1] i zależy od ciśnienia tłoczenia materiału. Jest to zależność odwracalna. Przekształcając ją określić można ciśnienie w funkcji kąta w kierunku ruchu materiału.

W SUT z rowkami żądany kierunek ruchu materiału jest jednoznacznie określony kierunkiem rowków wykonanych na wewnętrznej powierzchni cylindra. Kąt nachylenia tych rowków do kierunku wzdłużnego wynosi najczęściej $\varphi = 0$ lub $\varphi = \alpha_s$. W drugim przypadku rowki są prostopadłe do średniej linii śrubowej ślimaka. Jeśli ruch materiału

jest zgodny z rowkami, to sprawność przepustowościowa η_q SUT jest stała [4], niezależnie od wartości ciśnienia panującego w układzie. Nie może też wtedy wystąpić bardzo niekorzystne, z technologicznego punktu widzenia, zjawisko miażdżenia materiału między krawędzią zwoju ślimaka a krawędziami rowków. Dla zapewnienia takiego ruchu muszą być spełnione określone warunki. W szczególności konieczne jest odpowiednie zróżnicowanie współczynników tarcia między materiałem a wewnętrzną powierzchnią cylindra: w kierunku rowków μ_q , i w kierunku prostopadłym do rowków μ_p .

Dla SUT z rowkami modele zjawisk dynamicznych mogą być wykorzystane do określenia relacji jakie powinny spełniać parametry konstrukcyjne i robocze, a zwłaszcza współczynniki tarcia, aby materiał poruszał się zgodnie z rowkami. Modele te można też wykorzystać do określania zależności ciśnienia tłoczenia od parametrów konstrukcyjnych i roboczych SUT.

Modele fenomenologiczne dynamiki SUT tworzone są z wykorzystaniem idealizacji, która polega na przyjmowaniu założeń idealizacyjnych dotyczących elementów występujących w tych układach i ich wzajemnych oddziaływań. Uwzględnione tutaj założenia idealizacyjne podzielić można na dwie grupy: założenia ogólne, wspólne dla wszystkich zestawionych dalej modeli, oraz założenia specyficzne - słuszne jedynie dla niektórych spośród tych modeli. Jako założenia ogólne przyjęto, że:

- materiał całkowicie wypełnia przestrzeń między cylindrem i ślimakiem;
- grubość wstęgi ślimaka oraz wielkość szczeliny między wstęgą ślimaka a wewnętrzną powierzchnią cylindra są pomijalnie małe;
- materiał jest makroskopowo jednorodny i objętościowo nieodkształcalny;
- ciśnienia działające w dowolnym punkcie materiału rozchodzą się jednakowo we wszystkich kierunkach;
- siły między materiałem przetwarzanym a elementami roboczymi SUT mają charakter sił powierzchniowych, normalnych oraz stycznych
- w postaci tarcia suchego,

Podane założenia ogólne charakteryzują klasę rozpatrywanych tutaj fenomenologicznych modeli dynamiki SUT, zaś wprowadzone dalej

założenia specyficzne prowadzą do tworzenia różnych rodzajów modeli tej klasy. Najważniejszym rodzajem założeń specyficznych są założenia określające stopień idealizacji przestrzenno-wymiarowej materiału. Materiał rzeczywisty rozciąga się w przestrzeni trójwymiarowej. Materiał idealizowany przestrzennie - wymiarowo posiada zredukowaną liczbę wymiarów. W krańcowym przypadku może on być zastąpiony punktem materialnym (obiektem zerowymiarowym). Możliwe jest też odwzorowanie materiału przetłaczanego za pomocą linii materialnej (modele liniowe - jednowymiarowe) lub powierzchni materialnej (modele powierzchniowe - dwuwymiarowe), (rys. 2). Kolejne, specyficzne założenia idealizacyjne dotyczą oddziaływania pomiędzy materiałem a zwojami ślimaka. W rzeczywistości na materiał oddziałują zarówno czynna jak też bierna powierzchnia zwoju ślimaka, (rys. 3c). Rozważania analityczne, można znacznie uprościć jeśli przyjąć założenie idealizacyjne, że z materiałem oddziałuje jedynie powierzchnia czynna (rys. 3b). W przypadku badania SUT z cylindrami rowkowanymi przyjmujemy specyficzne założenia idealizacyjne, zgodnie z którym współczynniki tarcia materiału o cylinder dla kierunku rowków i dla kierunku prostopadłego do rowków są różne i wynoszą odpowiednio μ_q i μ_p . Założenie to umożliwi odwzorowanie specyfiki ruchu materiału w SUT z rowkami i uzyskiwanie wyników zgodnych z wynikami badań empirycznych takich układów.

Kolejna grupa specyficznych założeń idealizacyjnych dotyczy własności materiału przetłaczanego. Uwzględniając przyjęte uprzednio założenie ogólne o charakterze sił stycznych między materiałem przetłaczanym a elementami roboczymi SUT jak tarcia suchego, można wyróżnić dwa przypadki materiału: materiał spoisty, dla którego siły tarcia wewnętrznego są większe od sił tarcia zewnętrznego oraz materiał niespoisty, dla którego siły tarcia wewnętrznego są mniejsze od sił tarcia zewnętrznego i mają również charakter tarcia suchego.

Zestawiając ze sobą poszczególne specyficzne założenia idealizacyjne uzyskuje się różne rodzaje modeli fenomenologicznych dynamiki SUT należące do rozpatrywanej klasy modeli. Wykorzystując te rodzaje modeli można formalnie ujmować po kolei wyodrębnione uprzednio rodzaje SUT, uzyskując bardzo dużą liczbę modeli fenomenologicznych. W wyniku analizy tych modeli uzyskiwać można odpowiednie

analityczne modele matematyczne dynamiki SUT. Analiza wszystkich możliwych do utworzenia modeli fenomenologicznych w celu otrzymania modeli matematycznych nie jest z wielu względów możliwa ani nawet celowa. Dalej zestawione zostaną analityczne modele matematyczne, stanowiące wyniki analizy wybranych, najważniejszych przypadków fenomenologicznych modeli dynamiki SUT.

3. Analityczne modele matematyczne dynamiki ślimakowych układów tłoczących

W wyniku wcześniejszych analiz dynamiki SUT bez rowków tłoczących materiałów o dużej spójności, wyznaczono następujące zależności określające kierunek ruchu materiału:

- dla modelu punktowego SUT bez układu dławiącego

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\gamma_s + \mu_{sl}}{1 - \mu_{sl} \gamma_s} \quad (2)$$

gdzie: μ_{sl} - współczynnik tarcia materiału o powierzchnię ślimaka.

- dla modelu punktowego SUT z układem dławiącym, bez uwzględnienia wpływu biernej powierzchni ślimaka

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\gamma_s + \mu_{sl} + \frac{\pi d_s}{K_1 l_c} \frac{\gamma_s^2}{1 + \gamma_s^2}}{1 - \gamma_s \mu_{sl} - \frac{\pi d_s}{K_1 l_c} \frac{\gamma_s^3}{1 + \gamma_s^2}} \quad (3)$$

gdzie: l_c - długość cylindra, K_1 - współczynnik uśredniający ciśnienie zmienne na długości cylindra.

- dla modelu punktowego SUT z układem dławiącym, uwzględniającego wpływ biernej powierzchni ślimaka, odpowiedniej zależności nie zdołano przedstawić w postaci jawnej;

- dla modelu liniowego, wzdużnego bez układu dławiącego, uwzględniającego jedynie wpływ czynnej powierzchni ślimaka otrzymano zależność identyczną z (2);

- dla modelu liniowego, wzdłużnego z układem dławiącym, bez uwzględnienia wpływu biernych powierzchni ślimaka.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\delta_s + \mu_{sl} + \frac{\pi d_s}{l_c} \frac{\delta_s^2}{1 + \delta_s^2} \ln \frac{p_d}{p_0}}{1 - \delta_s \mu_{sl} - \frac{\pi d_s}{l_c} \frac{\delta_s^3}{1 + \delta_s^2} \ln \frac{p_d}{p_0}}, \quad (4)$$

gdzie: p_d - ciśnienie dławienia, p_0 - ciśnienie we wejściowej części SUT;

- dla modelu liniowego, wzdłużnego z układem dławiącym, uwzględniającego wpływ biernych powierzchni ślimaka

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\delta_s + \frac{1}{1-w} \left[\mu_{sl}(1+w) + \mu_r \pi k \frac{dr}{h} \frac{\delta_s}{\sqrt{1+\delta_s^2}} + \frac{\pi k d_s}{l_c} \frac{\delta_s^2}{1+\delta_s^2} \ln \frac{p_d}{p_0} \right]}{1 - \frac{\delta_s}{1-w} \left[\mu_{sl}(1+w) + \mu_r \pi k \frac{dr}{h} \frac{\delta_s}{\sqrt{1+\delta_s^2}} + \frac{\pi k d_s}{l_c} \frac{\delta_s^2}{1+\delta_s^2} \ln \frac{p_d}{p_0} \right]}, \quad (5)$$

gdzie: μ_r - współczynnik tarcia materiału o rdzeń ślimaka, h - wysokość wstęgi ślimaka, w - stosunek ciśnienia na bierną powierzchnię ślimaka do ciśnienia na czynną powierzchnię ślimaka, ($w = 0,95 + 0,70$) k - współczynnik uśredniający ciśnienie na długości skoku ślimaka.

Niektóre, podane wyżej zależności określające kierunek ruchu materiału ujmują ciśnienie dławienia p_d jako parametr. Zależności te można przekształcić do postaci określającej ciśnienie dławienia. Przykładowo, odpowiednio przekształcona zależność (4) przejmuje postać:

$$p_d = p_0 \exp \left[\left(\frac{\operatorname{tg} \varphi - \delta_s}{1 + \delta_s \operatorname{tg} \varphi} - \mu_{sl} \right) \frac{1 + \delta_s^2}{\delta_s^2} \frac{l_c}{\pi d_s} \right]. \quad (6)$$

Oczywiście, przekształcenia takiego nie można wykonać dla modeli punktowych, ponieważ ciśnienie dławienia jako parametr nie występuje w odpowiednich wzorach (2, 3).

Dla modelu liniowego, wzdłużnego z układem dławiącym, uwzględnia -

jącego wpływ biernych powierzchni ślimaka oprócz odpowiednio przekształconej zależności (5) wyprowadzić można zależność

$$p_d = p_0 \exp \left\{ \frac{\operatorname{tg} \varphi - \delta_s}{1 + \delta_s \operatorname{tg} \varphi} (1-w) \cdot \mu_{sl} (1+w) - \mu_r \pi k \frac{d_r}{h} \frac{\delta_s}{\sqrt{1 + \delta_s^2}} \right\} \frac{1 + \delta_s^2}{\delta_s^2} \frac{l_c}{\pi k d_s} \quad (7)$$

Efektem wcześniejszych analiz dynamiki SUT z rowkami tłoczącymi materiałów o dużej spójności są zależności (przytoczone jedynie dla przypadków rowków śrubowych):

- dla modelu punktowego SUT bez układu dławiącego:

$$\mu_p = \mu_{sl} \mu_q, \quad (8)$$

- dla modelu punktowego, z układem dławiącym, nie uwzględniającego biernych powierzchni ślimaka:

$$\mu_p = \frac{d_s h}{d_c l_c} \frac{\delta_s}{\sqrt{1 + \delta_s^2}} \frac{1}{k_l} + \mu_{sl} \frac{h}{\pi d_c} \frac{\sqrt{1 + \delta_s^2}}{\delta_s}, \quad (9)$$

- dla modelu punktowego, z układem dławiącym, z uwzględnieniem zarówno czynnych jak i biernych powierzchni ślimaka:

$$\mu = \frac{d_s h}{d_c l_c} \frac{\delta_s}{\sqrt{1 + \delta_s^2}} \frac{1}{k_l} + 2 \mu_{sl} \frac{h}{\pi d_c} \frac{\sqrt{1 + \delta_s^2}}{\delta_s} + \mu_{sl} \mu_q + \mu_r \frac{d_r}{d_c} \quad (10)$$

- dla modelu liniowego, wzdłużnego bez układu dławiącego otrzymano zależność identyczną z (8);

- dla modelu liniowego wzdłużnego, z układem dławiącym, nie uwzględniającego biernych powierzchni ślimaka:

$$\mu_p = \frac{d_s h}{d_c l_c} \frac{\delta_s}{\sqrt{1 + \delta_s^2}} \ln \frac{p_d}{p_0} + \mu_{sl} \frac{h}{\pi d_c} \frac{\sqrt{1 + \delta_s^2}}{\delta_s}, \quad (11)$$

- dla modelu liniowego, wzdłużnego z układem dławiącym, uwzględniającego bierne powierzchnie ślimaka:

$$\mu_p = \frac{d_s h}{d_c l_c} \frac{\delta_s}{\sqrt{1 + \delta_s^2}} \ln \frac{p_d}{p_0} + \mu_{sl} \frac{1+w}{k} \frac{h}{\pi d_c} \frac{\sqrt{1 + \delta_s^2}}{\delta_s} + \mu_r \frac{d_r}{d_c}, \quad (12)$$

Podobnie jak dla SUT bez rowków, niektóre z padanych zależności można przekształcić do postaci określającej ciśnienie dławienia. Dotyczy to w szczególności zależności (11, 12)

Wcześniejsze analizy przetłaczania w SUT materiałów o małej spójności (wykazujących zjawisko płynięcia) dokonywane były z wykorzystaniem modeli liniowych poprzecznych (liniowych w kierunku wysokości zwoju ślimaka) oraz powierzchniowych (w kierunku powierzchni zwoju ślimaka). Dla modeli liniowych poprzecznych kąt kierunku ruchu warstwy materiału znajdującej się na promieniu r określony jest zależnością:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\mu_{sl} + \gamma + \frac{1}{\gamma} \frac{d\gamma}{d\varphi} (1 - \mu_{sl} \gamma)}{1 - \mu_{sl} \gamma - \frac{1}{\gamma} \frac{d\gamma}{d\varphi} (\mu_{sl} + \gamma)}, \quad (13)$$

gdzie: $\gamma = S / 2\pi r$ - stromość linii śrubowej warstwy materiału o promieniu r .

Sens fizyczny parametru $\operatorname{tg} \varphi$ jest taki, że określa on stosunek dróg przemieszczania się materiału w kierunkach obwodowym (obrót materiału po obwodzie wraz ze ślimakiem) i osiowym (przemieszczanie się materiału w kierunku osi cylindra). Odpowiednio ze wzrostem kąta φ rośnie składowa obwodowa przemieszczania. Badając charakter ruchu materiału względem stromości (promienia) okazuje się, że ze wzrostem stromości (maleje promień) rośnie wartość kąta φ . Dla pewnej wartości stromości (promienia) kąt φ przyjmuje wartość $\pi/2$. Oznacza to, że na tym promieniu materiał wykonuje tylko ruch obrotowy bez przemieszczania się do przodu w kierunku osiowym. Dla mniejszych promieni kąt φ rośnie dalej. Świadczy to o tym, że poniżej tej wartości promienia zwanego dalej krytycznym. (stromość krytyczna) pojawia się strumień materiału, który posiada składową osiową ruchu skierowaną do tyłu. Taki powrotny strumień materiału obserwowany jest również doświadczalnie.

Wartość stromości krytycznej wyprowadzić można ze wzorów określających charakter zmian kąta φ względem promienia lub stromości. W pierwszym, praktycznym przybliżeniu w zależności (13) pominać można pochodne stromości. Wartość stromości krytycznej wyniesie wtedy

$$\gamma_k = \frac{1}{\mu_{sl}}. \quad (14)$$

Dla modeli powierzchniowych stromość krytyczna uzależniona jest dodatkowo od ciśnienia dławienia. Gdy nie uwzględnia się przy tym biernej powierzchni wstęgi ślimaka uzyskuje się zależność:

$$\gamma_k = \frac{1}{\mu_{\Omega}} \left(1 + 2\pi\mu_w \xi - \frac{S}{t_c} \xi^2 \ln \frac{P_d}{P_0} \right), \quad (15)$$

gdzie: $\xi = \gamma / \sqrt{1 + \gamma^2}$, μ_w - współczynnik tarcia wewnętrznego materiału.

Przy uwzględnieniu biernej powierzchni wstęgi ślimaka zależność ta przyjmuje postać:

$$\gamma_k = \frac{k}{\mu_{\Omega}(1+w)} \left(\frac{1-w}{k} + 2\pi\mu_w \xi - \frac{S}{t_c} \xi^2 \ln \frac{P_d}{P_0} \right). \quad (16)$$

Uzyskane zależności (15) i (16) mają charakter niejawny (parametr pomocniczy ξ uzależniony jest od stromości γ). W związku z tym obliczeń stromości krytycznej z wykorzystaniem tych zależności dokonywać należy metodą kolejnych przybliżeń. Znajomość stromości krytycznej, a dalej promienia krytycznego posiada bardzo duże znaczenie w obliczeniach konstrukcyjnych SUT. Jest to oczywiste, jeśli uwzględnia się następujące konsekwencje. Warstwy materiału o promieniach większych od krytycznego poruszają się do przodu tym wolniej, im bliższe są warstwy wykonującej jedynie obrót wraz ze ślimakiem. Warstwy materiału o promieniach mniejszych od krytycznego mogą poruszać się do tyłu; występuje wtedy tzw. powrotny strumień materiału, zaniżający przepustowość SUT.

4. W n i o s k i z a n a l i z y m o d e l i

Przedstawione w poprzednim punkcie modele analityczne mają postać wzorów umożliwiających bezpośrednio obliczenie, odpowiednio kąta kierunku ruchu materiału (lub sprawdzenie warunku jego utrzymania) ew. ciśnienia. Zgodnie z zależnością (1) informację o kącie kierunku ruchu materiału można przetworzyć w informację o przepustowości SUT. Poszczególne modele analityczne różnią się od siebie istotnie: jakością odwzorowania, komplikacją obliczeniową i adekwatnością. Jakość odwzorowania realizowanego przez model określona

jest sposobem uwzględniania w modelu zjawisk stanowiących o istocie rozpatrywanego obiektu badań. W przypadku badania zachowania się materiału w SUT zjawiskami takimi są zjawiska dynamiczne odpowiednio ujęte przestrzenno - wymiarowo z uwzględnieniem właściwości materiału i interakcji między materiałami a elementami zespołu roboczego SUT.

Komplikacja obliczeniowa modeli analitycznych scharakteryzowana może być rodzajami i liczbą elementarnych operacji obliczeniowych, które trzeba wykonać zgodnie z tymi modelami. Komplikacja obliczeniowa uwidacznia się też w długości analitycznego zapisu modeli. Wskaźnikiem adekwatności modelu analitycznego jest różnica między wartością uzyskaną doświadczalnie a odpowiadającą jej wartością uzyskaną z obliczeń modelowych. Różnicę tą można rozłożyć na dwa składniki: błąd odwzorowania i błąd obliczeń. Błąd odwzorowania związany jest z jakością modelu. Im wyższa jakość modelu tym mniejszy błąd odwzorowania. Błąd obliczeń zależy od komplikacji obliczeniowej a pośrednio jakości modelu. Im większa jest komplikacja obliczeniowa tym większy błąd obliczeń. Błąd całkowity posiada zatem w ogólnym przypadku minimum dla określonej pośredniej wartości komplikacji obliczeniowej i jakości. Znajomość założeń idealizacyjnych poczynionych dla zestawionych modeli analitycznych pozwala określić ich wpływ na cechy, którymi różnią się te modele.

Założenie określające stopień idealizacji przestrzenno - wymiarowej słusznie uznano za najważniejsze. To ono właśnie decyduje najmocniej o jakości modelu. Modelami zachowującymi istotę ruchu materiału zarówno w SUT z i bez rowków są modele punktowe. Nie można niestety za ich pomocą ująć informacji o ciśnieniach w materiale. Podstawową zaletą modeli tego rodzaju jest ich bardzo mała komplikacja obliczeniowa, wadą zaś względnie niska adekwatność dla analizy ruchu materiału oraz niemożność ich wykorzystywania dla analizy ciśnień. Modele te mogą być z powodzeniem wykorzystywane we wstępnej analizie SUT. Znacznie wyższą jakością cechują się modele liniowe "wzdłużne". Uwzględniają one dobrze zarówno istotę zjawisk ruchu materiału jak też rozkładów ciśnień wzdłuż SUT. Wykazują one jednak znacznie wyższy stopień komplikacji obliczeniowej od modeli punktowych, zależny dodatkowo od faktu uwzględniania w modelu lub nie oddziaływania biernej powierzchni ślimaka na materiał.

Od faktu tego zależy też ich adekwatność. W pełni adekwatne z doświadczeniem są modele liniowe wzdłużne uwzględniające wpływ powierzchni biernych. Najwyższą jakością posiadają formalnie modele powierzchniowe. Jednakże wysoki stopień wprowadzonej przez nie komplikacji obliczeniowej porównywalnej, a nawet zwiększonej w stosunku do liniowych sprawia, że nie zalecane jest ich szerokie wykorzystanie w praktyce. Ich podstawową zaletą jest to, że umożliwiają one analizę ruchu i ciśnień zarówno w kierunku "wzdłużnym" jak też "poprzecznym".

Dostatecznie adekwatny obraz zjawisk "poprzecznych", umożliwiający określenie orientacyjnych wartości stromości i średnicy krytycznej, dają już modele "poprzeczne" liniowe. Jednocześnie są one obliczeniowo znacznie prostsze.

Założenie idealizacyjne, pomijające oddziaływania między materiałem a bierną stroną zwojów ślimaka umożliwia wprawdzie znaczne uproszczenie stopnia komplikacji obliczeniowej modeli, powoduje jednak jednocześnie istotną utratę jakości i adekwatności modelu.

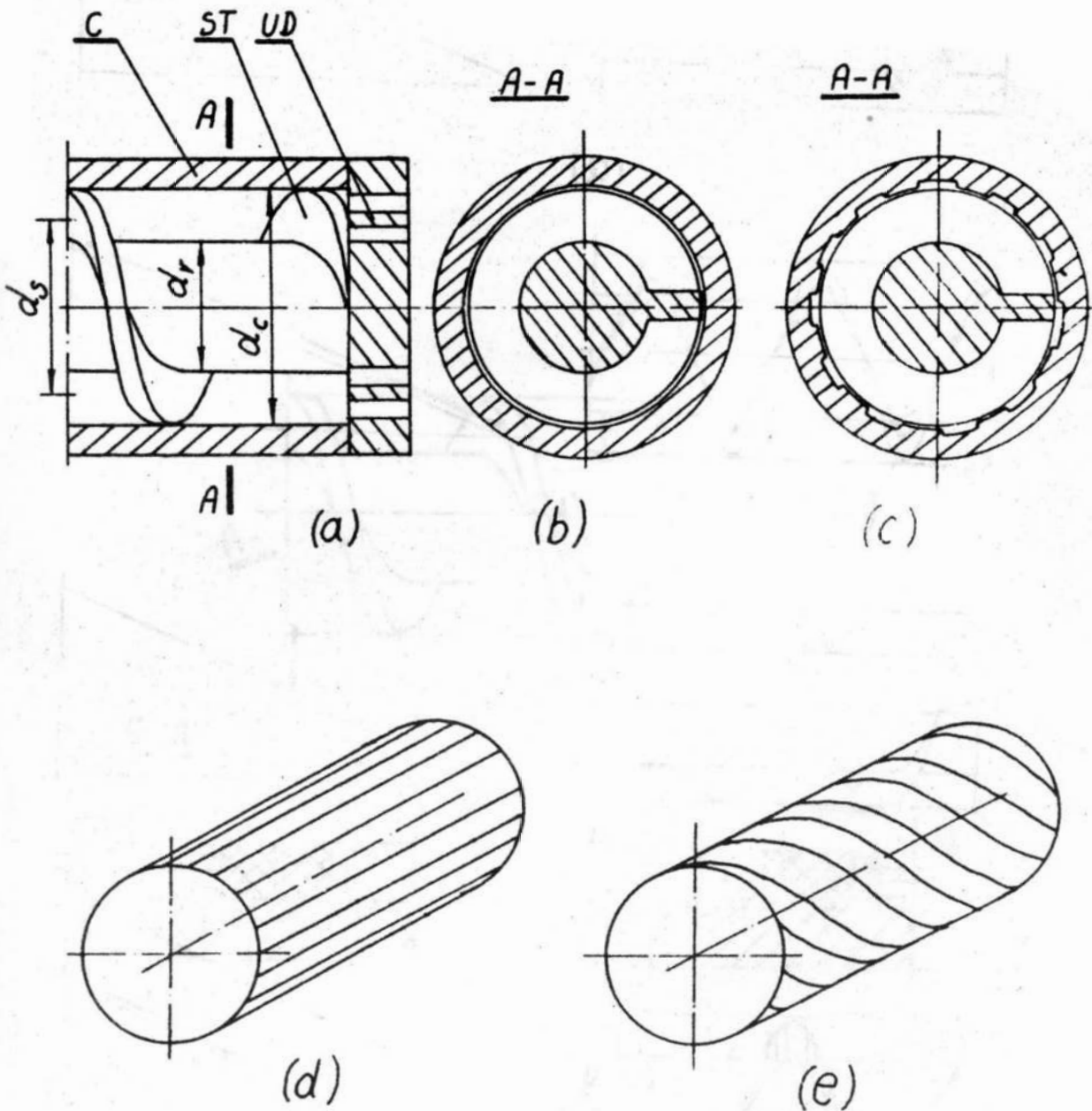
Przyjęta dla SUT z rowkami specyficzne założenie idealizacyjne polegające na zróżnicowaniu współczynników tarcia w kierunkach stycznym i normalnym do rowków, okazuje się bardzo ważne dla jakości i adekwatności modeli tych SUT. Założenie to umożliwia ujawnienie zasadniczych różnic, jakie występują dla ruchu wzdłużnego materiału w SUT z rowkami w porównaniu z SUT bez rowków oraz wyjaśnienie stwierdzonych w praktyce różnic charakterystyk ciśnieniowo - przepływowych między tymi układami.

Poszczególne rodzaje modeli analitycznych, powstałe w wyniku określonych kombinacji założeń idealizacyjnych wykazują ograniczenia ich przydatności praktycznej zależnie od badanych układów i zjawisk. Do badania SUT z rowkami stosować można jedynie modele dla których przyjęto założenie o zróżnicowaniu współczynników tarcia w kierunku stycznym i normalnym do rowków. Dla analizy zjawisk ruchu materiału o dużej spójności możliwe jest wykorzystanie modeli o dowolnym sposobie idealizacji przestrzenno - wymiarowej, zaś dla analizy ruchu materiałów niespoistych nie dopuszczalne jest stosowanie modeli punktowych i liniowych wzdłużnych. Do badania zjawisk ciśnieniowych nie nadają się modele punktowe.

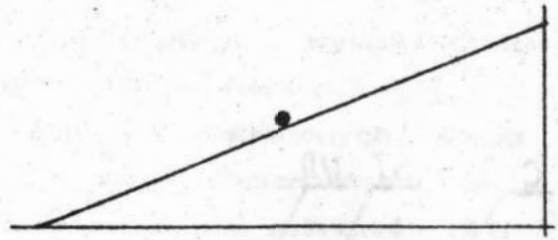
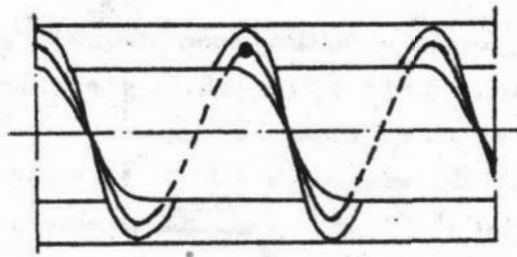
Badania zjawisk ruchu względnego materiału znajdującego się

na różnych promieniach - zjawisk "poprzecznych" - wymaga stosowania modeli liniowych "poprzecznych" lub "powierzchniowych".

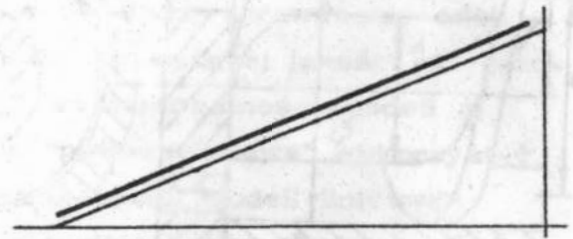
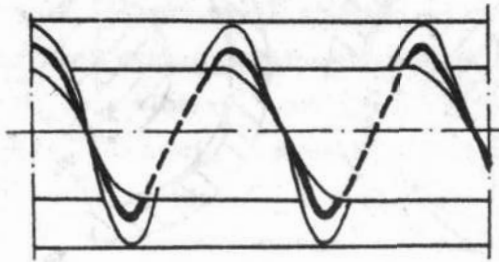
Porównując ze sobą postacie analityczne zestawionych wzorów stwierdzić można występowanie w nich powtarzalnych rdzeni, np. dla zależności (2), (3), (4), takim rdzeniem jest zależność (2), podobnie (6) dla (6), (7), (8). Między modelami analitycznymi posiadającymi wspólny rdzeń występuje korespondencja. Umożliwia to wykorzystywanie jednych modeli do potwierdzania lub odrzucania innych. Dzięki temu zbędne staje się oddzielne sprawdzanie adekwatności poszczególnych modeli. Modele o wyższej jakości odwzorowania umożliwiają określanie ograniczeń stosowalności modeli o niższej jakości. Przykładowo modele "powierzchniowe" wykorzystać można do znalezienia warunków stosowalności modeli liniowych "wzdłużnych" i "poprzecznych", zaś modele liniowe "wzdłużne" dla modeli punktowych.



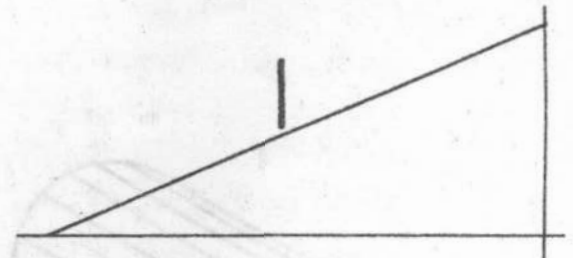
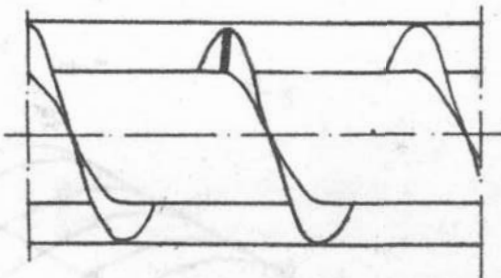
Rys. 1. Schematyczne przedstawienie SUT a) zespoły składowe: ślimak tłoczący - ST, cylinder - C, układ dławiący UD, b) cylinder gładki, c) cylinder z rowkami, d) rowki posio-
we, e) rowki śrubowe.



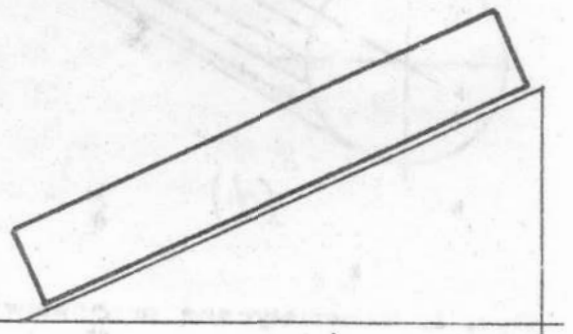
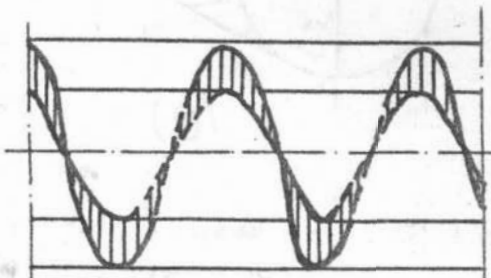
(a)



(b)

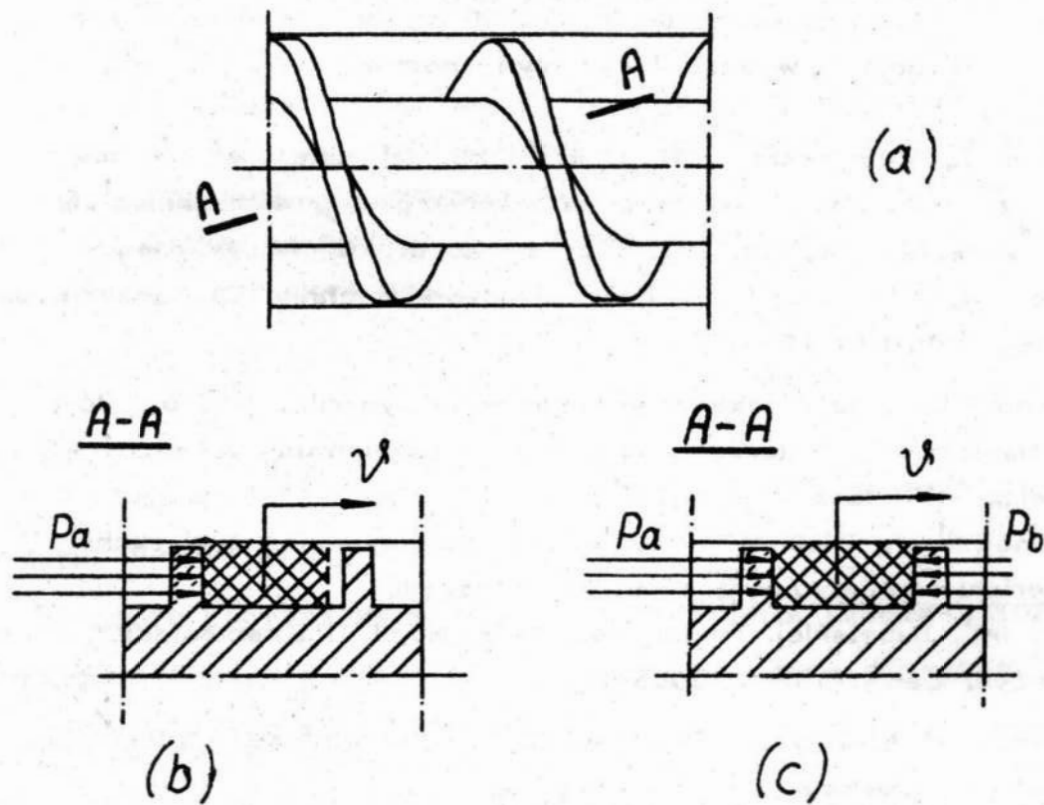


(c)



(d)

Rys. 2. Odmiiany idealizacji przestrzenno-wymiarowej SUT a) punkto-
wa, b) liniowa-wzdłużna, c) liniowo-poprzezna d) po-
wierzchniowa



Rys. 3. Ilustracja do założenia dotyczącego styku materiału ze wstęgą ślimaka a) schemat ogólny b) styk tylko z powierzchnią czynną c) styk z powierzchnią czynną i bierną .

Literatura

1. Diakun J.: Zarys teorii ruchu materiałów o dużej spójności w ślimakowym układzie tłoczącym z gładką wewnętrzną powierzchnią cylindra. Z.N. WSiInż. w Koszalinie.
Prace Instytutu Budowy Maszyn nr 5/B. Koszalin 1982, s. 5-24.
2. Diakun J.: Promień krytyczny ślimaka tłoczącego materiał idealnie sypki. Z.N. WSiInż. w Koszalinie. Prace Instytutu Budowy Maszyn nr 5/B. Koszalin 1982, s. 25-38.
3. Diakun J., Milanowski J.: Optymalna prędkość kątowa ślimakowych układów tłoczących wilka do mięsa. Materiały Krajowego Sympozjum nt. "Problemy w budowie maszyn spożywczych". Koszalin - Kołobrzeg 1981.
4. Diakun J., Milanowski J.: Warunki ruchu materiałów w ślimakowym układzie tłoczącym z rowkami na wewnętrznej powierzchni cylindra. Przegląd Mechaniczny. Przyjęte do druku.
5. Jacobi H.: Die Grundlagen der Extruder - Technik, C. Hanser Verlag, München 1960.
6. Milanowski J.: Identyfikacja analityczno - dynamicznych układów mechanicznych. Materiały Sympozjum "Modelowanie w mechanice" Gliwice - Wiśła 1977.
7. Milanowski J., Diakun J.: Model idealizacyjny kinematyki ruchu materiału w ślimakowym układzie tłoczącym.
Z.N. Pol. Lubelskiej. Prace Inst. Technologii i Eksploatacji Maszyn. Seria C nr 1, Lublin 1979.
8. Milanowski J., Diakun J.: Model idealizacyjny dynamiki ruchu materiału w ślimakowym układzie tłoczącym,
Z.N. Pol. Lubelskiej. Prace Inst. Technol. i Eksploatacji Maszyn, Seria C nr 1, Lublin 1979.
9. Sikora R.: Wytłaczanie - wytłaczarki.
Polimery 1982 nr 8, s. 316.
10. Silin W.A.: Dynamika processow pierierabotki plastmass w čerwjačnych masinach, Mašinostrojenje, Moskwa 1972.
11. Torner R.W.: Grundprozesse der Verarbeitung von Polymeren.
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1973.

Streszczenie

W pracy zestawiono modele matematyczne dynamiki zachowania się materiału w ślimakowych układach tłoczących, uzyskane we wcześniejszych pracach autorów na podstawie modeli fenomenologicznych o różnej jakości odwzorowania. Przeprowadzono analizę porównawczą przydatności poszczególnych rodzajów modeli dla ich wykorzystania w projektowaniu ślimakowych układów tłoczących.

Summary

The multimodel presentation and analyse of material behaviour in screw extruders

The mathematical models set of dynamic material behaviour in screws extruders, presented by authors in the past on base of phenomenological models with different quality, are given in the work. The comparative analyse of utility different kinds of models for their use in screw extruders design is realized.

Многомодельное представление и анализ поведения материала в шнековых нагнетателях

В работе составлены математические модели динамического поведения материала в шнековых нагнетателях ранее получены авторами на основании феноменологических модели с разным качеством изображения. Проведен сравнительный анализ пригодности отдельных видов модели для их использования в проектировании шнековых нагнетателей.

ZESZYTY NAUKOWE WYKSZEJ SZKOŁY INŻYNIERSKIEJ W KOSZALINIE

Zeszyt 7/1985; Prace Wydziału Mechanicznego,

METODYKA OBLICZEŃ TŁOCZNI ŚLIMAKOWYCH Z ROWKOWANYM
CYLINDREM

Jarosław Diakun, Jerzy Milanowski

1. Stosowane oznaczenia

Oznaczenia podstawowe:

- d - średnica
- h - wysokość zwoju ślimaka
- k - współczynnik uśredniający ciśnienie zmienne na długości skoku zwoju ślimaka
- L_c - długość cylindra
- M_{ns} - moment napędu ślimaka
- p_o - ciśnienie na początku tłoczni ślimakowej
- p_d - ciśnienie na końcu tłoczni ślimakowej, ciśnienie dławieni wypływu materiału
- Δp - różnica ciśnień dla której następuje sprężanie (zagęszczanie) materiału
- P_{os} - siła poosiowa
- Q - przepustowość (masowe natężenie przepływu)
- S - skok zwoju ślimaka
- S_c - skok rowków na wewnętrznej powierzchni cylindra
- S_z - skok zwoju ślimaka w strefie zasypu materiału
- x_h - stosunek wysokości zwoju ślimaka do jego średnicy
- x_μ - współczynnik dopuszczalnej wartości współczynnika tarcia
- z - ilość skoków zwoju ślimaka
- α - pochylenie linii śrubowej zwoju ślimaka

Adres: dr inż. Jarosław Diakun, dr inż. Jerzy Milanowski

Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie ul. Raławicka 15/17

75 - 620 Koszalin.

- β - współczynnik ścisłości materiału
 γ - stromość linii śrubowej zwoju ślimaka
 η_a - sprawność przepustowości
 μ - współczynnik tarcia
 ξ - parametr pomocniczy (funkcja stromości)
 ρ - gęstość materiału
 φ - kąt kierunku rowków na wewnętrznej powierzchni cylindra, kąt kierunku ruchu materiału
 ω - prędkość kątowna ślimaka

Indeksy:

- c - cylinder
 k - wartość krytyczna
 p - kierunek prostopadły do kierunku rowków
 pd - wartość dopuszczalna w kierunku prostopadłym do kierunku rowków
 pg - wartość graniczna w kierunku prostopadłym do kierunku rowków
 q - kierunek zgodny z kierunkiem rowków,
 r - rdzeń ślimaka
 rz - rdzeń ślimaka w strefie zasypu
 s - wartość średnia
 sl - powierzchnia zwoi ślimaka
 w - tarcie wewnętrzne materiału

2. W p r o w a d z e n i e

Aby móc wykonać obliczenia konstrukcyjne dowolnego urządzenia należy posiadać kilka grup informacji. Przede wszystkim należy dysponować szeregiem wzorów i zależności opisujących realizowane w urządzeniu procesy, określających relacje geometryczne, kinematyczne i dynamiczne między poszczególnymi parametrami. Drugą grupą informacji są wartości niezbędne do prowadzenia obliczeń - dane. Wyróżnić tu można dane technologiczne, określające wartości parametrów wynikających z realizowanego zadania technologicznego. Inne dane to współczynniki określające własności obrabianego materiału, współczynniki i parametry charakteryzujące realizowany proces, określające optymalne warunki pracy. Istotną grupą danych jest znajomość parametrów urządzeń podobnych oraz informacje odnośnie po-

prawności ich funkcjonowania. Omówione informacje stanowią materiał wejściowy do obliczeń. Do wykonania obliczeń niezbędny jest jeszcze algorytm postępowania, który określa sposób wykorzystania zależności oraz danych. W ramach algorytmu oznaczona jest kolejność wykorzystania poszczególnych danych i wykonania określonych operacji obliczeniowych.

W obliczeniach inżynierskich ilość parametrów konstrukcyjnych koniecznych do wyznaczenia jest zwykle większa od liczby posiadanych wzorów i zależności czyli ilości parametrów możliwych do obliczenia. Konieczne staje się zatem przyjęcie, do obliczeń pewnych wartości jako dane. Korzysta się wtedy z informacji o urządzeniach podobnych oraz z tzw. doświadczenia.

Oprócz znajomości konkretnych wartości parametrów, istotne są również informacje odnośnie zakresu ich wartości, stosowanych w innych urządzeniach lub wynikające z prawidłowości lub optymalności przebiegu procesu. Informacje te pozwalają sprawdzić czy obliczone wielkości mieszczą się w określonej granicy, a to z kolei umożliwia korygowanie parametrów konstrukcyjnych przyjętych wstępnie do obliczeń.

W niniejszej pracy przedstawiono metodykę obliczeń opracowaną dla tłoczni ślimakowej posiadających rowki na wewnętrznej powierzchni cylindra. Ze względu na zastosowaną wzory i zależności wynikowe metodyka ta dotyczy przetłaczania materiałów o dużej spójności dla których wewnętrzne przemieszczania między cząsteczkami materiału są pomijalnie małe w porównaniu do jego pomieszczeń względem zasilania wytłaczarek ślimakowych z gładkim cylindrem [4], jednak ze względu na odmienne uwarunkowania ruchu materiału dla tłoczni ślimakowych z rowkowanym cylindrem jest ona nieprzydatna. Wykorzystano tu jedynie doświadczenia przy jej opracowaniu. Podstawowe zależności stosowane w prezentowanej tu metodyce zaczerpnięto z pracy [3] przedstawiającej zweryfikowaną teorię ruchu materiału w ślimakowych układach tłoczących z rowkami na wewnętrznej powierzchni cylindra.

3. Z e s t a w i e n i e z a l e ż n o ś c i i w z o r ó w o b l i c z e n i o w y c h

Podstawowe parametry geometryczne opisujące tłocznnię ślimakową

zilustrowano na rys. 1. Wysokość zwoju ślimaka h jest często przedstawiana jako część x_h średnicy d (charakterystyczne dla określonych zastosowań tłoczni ślimakowych)

$$h = x_h d. \quad (1)$$

W prezentowanej metody wysokości zwoju ślimaka odnoszona będzie do średnicy cylindra d_c oraz średnicy zwoju ślimaka d_s . W algorytmie między średnicą średnią i średnicą cylindra:

$$d_c = d_s + h \quad (2a)$$

$$d_s = d_c - h \quad (2b)$$

oraz określające średnicę rdzenia ślimaka:

$$d_r = d_s - h, \quad (3a)$$

$$d_r = d_c - 2h. \quad (3b)$$

Wielkością charakteryzującą pochylenie zwoju ślimaka jest stromość linii śrubowej na średnicy średniej γ_s będąca tangensem kąta pochylenia tej linii α_s (rys.1a; $\gamma_s = \text{tg } \alpha_s$).

Dla stromości $\gamma_s = 0,15 - 0,30$ tłocznia ślimakowa pracuje optymalnie [3] (osiągane są największe wartości ciśnienia przy stałych innych parametrach). Skok ślimaka S w zależności od stromości wyraża się wzorem:

$$S = \pi d_s \gamma_s. \quad (4)$$

W oparciu o analizę kinematyczną ruchu materiału w tłoczni ślimakowej przy założeniu, że prędkość ruchu materiału na całej wysokości zwoju ślimaka nieznacznie się różni (stosownie dla materiałów o dużej spójności), wyprowadzono zależność określającą przepustowość:

$$Q = \frac{1}{8} \omega \rho S (d_c^2 - d_r^2) \frac{1}{1 + \gamma_s \text{tg } \varphi} \eta_Q. \quad (5a)$$

We wzorze tym współczynnik η_Q uwzględnia zmniejszenie przepustowości rzeczywistej w odniesieniu do teoretycznej w wyniku

niecałkowitego wypełnienia przestrzeni materiałem oraz przyjęcia zerowej grubości zwoju ślimaka.

Wykorzystując zależności geometryczne (1), (2), (3), (4) wzór na przepustowość można przedstawić w postaci:

$$Q = \frac{\pi}{2} \omega \varrho x_n d_s^3 \frac{\delta_s}{1 + \delta_s \operatorname{tg} \varphi} \eta_a \quad (5b)$$

W algorytmie obliczeniowym wzór na przepustowość wykorzystywany będzie również w postaciach, z których można wyliczyć:

- średnicę średnią:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{2Q(1 + \delta_s \operatorname{tg} \varphi)}{\pi \omega \varrho x_n \delta_s \eta_a}} \quad (5c)$$

- prędkość kątową:

$$\omega = \frac{8Q(1 + \delta_s \operatorname{tg} \varphi)}{\varrho S(d_c^2 - d_r^2) \eta_a} \quad (5d)$$

- kąt kierunku rowków:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\delta_s} \left(\frac{\omega \varrho (d_c^2 - d_r^2) \eta_a S}{8Q} - 1 \right) \quad (5e)$$

Skok rowków na wewnętrznej powierzchni cylindra wyznaczyć można z prostych zależności geometrycznych - rys. 1b.

$$S_c = \frac{\pi d_c}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (6)$$

W tłoczni ślimakowej materiał zgodnie z kierunkiem rowków przemieszcza się tylko do pewnej określonej granicy obciążenia - dławienia wpływu materiału ciśnieniem p_d .

Przy większym dławieniu wpływu materiału następuje zerwanie kierunku ruchu materiału określonego rowkami. W pracy [5] warunek utrzymania ruchu w kierunku rowków określony został wyrażeniem na konieczną wartość współczynnika tarcia materiału μ_p prostopadłego do kierunku rowków.

$$\mu_p = \frac{1}{\cos\varphi + \gamma_s \sin\varphi} \left[\frac{h d_s}{d_c L_c} \gamma_s \ln \frac{p_d}{p_0} + N \right], \quad (7)$$

gdzie: dla uproszczenia zapisu:

$$N = \mu_{sl} \frac{h(1+w)(1+\gamma_s^2)}{d_c \pi k w \gamma_s} + \mu_q (\gamma_s \cos\varphi - \sin\varphi) + \mu_r \frac{d_r}{d_c} \sqrt{1+\gamma_s^2}. \quad (8)$$

Ruch w kierunku rowków będzie zachodził wtedy, gdy obliczona ze wzoru (7) wartość współczynnika będzie mniejsza od wartości granicznej tego współczynnika μ_{pg} . Aby mieć pewien zakres pewności, celowe jest, aby obliczony ze wzoru (7) współczynnik μ_p był mniejszy lub równy dopuszczalnej wartości współczynnika μ_{pd} stanowiącej część $0 < X_\mu < 1$ jego wartości granicznej

$$\mu_{pd} = X_\mu \mu_{pg}. \quad (9)$$

Długość cylindra L_c określić można jako sumę ilości zwoi ślimaka

$$L_c = z S. \quad (10)$$

Wykorzystując zapis (9), zależność (7) przedstawić można w postaci wzoru określającego ilość zwoi ślimaka, konieczną, aby otrzymać wymagane ciśnienie p_d przy utrzymaniu ruchu zgodnego z rowkami

$$z = \frac{h \ln \frac{p_d}{p_0}}{\pi d_c \left[\mu_{pd} (\cos\varphi + \gamma_s \sin\varphi) - N \right]}. \quad (11)$$

Specyficznym zjawiskiem zachodzącym w tłoczni ślimakowej jest możliwość wystąpienia cofającej się przy rdzeniu ślimaka warstwy materiału. Zjawisko to w niektórych przypadkach jest niedopuszczalne. Jego występowanie ogranicza stosowalność wzoru (7) wypro-wadzonego przy założeniu, że wzajemne przemieszczanie warstw materiału jest pomijalnie małe w porównaniu z jego przemieszczaniem się w stosunku do powierzchni ślimaka i cylindra. Wzór na

promień (średnicę d_k) krytyczny poniżej której może wystąpić zjawisko cofającej się warstwy materiału wyprowadzono dla materiału idealnie sypkiego w pracy [1].

$$d_k = \frac{\mu_s S}{\pi \left(1 + 2\pi \mu_v \left\{ \epsilon - \frac{S}{L_c} \epsilon^2 \ln \frac{P_d}{P_0} \right\} \right)}, \quad (12)$$

gdzie;

$$\epsilon = \frac{\delta_r}{\sqrt{1 + \delta_r^2}}. \quad (13)$$

określane dla stromości δ obliczonej wg wzoru (4) przy wartości średnicy rdzenia d_r dla ($\delta_r = S / (\pi d_r)$). (14)

Rozluźniony materiał pobierany z zasobnika w strefie zasypu posiada stosunkowo dużą ściśliwość. W trakcie przemieszczania się w tłoczni ślimakowej, kiedy to następuje wzrost ciśnienia, występuje jego zagęszczanie (sprężanie).

Aby zapewnić ciągły strumień materiału należy kompensować jego ściśliwość. Realizować to można przez zmniejszenie średnicy rdzenia w stresie zasypu i następnie stożkowe jego ukształtowanie. Jeżeli przez współczynnik β wyrazimy względne zmniejszenie objętości w wyniku oddziaływania jednostki ciśnienia, to wartość średnicy rdzenia w strefie zasypu d_{rz} w odniesieniu do średnicy d_r wyniesie

$$d_{rz} = d_c \sqrt{1 - \left(1 - \frac{d_c^2}{d_r^2}\right) (1 + \beta \Delta p)}. \quad (15)$$

W strefie podawania (nad otworem zasypowym) materiał nie ma pełnego dostępu do przestrzeni między zwojami ślimaka. Występuje jej jej wypełnienie tylko w pewnym stopniu, który można określić współczynnikiem wypełnienia ψ . W przypadku kompensowania niepełnego wypełnienia zwiększeniem skoku ślimaka, skok ten w strefie zasypu S_z będzie wynosił (w stosunku do skoku S w strefie w pełni zamkniętej cylindrem na obwodzie): $S_z = \frac{S}{\psi}$. (16)

Wzory na obliczenie siły poosiowej $P_{oś}$ i momentu napędowego

M_{ns} dla tłoczni ślimakowej, w której występuje eksponencjalny wzrost ciśnienia wyprowadzono w pracy [2] :

$$P_{os} = \left(1 - \mu_{sl} \delta_s - \pi \frac{d_r}{h} \mu_r k \delta_s \right) \frac{P_d L_c h}{\delta_s \ln \frac{P_d}{P_0}} \quad (17)$$

$$M_{ns} = \left(\delta_s + \mu_{sl} + \pi \frac{d_r}{h} \mu_r k \right) \frac{P_d L_c h d_s}{2 \delta_s \ln \frac{P_d}{P_0}} \quad (18)$$

3. Metodyka obliczeń

Algorytm obliczeń ślimakowego układu tłoczącego przedstawiono na rys. 2. Poszczególnym blokom operacyjnym nadano numery umieszczone w wydzielonej lewej stronie bloku. Zależnie od wstępnie przyjmowanych do obliczeń parametrów konstrukcyjnych wyróżnić można cztery różne warianty obliczeń. Wybór wariantu obliczeń realizowany jest w blokach oznaczonych przez W. Bloki operacji wspólne dla wszystkich wariantów obliczeń mają numery proste, natomiast te, które nie dotyczą wszystkich, mają numery złożone z numeru porządkowego łamanego przez numer wariantów których dotyczą.

W blokach operacji obliczeniowych podane są symbole wielkości oraz w nawiasach numery wzorów, wg których są one obliczane.

Wprowadzenie danych do obliczeń następuje w operacjach 1 oraz zależnie od realizowanego (wybranego) wariantu obliczeniowego w operacjach 3/1,2; 3/3,4; 6/1; 6/2; 6/3; 6/4.

Parametry i wielkości, których wartości powinny być znane, aby można było prowadzić obliczenia, podzielono na grupy:

- dane technologiczne (D_t), do których należą przepustowość Q oraz ciśnienie p_d ,
- dane określające własności materiału (D_m),
- dane opisujące parametry procesu realizowanego w tłoczni ślimakowej (D_p),

- przyjmowane wstępnie dane konstrukcyjne (D_k).

Niezależnie od wariantu obliczeń przyjęto jako dane: stosunek wysokości wstęgi ślimaka do jego średnicy x_n oraz stromość γ_B . Przyjmując dalej do obliczeń parametry konstrukcyjne: kierunek rowków na powierzchni cylindra φ , prędkość kątową ślimaka oraz daną odnośnie stosowanej maksymalnej ilości skoków zwoju ślimaka Z_{max} realizuje się obliczenia wariantem W-1 lub W-2 (dane wprowadzane w operacji 3(1,2)). Obliczenia wariantem W-1 wymagają dodatkowo przyjęcia ilości skoków ślimaka z . Przy prowadzeniu obliczeń wariantem W-2 konieczna jest informacja o minimalnej ilości skoków ślimaka Z_{min} (wprowadzane w operacji 6(2)). Wspólne dane początkowe dla obliczeń wariantami W-3 i W-4 to: wymiar średnicy cylindra d_c oraz znajomość minimalnej i maksymalnej ilości skoków ślimaka (wprowadzone w bloku 3(3,4)). Do obliczeń wariantem W-3 zakłada się dodatkowo kierunek rowków na cylindrze φ oraz niezbędna jest informacja o zakresie ograniczeń prędkości kątowych ślimaka $\omega_{min}, \omega_{max}$ (blok operacji 6(3)). Obliczając wariantem W-4 należy przyjąć prędkość kątową ω oraz ogranicza się kąt kierunku rowków na cylindrze, określając jaką maksymalną wartość M może przyjmować $\tan \varphi$.

Przy wariantcie W-1/2 w operacji obliczeniowej 4/1,2 ze wzoru na przepustowość wyliczana jest średnia średnica ślimaka, a następnie określone są z prostych zależności geometrycznych pozostałe parametry. W-1 jest następnie wariantem obliczeń, sprawdzającym w operacji 8/1, czy obliczony w operacji 7/1 współczynnik μ_p zapewnia utrzymanie kierunku ruchu materiału zgodnego z rowkami. W przypadku spełnienia tego warunku obliczone są w operacjach wspólnych dla wszystkich wariantów 19 i 23 pozostałe parametry geometryczne i dynamiczne.

W przypadku niespełnienia warunku 8/1 powiększana jest w 9/1 założona wstępnie ilość skoków. Gdyby długość ślimaka wychodziła zbyt duża (ograniczenie sprawdzane w 10(1)) zwiększa się przyjęty kąt kierunku rowków na powierzchni cylindra.

W wariantcie W-2 po operacjach 4/1, 2 obliczenia kierowane są do wspólnego dla pozostałych wariantów (W-3,4) bloku operacji 12/2,3,4, w którym obliczana jest ilość skoków ślimaka z z warunku na konieczne do osiągnięcia ciśnienie. Postać wzoru (11) jest taka,

że przy zbyt dużej wartości N można otrzymać w wyniku liczbę ujemną, co nie ma fizycznego sensu. W takim przypadku (sprawdzenie w 13/2,3,4) należy powiększyć założony wstępnie kąt kierunku rowków - operacja 15/2,3.

Gdy z obliczeń wzoru (11) otrzyma się ilość skoków ślimaka mniejszą od minimalnej (sprawdzenie w 17/2,3,4), przyjmuje się jako obowiązującą stosowaną ogólnie minimalną ilość skoków - operacja 18(2,3,4). Dalszy ciąg obliczeń kierowany jest drogą wspólną dla wszystkich wariantów.

Przy obliczeniach wariantów W-3 i W-4 w operacji obliczeniowej 4/3,4 określa się z zależności geometrycznych wymiary urządzenia. W wariacie W-3 w operacji 7/3 z warunku na realizowaną przepustowość oblicza się prędkość kątową.

Następnie w operacjach warunkowych 8/3 i 13/3 sprawdza się, czy obliczona wartość mieści się w określonych granicach.

Jeżeli nie, to należy odpowiednio zwiększyć (operacja 9/3,4) lub zmniejszyć (operacja 10/3,4) założoną wstępnie średnicę cylindra. Dalszy ciąg obliczeń prowadzony jest podobnie jak dla wariantu W-2.

W wariacie W-4 po obliczeniu parametrów geometrycznych w operacji 4/3,4 ze wzoru na przepustowość określany jest kąt kierunku rowków na powierzchni cylindra - operacja 7/4.

W operacji warunkowej sprawdzane jest ograniczenie tego kąta.

W przypadku gdy jest on zbyt duży korygowana jest w operacji obliczeniowej 10/3,4 wartość przyjętej średnicy. Wzór (5e) ma taką postać, że można otrzymać wynik mniejszy od zera, co nie ma fizycznego sensu. Warunek ten sprawdzany jest w operacji 14/4 i w przypadku negatywnym korygowana jest wartość średnicy cylindra w operacji 9/3,4. Dalej obliczenia tego wariantu prowadzone są we wspólnej operacji 12/2,3,4.

W przypadku niespełnienia opisanego już warunku w operacji 13/2,3,4 zmniejszana jest w operacji 15/4 przyjęta uprzednio do obliczeń wartość prędkości kątowej ślimaka.

W operacji warunkowej 20 sprawdzany jest warunek, czy średnica rdzenia ślimaka jest większa od średnicy krytycznej, poniżej której może wystąpić powrotny strumień materiału.

W przypadku niespełnienia tego warunku zostaje powiększona

wartość średnicy rdzenia, w wariantach W-3,4 przez powiększenie przyjętej średnicy cylindra, zaś dla wariantów W-1,2 pośrednio przez zmniejszenie w operacji 22/1,2 prędkości kątowej ślimaka.

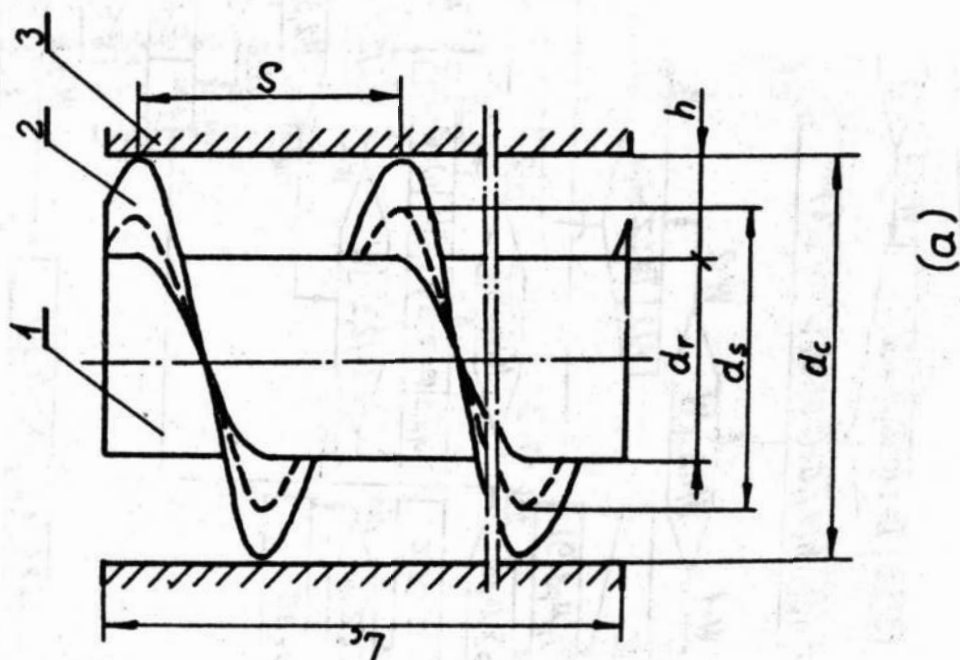
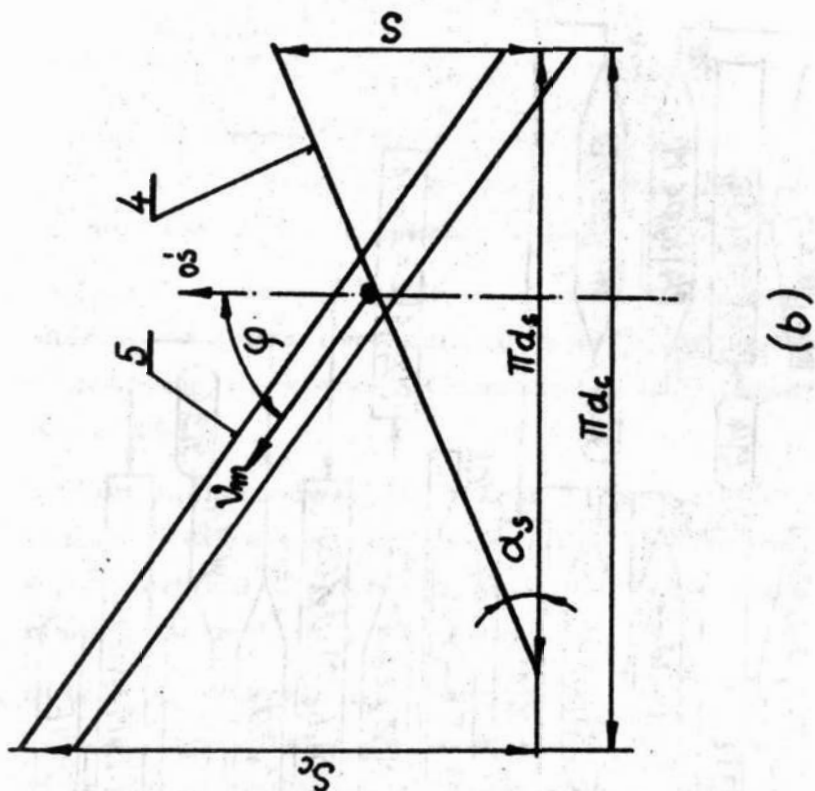
5. Z a k o ń c z e n i e

W oparciu o przedstawioną metodykę opracowano program na maszynie cyfrową w języku BASIC. Na przykładowych obliczeniach sprawdzono poprawność kolejnych zaprogramowanych algorytmem działań. Podstawiając odpowiednie wartości danych badano, czy prawidłowo zaprojektowano operacje warunkowe oraz obliczenia w pętlach, korygujące przyjęte wstępnie wartości parametrów konstrukcyjnych. Ogólnie stwierdzono, że metodyka obliczeniowa jest poprawna.

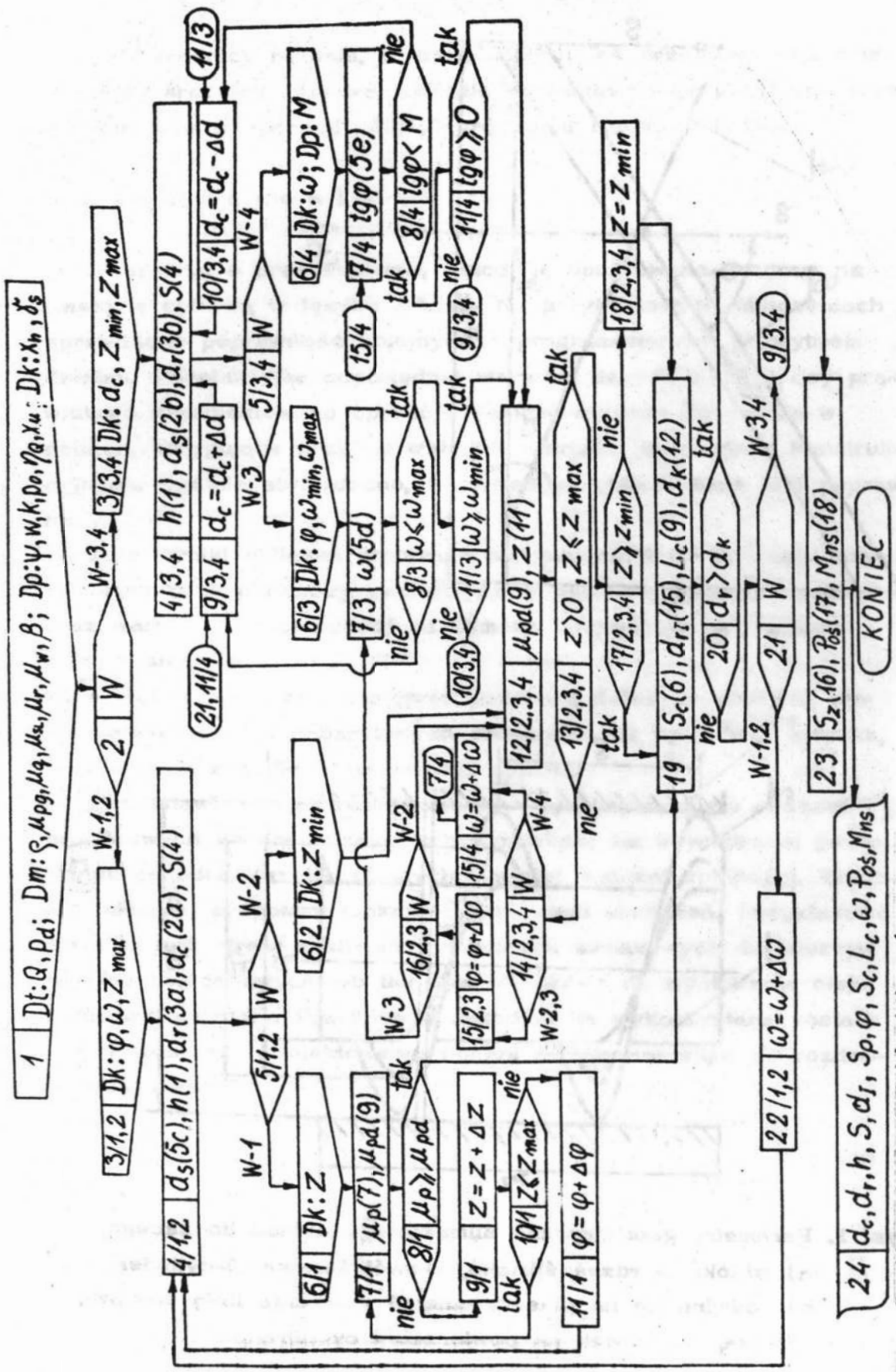
Jako wyniki obliczeń otrzymuje się parametry określające: charakterystyczne parametry geometryczne, prędkość kątową ślimaka oraz wartość siły poosiowej od ślimaka i konieczny do napędu moment siły.

Wielkości te mogą być następnie podstawą dalszych obliczeń wytrzymałościowych i gabarytowych elementów, jak np. wałki, łożyska, oraz doboru zespołu przeniesienia napędu.

Przedstawiona metodyka może być wykorzystana do obliczeń projektowych tłoczni ślimakowych z rowkami na wewnętrznej powierzchni cylindra, przetwarzających materiał o dużej spójności. Tłocznie takie są zespołami funkcjonalnymi wielu urządzeń. Przykładowo może to być strefa zasilania wyłaczarek ślimakowych do tworzyw wielkocząsteczkowych lub tłocznia ślimakowa do wyciskania oleju z nasion oleistych. Praktycznie metodyka ta wykorzystana została dotychczas przy projektowaniu tłoczni ślimakowej wilka do rozdrabniania mięsa.



Rys. 1. Parametry geometryczne ślimakowego układu tloczącego,
 a) widok: 1- rdzeń ślimaka, 2-zwój ślimaka, 3-cylinder,
 b) rozwinięcie na płaszczyznę: 4 - średnia linia śrubowa
 ślimaka, 5 - rowek na powierzchni cylindra .



Rys. 2. Algorytm metodyki obliczeń.

Literatura

1. Diakun J., Promień krytyczny ślimaka tłoczącego materiał idealnie sypki, Z.N. WSIInż. w Koszalinie Prace Instytutu Budowy Maszyn nr 5/B, str. 25-37 Koszalin 1982.
2. Diakun J., Osłoweje usillije u krutjaščij moment priwoda w zonie pitanija cerwjaka cerwjacnego pressa, artykuł przyjęty do druku w zeszycie naukowym cChimiceskoje Masinostrojenije, Technika Kijew 1985.
3. Diakun J., Milanowski J., Warunki ruchu materiału w ślimakowych układach tłoczących z rowkami na wewnętrznej powierzchni cylindra, artykuł przyjęty do druku w Przeglądzie Mechanicznym planowany druk II-III kw. 1986.
4. Diakun J., Woronin L.G., Algoritm rasceta osnovych paramietrow zony pitanija cerwjacnego pressa, artykuł przyjęty do druku w zeszycie naukowym Chimiceskoje Masinostrojenije, Technika, Kijew 1985.
5. Milanowski J., Diakun J., Model idealizacyjny kinematyki ruchu materiału w ślimakowym układzie tłoczącym. Z.N. Politechniki Lubelskiej Prace Instytutu Technologii i Eksploatacji Maszyn, Seria C, nr 1 str. 150-163 Lublin 1979.

Streszczenie

W oparciu o zestawione zależności opracowano algorytm obliczenia podstawowych parametrów ślimakowych układów toczących z rowkami na wewnętrznej powierzchni cylindra. Algorytm posiada cztery warianty obliczeń. Wybór wariantu zależy od tego jakie parametry konstrukcyjnie przyjmie się wstępnie do obliczeń jako dane. Metodyka obliczeń umożliwia przygotowanie programu obliczeń na maszynę cyfrową.

Kurzfassung

Berechnungsmethode der Schneckenpresse mit dem Reifencylinder

Es ist die Formeln zusammengestellt worden und auf dieser Grundlage ist es den Berechnungsalgorithmus die Grundparametren der Schneckenpresse mit dem Reifencylinder bearbeitet worden. Der Algorithmus hat die vier Varianten. Die Variantenwahl hängt davon ab, welche Eintrittskonstruktiv - parametren wird es zu der Berechnung aufgenommen. Die Berechnungsmethode ermöglicht eine Vorbereitung den Berechnungsprogramme für den Ziffernrechner.

Методика расчета шнековых прессов с канавками на внутренней поверхности цилиндра

Краткое содержание

В работе составлено формулы на основе которых разработано алгоритм вычисления основных параметров шнековых прессов с канавками на внутренней поверхности цилиндра. Алгоритм состоит из четырех вариантов вычисления. Выбор варианта зависит от этого какие конструктивные параметры принимается как входные данные. Методика вычисления делает возможным разработать программу на Э.В.М.

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego,

MODELE UTRATY SPÓJNOŚCI BŁON KOMÓRKOWYCH SUROWCÓW ŻYWNOŚCIOWYCH

Jerzy Milanowski, Ryszard Tesmer

1. W s t ę p

Wszystkie surowce pochodzenia roślinnego i zwierzęcego są materiałami o budowie komórkowej. Fakt ten należy uwzględnić przy budowie modeli zjawisk zachodzących w trakcie wielu operacji podstawowych przemysłu spożywczego. Niektóre operacje, np. wy-ciskanie soku, są wręcz warunkowane zniszczeniem błon komórkowych, inne, np. przetwarzanie materiałów, powinny być przeprowadzone tak, aby do tego zjawiska nie dopuścić. Dlatego istotna jest znajomość relacji między parametrami indywidualnymi i parametrami stanu materiału a parametrami oddziaływań zewnętrznych, przy których zachodzi utrata spójności komórkowych błon plazmatycznych. Jako oddziaływania zewnętrzne występują najczęściej oddziaływania mechaniczne, na materiał takie jak ciśnienie zewnętrzne, odkształcenia objętościowe materiału itp. Do badania zjawiska utraty spójności błon wykorzystywać można modele makroskopowe materiałów komórkowych, ujmujące jedynie ich zewnętrzne zachowanie się, jak też modele mikroskopowe uwzględniające dodatkowo istotne elementy ich morfologicznej struktury.

Dotychczas w analizie operacji podstawowych stosowano głównie modele makroskopowe przerabianych surowców [5, 7].

W niniejszej pracy podjęto próbę analizy zjawiska utraty spójności komórkowych błon plazmatycznych materiałów żywnościowych pod wpływem ciśnień zewnętrznych, odkształceń objętościowych itp. oddziaływań mechanicznych. Do tego celu zaproponowano kilka hipotetycznych mechanizmów zjawiska utraty spójności błon komórkowych.

Dla każdego z tych mechanizmów możliwe jest wyprowadzenie matematycznych warunków utraty spójności komórkowych błon plazmatycznych. Jeśli warunek matematyczny nie zgadza się z warunkami doświadczeń, odpowiedni mechanizm można odrzucić. Dla danych warunków rzeczywistych można dążyć do odrzucenia wszystkich mechanizmów poza jednym; odpowiadające mu warunki matematyczne są wtedy modelem matematycznym zjawiska utraty spójności błon w danych warunkach. Oczywiście jest, że jeśli nawet mechanizm dobrze przybliży wyniki doświadczenia (jest modelem adekwatnym fenomenologicznie), to nie musi on być modelem adekwatnym morfologicznie. Analiza adekwatności przedstawionych hipotetycznie mechanizmów wykracza poza ramy tej pracy, a została ona przeprowadzona wraz z weryfikacją eksperymentalną w pracy [4].

W niniejszej pracy ograniczono się do wyprowadzenia matematycznych warunków utraty spójności błon plazmatycznych, dla proponowanych hipotetycznych mechanizmów fenomenologicznych tego zjawiska.

2. Morfologia a mikroskopowe modele komórek

Budowa komórek i tkanek jest jednym z podstawowych, głęboko poznanych przedmiotów badań anatomii roślin i zwierząt oraz odpowiednich działów technologii środków żywnościowych [1, 2, 3, 6]. Dlatego informacje określające morfologię komórek materiałów żywnościowych nie będą tutaj przytaczane. Jeśli na te informacje spojrzeć z punktu widzenia zjawiska pęknięcia błon komórkowych pod wpływem mechanicznych obciążeń zewnętrznych materiału żywnościowego, to, abstrahując od kształtu komórek, można je przedstawić jako złożone z powłoki odpowiadającej błonie plazmatycznej oraz substancji wewnątrzkomórkowej odpowiadającej zawartości komórki. Determinując mechanizm utraty spójności błon komórkowych dla powłoki oraz substancji wewnątrzkomórkowej można przyjmować różne założenia określające ich własności fenomenologiczne. W szczególności powłokę można traktować jako:

- a) ciało sprężysto-krucho opisywane zależnością

$$\epsilon_l = \frac{\sigma}{E}$$

$$\sigma \leq \sigma_{gr}$$

$$\epsilon_l$$

$$\sigma > \sigma_{gr}$$

gdzie:

ϵ_l - względne odkształcenie liniowe powłoki,

σ - naprężenie rozciągające powłokę,

E - moduł Younga dla materiału powłoki,

σ_{gr} - naprężenia graniczne, po przekroczeniu których powłoka przestaje być ciałem sprężystym przechodząc w ciało kruche.

b) ciało kruche opisywane zależnością

$$\begin{cases} \epsilon_l = 0 & \sigma \leq \sigma_{gr} \\ \epsilon_l - & \sigma > \sigma_{gr} \end{cases}$$

Co do właściwości substancji wewnątrzkomórkowej można przyjąć, że jest to:

a) ciało sprężyste odkształcalne postaciowo i objętościowo, przy czym odkształcenie objętościowe opisane jest zależnością

$$\epsilon_v = \frac{p_w - p_z}{H}$$

gdzie:

ϵ_v - względne odkształcenie objętościowe,

p_w - ciśnienie w substancji wewnątrzkomórkowej,

p_z - ciśnienie zewnętrzne,

H - współczynnik sprężystości dla odkształceń objętościowych,

b) ciało odkształcalne postaciowo, lecz nie odkształcalne objętościowo dla którego słuszny jest związek

$$\epsilon_v = 0$$

Zestawiając ze sobą podane przypadki własności ciał charakteryzujących powłokę oraz substancję wewnątrzkomórkową określić można cztery różne hipotetyczne mechanizmy utraty spójności błony

komórkowej.

Tablica 1

		Własności powłoki	
		$\epsilon_1 = \frac{\sigma}{E}$	$\epsilon_1 = 0$
Własności substancji wewnątrzkomórkowej	$\epsilon_v = \frac{p_w - p_z}{H}$	"Mechanizm 1"	"Mechanizm 3"
	$\epsilon_v = 0$	"Mechanizm 2"	"Mechanizm 4"

Tak wyodrębnione "mechanizmy" pęknięcia błony komórkowej różnią się istotnie między sobą.

Według "mechanizmu 1" pęknięcie błony komórkowej będzie następować wtedy, gdy ciśnienie wewnętrzne p_w będzie dostatecznie duże względem ciśnienia zewnętrznego p_z do tego, aby wywołać w powłoce naprężenia przekraczające naprężenie graniczne σ_{gr} . Ciśnienie zewnętrzne poszczególnych komórek odpowiada ciśnieniu zewnętrznemu działającemu na materiał.

W drugim z rozpatrywanych "mechanizmów" obciążenie zewnętrzne ma charakter objętościowego odkształcania materiału, wywołanego naprężeniem ściskającym σ_{sc} . Pod wpływem tego odkształcania poszczególne komórki odkształcają się postaciowo, zmieniając swoją powierzchnię lecz zachowując pierwotną objętość ($\epsilon_v = 0$). Gdy odkształcenia postaciowe poszczególnych komórek przekroczą wartość odpowiadającą naprężeniom granicznym powłoki (σ_{gr}), następuje jej pęknięcie. Transformację objętościowego odkształcania materiału w postaciowe odkształcanie poszczególnych komórek ilustruje rys.1.

W "mechanizmie 3" mamy do czynienia z powłoką elastyczną lecz nieodkształcalną (nierozciągliwą); substancja wewnętrzna może się odkształcać zarówno postaciowo jak i objętościowo. Jeśli przy ustalonej powierzchni komórki nastąpi zmiana jej kształtu, np. z sześcienną w kulistą, to będzie się to wiązało ze zmianą objętości

substancji wewnętrznej. Zmiana ta wiąże się z kolei ze zmianą ciśnienia w substancji wewnątrzkomórkowej. Ciśnienie to przeniesione na powłokę może spowodować przekroczenie wartości naprężeń granicznych, czego efektem jest pęknięcie błony. Transformacja objętościowego odkształcania się materiału w postaciowe odkształcenie się poszczególnych komórek jest podobna jak dla "mechanizmu 2" (rys.1). Różnica między nimi polega na tym, że w przypadku 2 zmiana postaci nastąpiła przy zmianie powierzchni dla ustalonej objętości, zaś w przypadku 3 mamy do czynienia ze zmianą postaci połączoną ze zmianą objętości przy ustalonej powierzchni powłoki.

W "mechanizmie 4" mamy do czynienia z powłoką nieodkształcalną substancją wewnętrzną. Takie skojarzenie właściwości powłoki i substancji wewnętrznej nie może reprezentować "mechanizmu" pęknięcia powłoki. W związku z tym, w dalszej części pracy zaniechano jego analizy.

3. " M e c h a n i z m 1 "

Zgodnie z tablicą 1 w "mechanizmie 1" zakłada się powłokę sprężysto - kruchą (1a), a w odniesieniu do substancji wewnętrznej przyjmuje się, iż jest odkształcalna objętościowo pod wpływem różnicy między ciśnieniem zewnętrznym i wewnętrznym komórki (2a). Można łatwo wykazać, że dla komórki o dowolnej geometrii spełniona jest zależność

$$\epsilon_l = \sqrt[3]{1 + \epsilon_v} - 1 \quad (3)$$

Uwzględniając (1a), (2a) oraz (3) można graniczną wartość naprężenia rozciągającego powłokę uzależnić od parametrów indywidualnych elementów i różnicy ciśnień wewnątrz i na zewnątrz powłoki.

$$\sigma_{gr} = E \cdot \sqrt[3]{1 + \frac{p_w - p_z}{H}} - 1 \quad (4)$$

4. "Mechanizm 2"

Zgodnie z tablicą 1 w "mechanizmie 2" zakłada się powłokę sprężysto - kruchą (1a), a w odniesieniu do substancji wewnętrznej przyjmuje się iż jest ona odkształcalna postaciowo pod wpływem

różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniem zewnętrznym i wewnętrznym komórki (2b). Można łatwo wykazać, że dla komórki o dowolnym kształcie spełniona jest zależność

$$\epsilon_l = \sqrt{\epsilon_F + 1} - 1 \quad (5)$$

Jednocześnie zakładamy, że:

$$\epsilon_F = k \cdot \sigma_{sc} \quad (6)$$

gdzie:

k - współczynnik podatności substancji wewnątrzkomórkowej na zmiany postaci,

σ_{sc} - naprężenia w substancji wewnątrzkomórkowej,

ϵ_F - względne odkształcenia komórkowe $\epsilon_F = \frac{\Delta F}{F}$

Uwzględniając (1a), (5) i (6) graniczną wartość naprężenia rozciągającego σ_{gr} uzależnić można od parametrów indywidualnych powłoki i substancji wewnątrzkomórkowej oraz naprężeń ściskających materiał:

$$\sigma_{gr} = E \cdot \sqrt{k \cdot \sigma_{sc} + 1} - 1 \quad (7)$$

5. "Mechanizm 3"

Zgodnie z tablicą 1 w "mechanizmie 3" zakłada się powłokę jako ciało kruche (1b); w odniesieniu do substancji wewnętrznej przyjmuje się, iż jest ona odkształcalna objętościowo (2a). Jednocześnie przyjmujemy jak dla powłok walcowych o właściwościach ciała kruchego zależność:

$$\sigma = \frac{(p_w - p_z) \cdot D}{2 \cdot g} \quad \text{dla: } \sigma \leq \sigma_{gr} \quad (8)$$

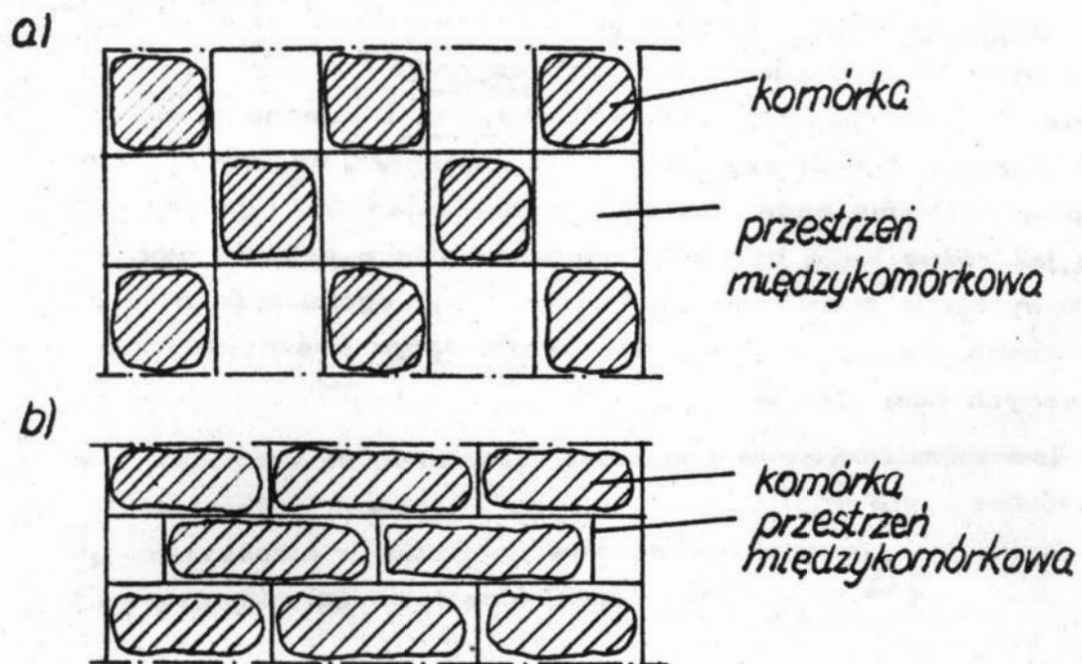
Wykorzystując (1b), (2a) i (8) otrzymamy:

$$\sigma_{gr} = \epsilon_v \cdot H \cdot \frac{D}{2 \cdot g} \quad (9)$$

6. Wnioski końcowe

Wprowadzone dla różnych hipotetycznych "mechanizmów" warunki utraty spójności komórkowych błon plazmatycznych, wymagają

empirycznej weryfikacji w celu ewentualnego wyboru modeli adekwatnych do doświadczenia. Jednakże już przed dokonaniem wyboru umożliwiają one określenie istotnych czynników wpływających na zjawisko utraty spójności błon komórkowych i zależności między nimi. Znajomość tych czynników oraz zależności umożliwia racjonalne programowanie badań empirycznych. Zestawione hipotezy wykazują, jak różne mogą być zjawiska warunkujące pękanie błon komórkowych. Do pomyslenia są "mechanizmy" ogólniejsze od przedstawionych, uwzględniające jednoczesny wpływ poszczególnych analizowanych tutaj zjawisk.



Rys. 1. Układ komórek w ciele: a) przed odkształceniem,
b) po odkształceniu

Literatura

1. Kubasiewicz M.: Zarys anatomii zwierząt domowych. PWN Warszawa 1974.
2. Milanowski E.: Anatomia roślin. PWN Warszawa 1981.
3. Milanowski J., Owczarzak J., Tarasewicz Wł. Technologia środków żywnościowych. Skrypt WSiNż. Koszalin (w druku).
4. Milanowski J., Tesmer R.: Mechaniczne własności tkanki mięśniowej istotne ze względu na utratę spójności błon komórkowych. Referat Szkoła Letnia Komitet Agrofizyki PAN pt. Fizyczne właściwości materiałów roślinnych. Słonne 9-14.IX.1985 r. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych (Zgłoszenie).
5. Nikolajev B.A.: Izmierenie strukturno mechaniceskich svojstw piscevyh produktov. Ekonomika Moskva 1964.
6. Prost E.: Higiena Mięsa. PWRiL Warszawa 1975.
7. Stabnikow W.N., i inni.: Procesy i aparaty w przemyśle spożywczym. WNT Warszawa 1978.

Streszczenie

W pracy przedstawiono hipotetyczne mechanizmy fenomenologiczne pękania komórkowych błon plazmatycznych w czasie procesów technologicznych. Wyprowadzono matematyczne warunki (modele) pękania błon.

Summary

The bursting models of animal food raw material cells.

The hypothetic fenomenological bursting mechanisms of cell plasmatic walls during processing are presented in the work. The mathematical conditions (models) of plasmatic wall bursting are concluded.

. Модели трешания клеточных стенок пищевого сырья

В работе представлены гипотетические, феноменологические механизмы трешания клеточных стенок пищевого сырья во время технологических процессов. Выведено математические условия / модели / трешания клеточных стенок.

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego,

ANALIZA MOŻLIWOŚCI CIĘCIA NOŻAMI TARCZOWYMI

Jarosław Diakun

1. W p r o w a d z e n i e

Noże tarczowe są powszechnie stosowane do cięcia materiałów. Przykładowo w przemyśle spożywczym występują w urządzeniach do cięcia ryb (odgłowiarki, fileciarki), cięcia mas cukierniczych w batony. W maszynach do cięcia nóż tarczowy pracuje w zestawieniu z innymi elementami pomocniczymi. Jednymi z możliwych zespołów tnących nożami tarczowymi mogą być:

- dwa zestawy równoległościowych ...noży tarczowych obracających się przeciwbieżnie, tnących pionowo podawany blok materiału
rys. 1,

- zestaw noży tarczowych współpracujących z wałkiem prowadzącym dociskającym, przy czym blok materiału może być podawany do cięcia pionowo (jak na rysunku 2) lub poziomo (układ z rysunku 2 odwrócony o $\pi/2$),

- zestaw noży tarczowych współpracujących z taśmą przenośnika przemieszczającego materiał - rys. 3.

Problemem związanym z zapewnieniem poprawnej pracy stosunkowo prostego zespołu noży tarczowych jest prowadzenie bloku (plastra) materiału w trakcie cięcia. Aby wymusić ruch materiału rozbudowuje się układ wprowadzając dodatkowe elementy takie jak popychacze, wałki dociskowe. Stosowanie tych dodatkowych elementów rozbudowuje i komplikuje konstrukcję.

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono analizę możliwości samoczynnego chwytania i prowadzenia bloku materiału rozcinanego układem noży tarczowych. Przedstawione są wyniki badań doświadczalnych cięcia bloków mięsa mrożonego.

2. Analiza teoretyczna

Podstawą przeprowadzenia analizy będzie wykorzystanie znanego opisu zjawiska wciągania drobin materiału między walce gnio - townika dwuwalcowego [1]. Schematycznie układ taki przedstawiono na rys. 4, na którym zaznaczono siły działające na cząstkę ma - teriału wciąganego między walce. Pierwotną siłą w układzie jest siła ciężkości cząstki materiału C .

Równoważona jest ona przez reakcję N od walców. W wyniku wzglę - dnego ruchu walca i materiału występuje siła tarcia T . Aby materiał mógł być wciągnięty między walce, a następnie skruszony, składowa pionowa siły tarcia T_y musi być większa od składowej pionowej siły normalnej N_y . Z warunku tego wyprowadza się zależność, że wciąganie materiału między walce nastąpi wtedy, gdy kąt tarcia φ_T jest nie mniejszy od kąta uchwytu φ_u .

$$\varphi_T \geq \varphi_u \quad (1)$$

Podobnie przedstawić można warunek uchwycenia i wciągnięcia bloku materiału między noże tarczowe celem jego pocięcia. Szkic obrazujący tę sytuację przedstawia rys. 5. Blok materiału o gru - bości g będzie cięty nożami o średnicy d_n wtedy, gdy kąt uchwytu φ_u będzie mniejszy od kąta tarcia noży o rozciągany materiał. Tak sformułowany warunek pozwala na wyprowadzenie wzoru na minimal - ną średnicę noży. Wykorzystajmy do tego zależności geometryczne przedstawione na rys.5. Z trójkąta prostokątnego OAS wynika

$$\frac{OA}{OS} = \cos \varphi_{un} \quad (2)$$

gdzie wartości odcinków wyrazić można zależnościami:

$$\begin{aligned} OA &= \frac{1}{2}(d_n - g) \quad , \\ OS &= \frac{1}{2}d_n \quad . \end{aligned} \quad (3)$$

Po podstawieniu wzorów (3) do zależności (2) i po przekształce - niach otrzymujemy:

$$d_n = g \frac{1}{1 - \cos \varphi_{un}} \quad (4)$$

Wzór (4) określa minimalną wartość średnicy noży tarczowych, które dla kąta uchwytu φ_{un} spowodują wciągnięcie i przecięcie bloku materiału o grubości g . Wykorzystując trygonometryczną zależność cosinusa od tangensa wzór (4) przyjmie postać:

$$d_n = g \frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{un}}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{un}} - 1} \quad (5)$$

Aby następowało wciągnięcie i przecięcie materiału, kąt uchwytu φ_{un} musi być nie większy niż kąt tarcia, czyli wartość $\operatorname{tg} \varphi_{un}$ musi być nie większa od współczynnika tarcia noży o materiał μ . Wykorzystując tę zależność, wyrażenie (5), pozwalające obliczyć wartość minimalnej średnicy noży tarczowych, przyjmie postać:

$$d_n = g \frac{\sqrt{1 + \mu^2}}{\sqrt{1 + \mu^2} - 1} \quad (6)$$

Szkic obrazujący zależności geometryczne przy współpracy noży tarczowych z bębniem prowadząco dociskowym przedstawia rys. 6. W takim układzie celowe jest wykonanie na powierzchni bębna wzdłużnych nacięć. Powstałe przez to karby na powierzchni bębna zwiększają współczynnik tarcia μ_b bębna o materiał w porównaniu do współczynnika tarcia noży o materiał μ_n .

Umożliwia to zwiększenie kąta uchwytu bębna φ_{ub} , a zatem zastosowanie mniejszej średnicy bębna d_b w porównaniu do odpowiednich wielkości kąta uchwytu noża φ_{un} oraz średnicy noża.

Grubość ciętego bloku materiału g można potraktować jako sumę grubości przypadających na strefę noży g_n i bębna g_b

$$g = g_n + g_b \quad (7)$$

Z funkcji trygonometrycznych:

$$\sin \varphi_{ub} = \frac{2AS_b}{d_b}, \quad \sin \varphi_{un} = \frac{2BS_n}{d_n}, \quad (8)$$

(przy czym $AS_b = BS_n$), wyprowadzić można zależności między średnicami bębna i noży:

$$d_b = d_n \frac{\sin \varphi_{un}}{\sin \varphi_{ub}} \quad , \quad d_n = d_b \frac{\sin \varphi_{ub}}{\sin \varphi_{un}} \quad (9)$$

Grubości bloku ciętego materiału przypadające na strefy bębna i noży wyrazić można wzorami:

$$\begin{aligned} g_b &= \frac{1}{2} d_b - O_b A = \frac{1}{2} d_b (1 - \cos \varphi_{ub}) \quad , \\ g_n &= \frac{1}{2} d_n - O_n B = \frac{1}{2} d_n (1 - \cos \varphi_{un}) \quad . \end{aligned} \quad (10)$$

Podstawiając wzory (10) do (7), a następnie wykorzystując wyrażenia (9) wyprowadzić można zależności określające średnicę bębna i noży jako funkcje kątów uchwytu:

$$\begin{aligned} d_b &= \frac{2g}{1 - \cos \varphi_{ub} + \frac{\sin \varphi_{ub}}{\sin \varphi_{un}} - \frac{\sin \varphi_{ub}}{\operatorname{tg} \varphi_{un}}} \quad , \\ d_n &= \frac{2g}{1 - \cos \varphi_{un} + \frac{\sin \varphi_{un}}{\sin \varphi_{ub}} - \frac{\sin \varphi_{un}}{\operatorname{tg} \varphi_{ub}}} \quad . \end{aligned} \quad (11)$$

Wykorzystując trygonometryczne zależności sinusa i cosinusa od tangensa, oraz wprowadzając zależność między maksymalnym kątem uchwytu i współczynnikiem tarcia otrzymujemy wyrażenia określające minimalne średnice bębna i noży tarczowych, przy których nastąpi wciągnięcie i następnie przecięcie bloku materiału:

$$\begin{aligned} d_b &= \frac{2g}{1 - \frac{\sqrt{1+\mu_b^2}}{1+\mu_b^2} + \frac{\mu_b}{\mu_n} \left(\sqrt{\frac{1+\mu_n^2}{1+\mu_b^2}} - \frac{\sqrt{1+\mu_b^2}}{1+\mu_b^2} \right)} \quad , \\ d_n &= \frac{2g}{1 - \frac{\sqrt{1+\mu_n^2}}{1+\mu_n^2} + \frac{\mu_n}{\mu_b} \left(\sqrt{\frac{1+\mu_b^2}{1+\mu_n^2}} - \frac{\sqrt{1+\mu_n^2}}{1+\mu_n^2} \right)} \quad . \end{aligned} \quad (12)$$

W założeniach przyjętych przy określaniu kąta uchwytu (pojęcie to jest podstawą wyprowadzenia wzorów na wartość minimalnych średnic) występuje jako pierwotna siła ciężkości.

W dalszej analizie dotyczącej równowagi sił warunkujących uchwycenie materiału, siła ta jest pomijana jako mała w porównaniu do pozostałych sił (normalnej i tarcia - rys. 4). Wyprowadzone wzory (12) mogą być zatem stosowane również do obliczeń układu noży tarczowych współpracujących z bębnem dociskowym przy poziomym prowadzeniu bloku ciętego materiału (układ obrócony o kąt $\pi/2$ w stosunku do układu podstawowego na rys. 6).

Na rys. 7 przedstawiono istotne parametry geometryczne oraz układ sił działających na blok materiału podawanego na przenośniku pod noże tarczowe. Pominięta jest tu i nie będzie uwzględniana w dalszych rozważaniach ciła ciężkości, która pozytywnie przyczynia się do realizacji procesu, ale jako mała nie jest istotna w porównaniu do innych sił. Od obracających się noży na blok materiału działają siły normalna N_n oraz tarcia T_n

$$T_n = \mu_n N_n . \quad (13)$$

Składowe pionowe od tych sił N_{ny} i T_{ny} równoważne są przez siłę normalną N_p oddziaływania przenośnika na blok materiału:

$$N_p = N_y + T_y = N_n (\cos \alpha_u + \mu_n \sin \alpha_u) . \quad (14)$$

Pochodną siły normalnej jest siła tarcia T_p oddziaływania przenośnika na materiał:

$$T_p = N_p \mu_p = N_n \mu_p (\cos \alpha_u + \mu_n \sin \alpha_u) . \quad (15)$$

Wciągnięcie bloku materiału pod nóż tarczowy nastąpi wtedy, gdy spełniona będzie zależność

$$T_x + T_p \geq N_x . \quad (16)$$

Składowe poziome sił oddziaływujących od noży tarczowych na materiał wynoszą:

$$\begin{aligned} N_x &= N_n \sin \alpha_u , \\ T_x &= \mu_n N_n \cos \alpha_u . \end{aligned} \quad (17)$$

Po podstawieniu wzorów (15) i (17) do nierówności (16) i po przekształceniach otrzymamy wyrażenie określające warunek, jaki musi spełniać kąt uchwytu noża α_u , aby nastąpiło samoczynne przemieszczanie się materiału ciętego nożami tarczowymi

$$\operatorname{tg} \alpha_u \leq \frac{\mu_p + \mu_n}{1 - \mu_p \mu_n} \quad (18)$$

Zastępując współczynniki tarcia tangensami kątów tarcia noża za - pisać można:

$$\alpha_u \leq \varphi_{Tp} + \varphi_{Tn} \quad (19)$$

gdzie φ_{Tp} , φ_{Tn} graniczne kąty tarcia, odpowiednio przenośnika i noża o materiał. W oparciu o określoną wzorem (18) zależność na kąt uchwytu noża α_u wyprowadzić można wzór na minimalną średnicę noży tarczowych (wyprowadzenie identyczne jak dla wzoru (6),

$$d_n = 2g \frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_u}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_u} - 1} \quad (20)$$

3. B a d a n i a e k s p e r y m e n t a l n e

W ramach badań możliwości rozdrabniania bloków mięsa mrożonego przeprowadzono również próby cięcia tego materiału nożami tarczowymi. Widok mechanizmów tnących stanowiska badawczego, wykorzystujących do cięcia noże tarczowe przedstawiają fot. 1 i 2. Noże tarczowe miały średnicę $d_n = 200$ mm, a bęben średnicę $d_b = 100$ mm. Bęben miał wykonane ostrza o kącie 74° , wysokości 2 mm i podziałce 3 mm. Cięciu poddano mięso odkostnione wołowe zamrożone w bloki, o temperaturze 263°K (-10°C) i 243°K (-30°C). Układ z dwoma parami noży tarczowych (fot.1) umożliwiał cięcie bloku mięsa o grubościach $g = 14$ mm dla temperatury 264°K i 11 mm dla 243°K . Z przekształconych odpowiednio wzorów (6) i (5) wyliczyć można wartości współczynnika tarcia oraz granicznego kąta uchwytu, wartości te wynoszą odpowiednio:

dla $t = 263^\circ\text{K}$	$\mu_n = 0,4$	$\varphi_{un} = 22^\circ$
dla $t = 243^\circ\text{K}$	$\mu_n = 0,36$	$\varphi_{un} = 20,5^\circ$

Układ, w którym noże tarczowe współpracowały z bębniem (fot.2) umożliwiły cięcie bloków o grubości $g = 12$ mm dla temperatury 263°K oraz $g = 10$ mm dla temperatury 243°K .

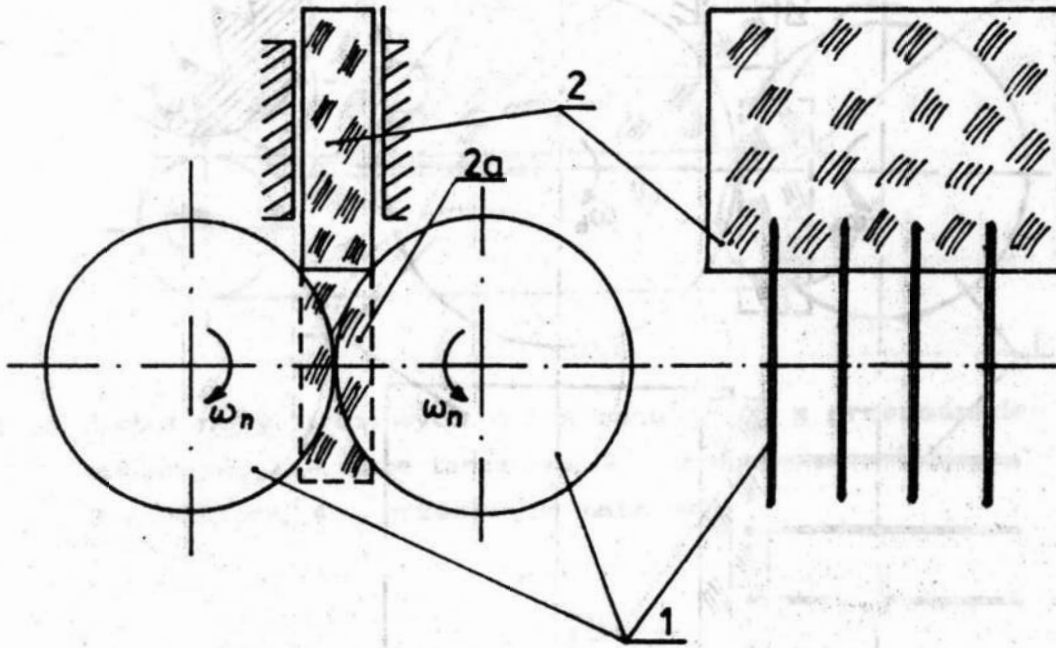
Wykorzystując znajomość wcześniej wyznaczonego współczynnika tarcia noża o mięso mrożone, wyznaczono w oparciu o jeden ze wzorów (12), metodą kolejnych przybliżeń, wartość współczynnika tarcia mięsa o rowkowany bęben. Wynosi on $\mu_b = 0,6$ (graniczny kąt uchwytu $\varphi_{ub} = 31^{\circ}$).

4. W n i o s k i

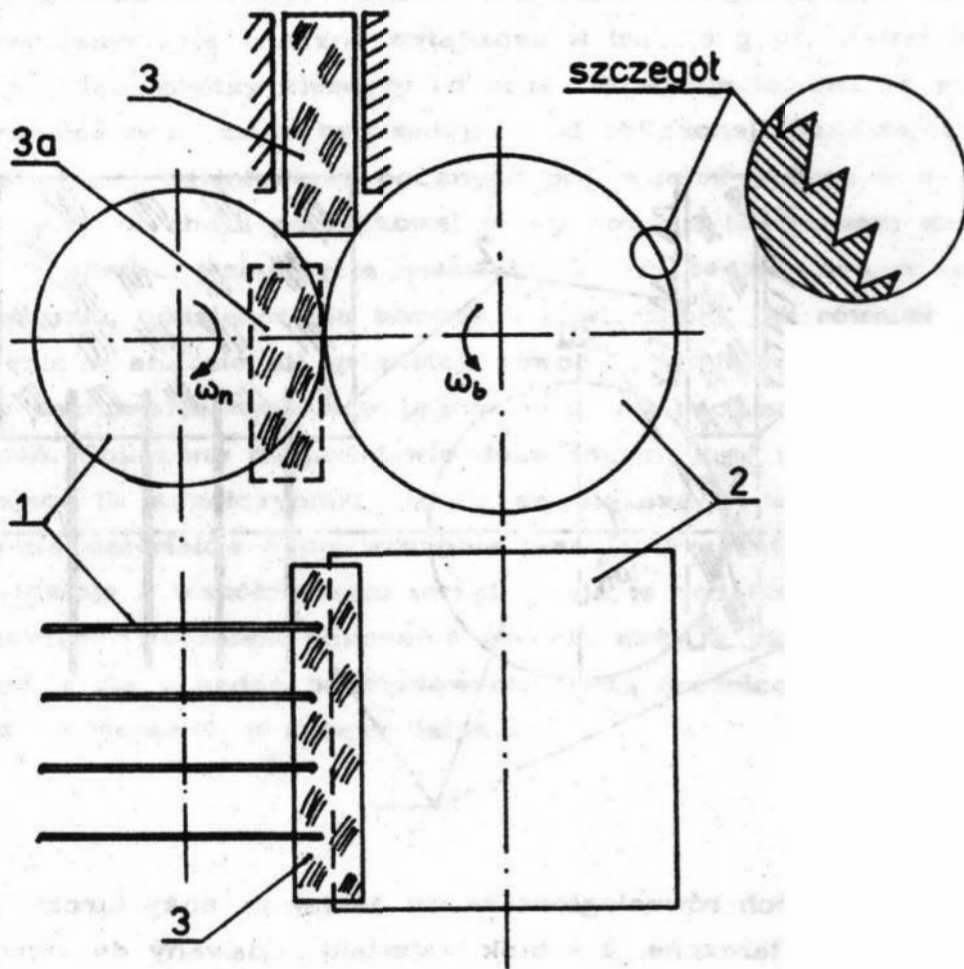
Przeprowadzona analiza oraz wyniki badań doświadczalnych wykazały, że możliwe jest takie wykonstruowanie zespołu tnącego nożami tarczowymi, aby następowało samoczynne wciąganie materiału. Nie występuje wtedy potrzeba stosowania dodatkowych elementów popychających. Noże tarczowe pełnią tu jednocześnie rolę elementu wymuszającego ruch materiału. Istotnym parametrem, który decyduje o poprawnej pracy układu noży tarczowych jest średnica noży oraz średnica bębna współpracującego w przypadku układu jak na rys.2. Czynniki wpływającymi na wartość średnic są współczynniki tarcia noża o materiał oraz grubość przecinanego materiału. Wyprowadzone wzory (6), (12), (20) i (18) pozwalają obliczyć średnicę. Aby wyprowadzone wzory można było wykorzystać w praktyce, należy eksperymentalnie wyznaczyć wartość występujących w tych wzorach współczynników tarcia.

Wyprowadzając zależności zastosowano szereg założeń i uproszczeń nie zawsze jawnie wymienionych w tekście. Istotna jest informacja o nich, jako że mają one wpływ na wartość otrzymanych z obliczeń wyników. Wzory na wartość średnic noży tarczowych, dla których następuje samoczynne wciąganie i prowadzenie materiału wyprowadzono wykorzystując metodę opracowaną dla rozdrabniania materiałów kruchych bębnami walcowymi. Wiąże się to z przyjęciem założenia, że nożowi odpowiada hipotetyczny walec równy mu średnicą oraz, że materiał jest sprężyste i plastycznie nieodkształcalny. W większości przypadków noże tarczowe stosowane są do cięcia materiałów spożywczych, które są sprężyste i plastycznie w procesie cięcia odkształcane. Jednocześnie, oprócz powierzchni czołowej tarczy noża - ostrza (zastąpionej w analizie

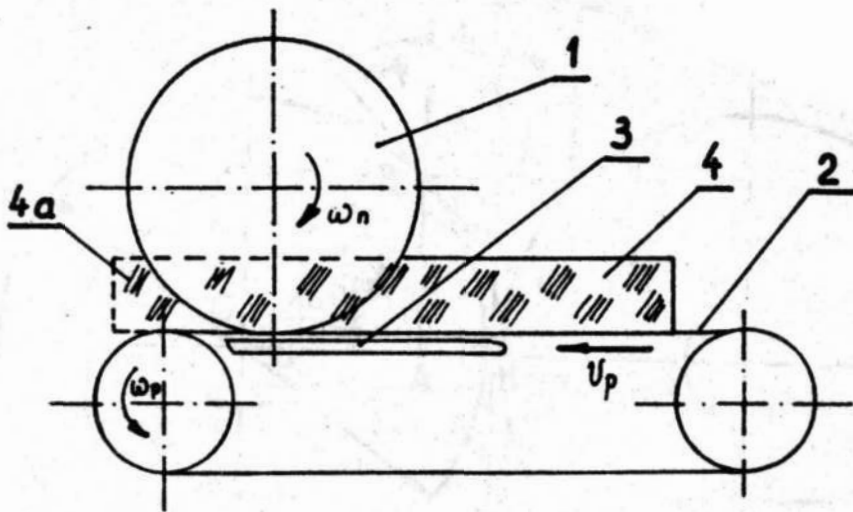
powierzchnią walcową) w trakcie cięcia na materiał oddziałują również powierzchnie boczne. Omówione odstępstwa od założeń teoretycznych są znaczne, zwłaszcza w trakcie gdy materiał już jest wciągnięty między elementy robocze. Powoduje to, że rzeczywista średnica noży może być mniejsza od obliczonej. Odkształcalność materiału i oddziaływanie bocznych powierzchni wpływa w mniejszym stopniu w chwili początkowej pracy noży, a ten moment decyduje o możliwości wciągnięcia materiału. O tym, że zjawiska odkształceń materiału, oddziaływania bocznych powierzchni, jak również pominięcie w analizie sił grawitacji powodują zmniejszenie koniecznych do zachowania warunków pracy noży średnic, są wyniki doświadczeń. Obliczone na podstawie doświadczeń kąty uchwytu i odpowiadające im współczynniki tarcia są większe od współczynników tarcia materiałów o powierzchnie płaskie. Przedstawione zatem w rozdziale 3 współczynniki uwzględniają te dodatkowe, omówione tu zjawiska. Natomiast obliczenie średnic noży w oparciu o współczynniki tarcia z badań podstawowych dadzą średnicę nieco większe od koniecznych w rzeczywistości.



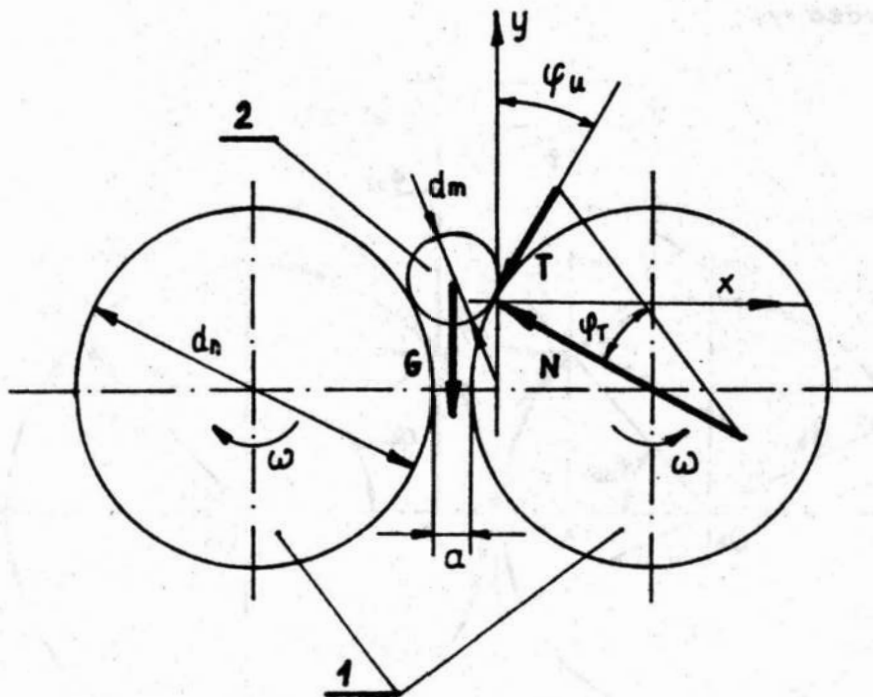
Rys. 1. Układ dwóch równoległosłowych zestawów noży tarczowych,
 1 - noże tarczowe, 2 - blok materiału podawany do cięcia,
 2a - materiał w trakcie przecinania



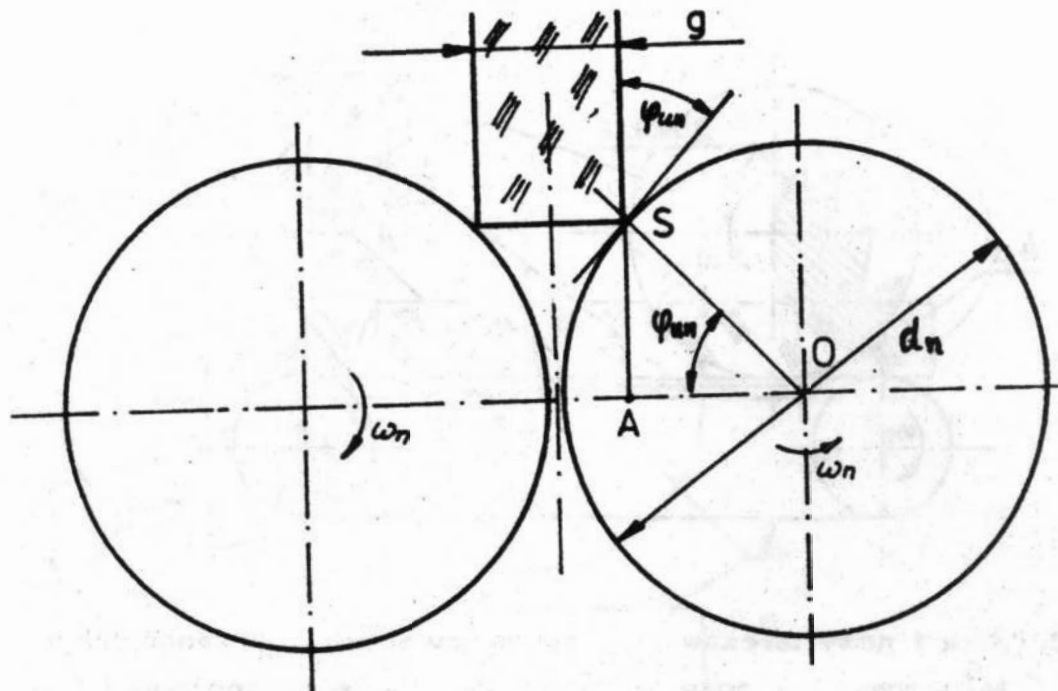
Rys. 2. Układ noży tarczowych współpracujących z bębnem,
 1- noże tarczowe, 2- bęben, 3 - materiał podawany do cięcia, 3 a - materiał w trakcie przecinania



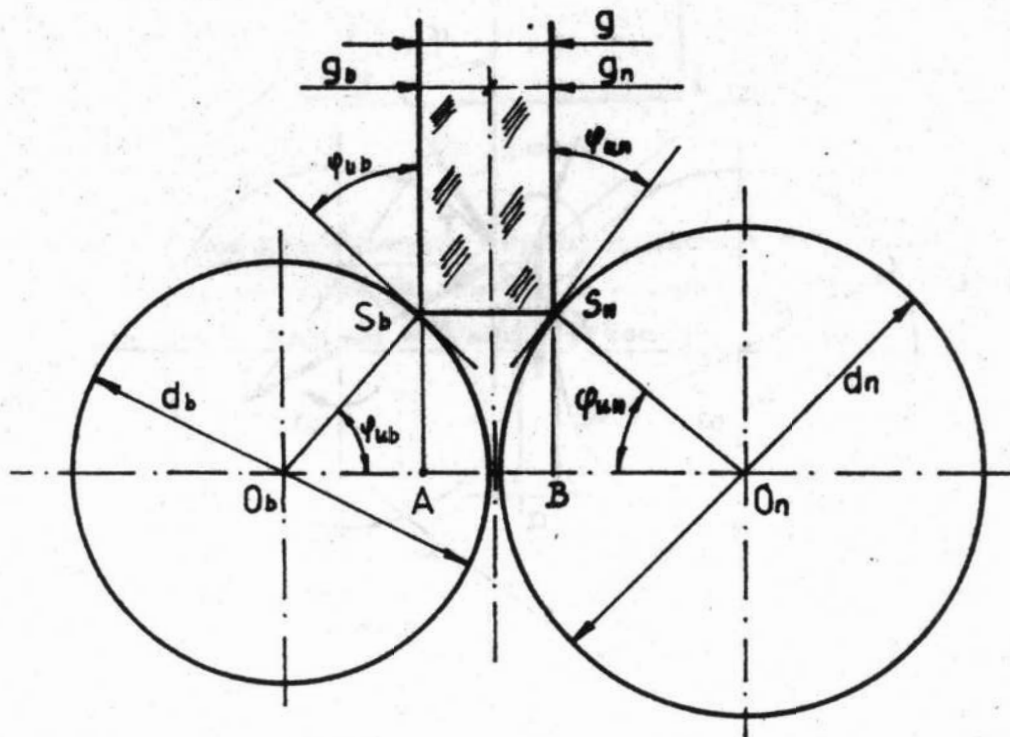
Rys. 3. Układ noży tarczowych współpracujących z przenośnikiem taśmowym, 1 - noże tarczowe, 2 - taśma przenośnika, 3 - podpora, 4 - przecinany materiał



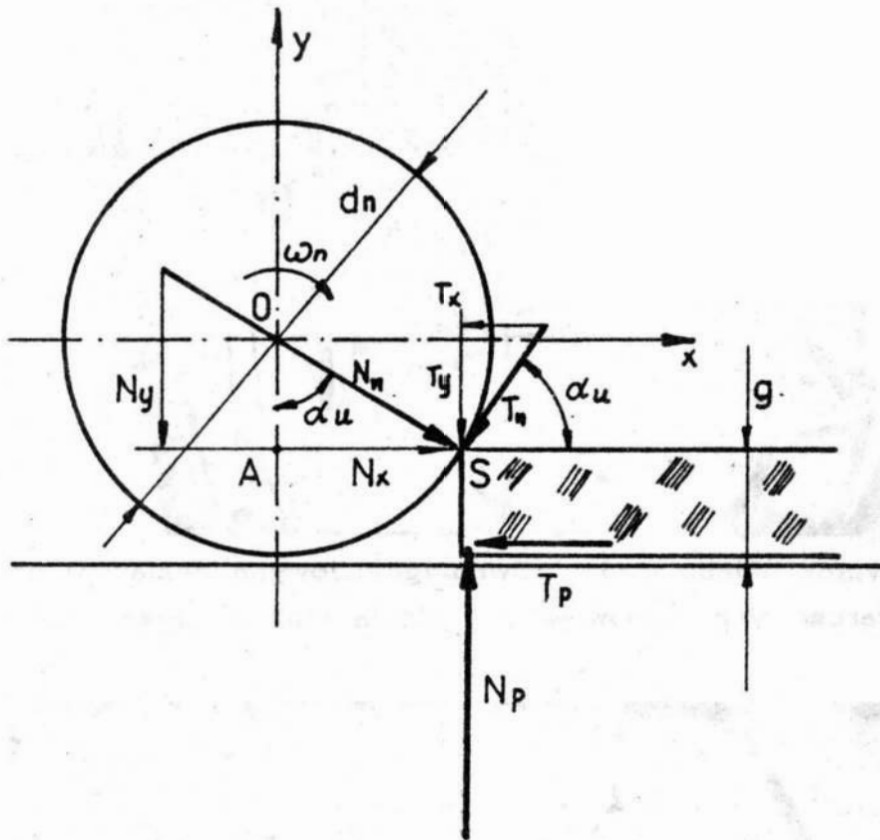
Rys. 4. Układ sił działających na cząstkę materiału wciąganeego między walce: 1 - walce, 2 - cząstka materiału



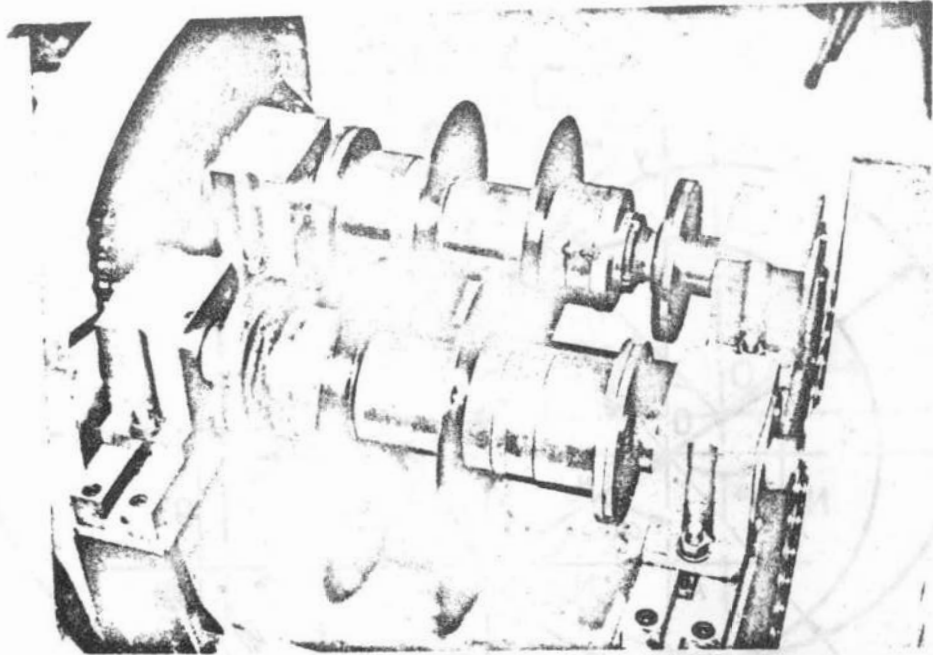
Rys. 5. Geometria układu dwóch równoległosiosowych zestawów noży tarczowych



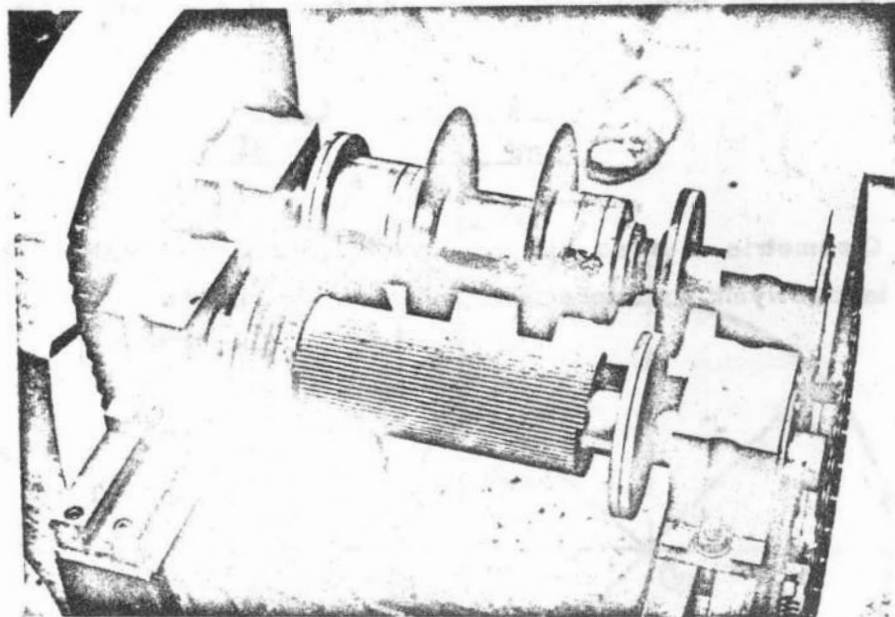
Rys. 6. Geometria układu noży tarczowych współpracujących z bębniem dociskowym



Rys. 7. Geometria i układ sił przy cięciu bloku materiału nożami tarczowymi współpracującymi z przenośnikiem



Fot. 1. Widok układu dwóch równoległosioowych zestawów noży tarczowych stanowiska do cięcia bloków mięsa mrożonego



Fot. 2. Widok układu noży tarczowych współpracujących z bębniem rowkowanym stanowiska do cięcia bloków mięsa mrożonego

L i t e r a t u r a

1. Chwiej M., Aparatura przemysłu spożywczego. Maszyny i aparaty PWN, Warszawa 1984
2. Lewicki P., i inni, Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. WNT, Warszawa 1982,

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę teoretyczną cięcia nożami tarczowymi materiałów w formie płyt, przy czym noże spełniają jednocześnie funkcję wymuszającą ruch materiału. Analiza dotyczy przypadków pracy; noży tarczowych parami, współpracy noży tarczowych z bębniem oraz z taśmą przenośnika. Wyprowadzone wzory umożliwiają obliczanie takich układów. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych cięcia bloków mięsa mrożonego.

Kurzfassung

Analyse die Möglichkeit des Schneiden auf dem Kreismesser

Es ist im Artikel die Theoretische Analyse des Schneiden auf dem Kreismesser die Stoffen in der Platteform beigebracht worden, wobei gleichzeitig erfüllen die Kreismesser die Erpressungsfunktion die Stoffbewegung. Die Analyse betrifft die Arbeitsfälle: des Kreismesserpaaren, der Mitarbeit der Kreismesser mit der Trommel und mit dem Förderband. Abgeleitungen Formeln ermöglichen die Berechnungen dieser Systemen. Man hat die Experimentmessergebnis des Schneiden der Platten des Gefrorenfleisch.

Анализ возможности резания дисковыми ножами

Содержание

В статье представлено теоретический анализ резания дисковыми ножами материалов во форме плиты, при этом ножи одновременно исполняют роль вынуждающую движение материала. Анализ приведен для случаев работы: дисковых ножей парами, сотрудничества ножей с барабаном либо с транспортирующей лентой. Выведено формулы вычисления этих систем. Представлено результаты экспериментов резания плит мороженого мяса.

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego

METODY OKREŚLANIA STOPNIA ROZDROBNIENIA MATERIAŁÓW ŻYWNOŚCIOWYCH

Jerzy Mabeluch, Janusz Owczarzak, Władysław Tarasewicz

1. W s t ę p

Jednym z istotnych parametrów jakości materiałów żywnościowych jest ich stopień rozdrabniania. Do jego określania stosuje się analizę sitową [1], polegającą na rozdzieleniu próbki materiału za pomocą sit na frakcje i wyznaczeniu średniego uziarnienia. W przypadku materiałów o znacznej zawartości wody (np. owoce, warzywa, mięso) taką analizę przeprowadza się na mokro. Wykonywanie jej jest uciążliwe długotrwałe i pracochłonne. Podjęto próbę zastąpienia jej metodą prostszą.

W niniejszej pracy zwrócono uwagę na istnienie związku między stopniem rozdrabniania a : momentem rozdrabniającym dany materiał, konduktacją elektryczną oraz właściwościami lepkosprężystymi. (lepkością, tłumieniem, sztywnością) rozdrabnianego materiału. Doświadczalnie wykazano, że wyżej wymienione parametry mogą służyć jako miernik sprawności rozdrabniania materiału, to znaczy mogą zastąpić analizę sitową w określeniu stopnia rozdrabniania.

2. S t o p i e ń r o z d r a b n i a n i a

Za stopień rozdrobnienia materiału żywnościowego (n), przyjmuje się stosunek średnicy zastępczej elementów przed rozdrobieniem (D_z), do średnicy zastępczej po rozdrobieniu (d_z),

$$n = \frac{D_z}{d_z} \quad (1)$$

Średnica zastępcza (D_z) definiowana jest średnicą kuli o tej samej objętości co średnia objętość elementu przed rozdrobieniem:

$$D_z = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \frac{\sum_{i=1}^k \frac{m_i}{\rho}}{k}} , \quad (2)$$

gdzie:

m_i - poszczególne masy k elementów przed rozdrobnieniem [g],
 ρ - masa właściwa materiału rozdrabnianego $\left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]$.

Średnica zastępcza (d_z) jest średnią ważoną frakcji uzyskanych w analizie sitowej rozdrobnionego materiału:

$$d_z = \sum_{j=1}^k \left[\frac{m_j}{m_c} \left(\frac{d_{(j-1)} + d_j}{2} \right) \right] , \quad (3)$$

gdzie:

m_j - masa j - tej frakcji [g],
 m_c - masa całkowita próbki rozdrabnianego materiału pobrana do analizy sitowej [g],
 $d_{(j-1)}$ - średnica otworów sita, przez które przeszły frakcje, rozdrobnionego materiału [cm],
 d_j - średnia otworów sita, na którym zebrano j - tą frakcję [cm],

3. S t a n o w i s k o b a d a w c z e

W celu sprawdzenia przydatności wybranych metod pośrednich do określania stopnia rozdrobnienia, zbudowano stanowisko badawcze, którego schemat przedstawiono na rys.1. Do rozdrabniania materiału wykorzystano odpowiednio przekonstruowany kuter 10 - litrowy produkcji "Spomasz" Ostrów Wielkopolski [2]. Pomiary momentu rozdrabniania przeprowadzono za pomocą momentomierza typu Mi 1, 0:10 Nm wraz ze wskaźnikiem pomiarowym typu WT - 1 produkcji PIMR-Poznań. Pomiaru konduktancji elektrycznej dokonywano konduktometrem typu N 571 produkcji Mera Elwro, którego specjalnie skonstruowane elektrody umieszczono na bocznej prowadnicy miski kutra. Sygnały z miernika momentu oraz konduktancji rejestrowano na rejestratorach YT typu TZ-21S produkcji Laboratorium Prístroje-Praha.

Właściwości lepkosprężyste rozdrabnianego materiału mierzono penetrometrem Høepplera firmy Gebruder Haake Medingen NRD (po-
miar lepkości) oraz wiskoelastometrem "Sarez" 3 (pomiar sztyw-
ności oraz tłumienia mechanicznego).

Analizę sitową rozdrabnianego materiału wykonywano metodą moką
na zestawie sit $\phi = 10 : 1 \text{ mm}$ co 1 mm , produkcji Zakładu Apa-
ratów Naukowych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

Do suszenia otrzymanych frakcji użyto komory cieplnej typ KC -
100/200 produkcji ZALMET Warszawa.

4. M e t o d y k a b a d a ń

Rozdrabnianiu podawano stałą masę materiału (sortowanych
buraków o $\sum_{i=1}^k m_i = 4 \text{ kg}$ i $k = 52 - 54$ sztuk, do wzoru 2) przez
określony przedział czasu z prędkością kątową misy $\omega_m = 314$
rad/s i głowicy nożowej $\omega_n = 1,25$ rad/s oraz tym samym kom-
pletem noży. Dla każdego przedziału czasu wyprowadzono nową
partię materiału, po rozdrobnieniu której pobierano reprezentatywne
próbki do analizy sitowej, pomiaru penetrometrem Høepplera i kon-
duktancji rejestrowano w sposób ciągły w trakcie rozdrabniania.
Próbki do analizy sitowej odważono na dwie równe części, z któ-
rych jedną rozdzieloną na frakcje, a drugą w całości suszono
przez 12 godzin w temperaturze 378 K, uzyskując masy m_j i m_c
(do wzoru 3) dla określenia mas frakcji.

5. W y n i k i b a d a ń

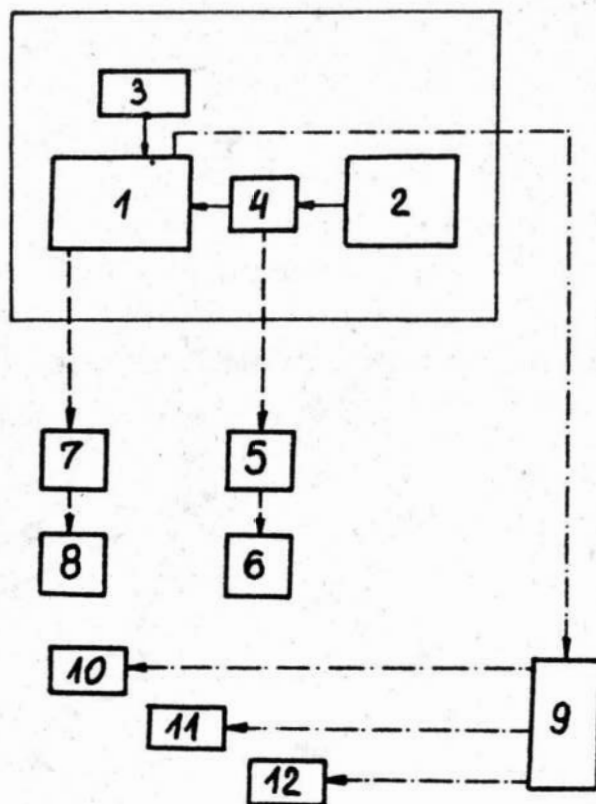
Rezultaty badań przedstawiono na rysunku 2 w układzie:
moment rozdrabniający, konduktancja elektryczna, lepkość, sztyw-
ność oraz tłumienie mechaniczne w funkcji stopnia rozdrobnienia
(czasu). Z przebiegów zmian wynika, że ze wzrostem stopnia
rozdrabniania:

- monotonicznie maleje moment rozdrabniania,
- prawie wykładniczo wzrasta konduktancja elektryczna,
- intensywnie maleje lepkość,
- sztywność i tłumienie mechaniczne zwiększają się osiągając
maksimum, a następnie mają.

Przedstawiony charakter zmian właściwości materiału wraz z jego rozdrobnieniem wskazuje, że moment rozdrabniania i konduktancja elektryczna mogą być wykorzystane do pomiaru stopnia rozdrobnienia. Tym samym istnieje możliwość zastąpienia żmudnej analizy sitowej dla określania uziarnienia. Oczywiście dla każdego materiału istnieje konieczność cechowania przyrządów.

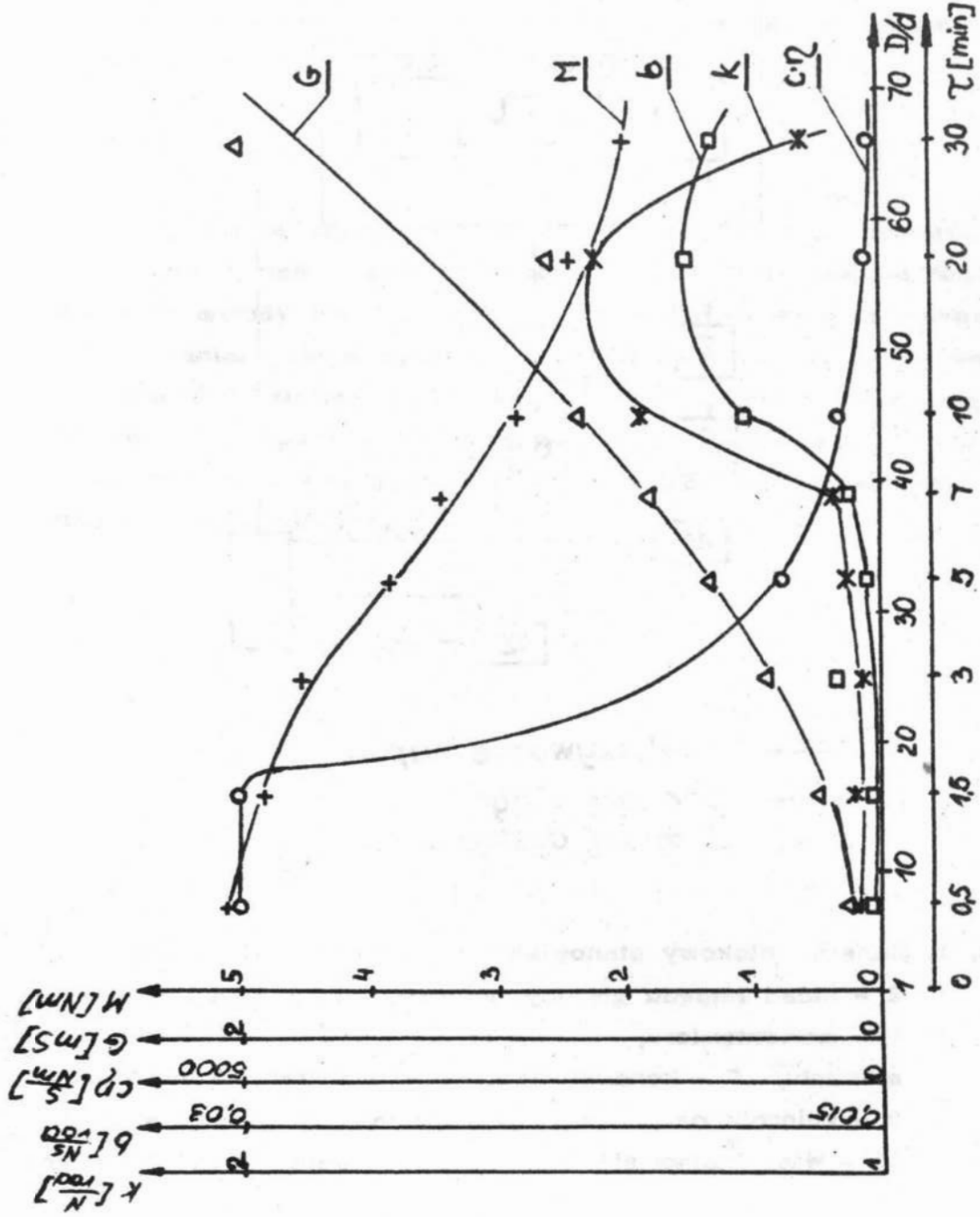
6. W n i o s k i

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że spośród przebadanych najbardziej przydatne do określania stopnia rozdrobnienia są metody pomiaru konduktancji elektrycznej oraz momentu rozdrabniania. Obie w sposób prosty i szybki umożliwiają wyznaczenie wielkości uziarnienia. Dla konkretnych materiałów wymagają one odrębnego cechowania. Na podkreślenie zasługuje fakt, że pomiary te wykonywać można w sposób ciągły w trakcie rozdrabniania, co stanowi ich istotną zaletę.



- > *przekazywanie napędu*
 - - - - -> *pomiary ciągłe*
 - · - · -> *pomiary dyskretne*

Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego: 1 - kuter, 2 - układ napędu głowicy nożowej, 3 - układ napędu misy, 4 - momentomierz, 5 - wskaźnik momentu, 6 - rejestrator momentu, 7 - konduktometr, 8 - rejestrator konduktancji, 9 - zbiornik na próbki, 10 - zestaw do analizy siłowej, 11 - wiskoelastometr "Sarez", 12 - penetrometr Høeplera



Rys. 2. Zależność stopnia rozdrobnienia (D/d) buraków w funkcji momentu rozdrabniania (M), kondukcyjności elektrycznej (G), lepkości (η) oraz sztywności i tłumienia mechanicznego (k, b)

L i t e r a t u r a

1. Analiza sitowa. Wytyczne wykonania. PN-C-04501/71.
2. Diakun J., Tesmer R., Owczarzak J.: Badania podzespołów roboczych kutrów i wilków do mięsa. Opracowanie zlecenie dla Zakładów Wytwórczych Maszyn Spożywczych i Urządzeń Gastronomicznych "Spomasz" w Żarach. WSIŃ. Koszalin 1981.
3. Maceluch J., Milanowski J.: O możliwościach pomiarów lepkosprężystych właściwości materiałów zwłaszcza spożywczych z wykorzystaniem wiskoelastometru "Sarez"; Prace Instytutu Budowy Maszyn. Zeszyty Naukowe WSIŃ. Koszalin, Nr 3/BM Koszalin 1980.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań przydatności wybranych metod pomiarowych do określania stopnia rozdrobnienia materiałów żywnościowych o dużej zawartości wody i skorelowania ich z metodą analizy sitowej. Do realizacji zaproponowano metodę pomiaru konduktancji elektrycznej oraz momentu rozdrabniającego.

Summary

Methods for determination of crumble degree in food materials

In the paper there are presented investigations of using some indirect methods for measurements of crumble degree of food materials having large water contents and their correlation with wet sieve analysis method. The electrical conductivity method and mechanical crumble moment method are proposed for realization of the measurements.

Содержание

Методы определения степени дробления пищевых материалов

В работе представлены результаты исследований пригодности избранных измерительных методов для определения степени дробления пищевых материалов с большим содержанием воды и скорелирование их с гранулометрическим методом. Для реализации этой цели предположено использовать методы измерения электрической кондуктанции и момента дробления.

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego,

OCENA SPRAWNOŚCI ROZDZIAŁU UKŁADÓW NIEJEDNORODNYCH

Jarosław Diakun

1. W p r o w a d z e n i e

Rozdzielanie układów niejednorodnych jest jedną z operacji technologicznych szeroko stosowanych w różnych dziedzinach przemysłu, zwłaszcza chemicznego i spożywczego. W każdej operacji jest wymagana często jej jakościowa ocena. Dąży się do tego, aby ocenę taką można było określić ilościowo w pewnej skali wartości liczbowych. W przypadku oceny sprawności rozdziału układu niejednorodnego na składniki, najczęściej stosuje się system oceny w skali od 0 do 1, lub od 0 % do 100 %. Oznacza to, że liczbie zero odpowiada po wykonaniu operacji rozdziału stan początkowy czyli materiał nie poddał się procesowi rozdziału. Liczbie 1 (lub wartości 100%) odpowiada idealne rozdzielanie materiału na składniki. Ocena sprawności rozdziału jest stosowana do określenia jakościowego przebiegu operacji procesu technologicznego oraz przydatności i poprawności pracy urządzenia. Ocena wyrażona w wartościach liczbowych pozwala na obiektywne określenie sprawności pracy oraz na porównanie sprawności pracy różnych systemów i maszyn.

Powszechnie stosowaną metodą oceny jakości rozdziału jest określenie sprawności wydzielenia z mieszaniny jednego ze składników przez podanie stosunku masy wydzielonego składnika do masy tego składnika zawartego w mieszaninie [2, 3, 4]. Tak określona liczbowo sprawność rozdziału pozwala na ocenę procesu w skali od 0 do 1 lub od 0 % do 100 %. Ocena ta nie uwzględnia jednak w pełni wieloaspektowości procesu rozdziału.

Parametr ten określa właściwie tylko stopień wydzielenia jednego ze składników mieszaniny. Taka jednoparametrowa i jednostronna ocena jest niekiedy niewystarczająca. Oprócz sprawności wydziele-

nia składnika istotnym kryterium oceny może być czystość lub stopień zanieczyszczenia wydzielonej frakcji, straty wynikłe z pojawienia się oddzielnego składnika w innych frakcjach.

Może istnieć potrzeba określenia zespolonej sprawności rozdziału na kilka frakcji lub też określenia jednym parametrem procesu rozdziału z uwzględnieniem różnych kryteriów jednocześnie. Pewne dodatkowe elementy oceny wprowadzono w podręczniku [2], gdzie oprócz parametru nazwanego sprawnością siła (określonego tu już sprawnością rozdziału) wprowadza się i określa pojęcie: "współczynnik niedosiewu". Jest to stosunek masy składnika wydzielanego, który nie znalazł się we właściwej frakcji, do masy tego składnika w mieszaninie. Jest to właściwie ocena stopnia strat. Wiele parametrów określających sprawność rozdziału mieszaniny przedstawiono w pracy [1]. Oprócz parametru nazwanego współczynnikiem efektywności rozdziału i obrazującego stopień wydzielenia zanieczyszczeń określono, współczynnik precyzji rozdziału (oceniającego stopień strat właściwego składnika w zanieczyszczeniach) oraz parametr nazwany sprawnością rozdzielczą (określa jaką część właściwego składnika udało się wydzielić). Wprowadzono również dwie różne metody określenia parametru oceniającego jednocześnie sprawność wydzielenia składnika oczekiwanego oraz zanieczyszczeń. Jednak budowa wzorów w oparciu, o które wylicza się te współczynniki jest taka, że w jednym wypadku zarówno dla sytuacji złego jak i bardzo dobrego (idealnego) wydzielenia składnika oczekiwanego parametr przyjmuje wartość 0, zaś według drugiej metody ze wzoru obliczeniowego otrzymać można wartość w granicach od -1 do +1 (trudne do porównań i interpretacji),

Oddzielnym zagadnieniem jest ocena sprawności rozdziału ze względu na skład wydzielonej s procesie rozdziału frakcji. Istotnym tu może być np. skład granulometryczny - jak w przypadku wydzielenia pyłu z powietrza lub jak w przypadku oczyszczania emulsji szlifierskiej - skład jakościowy (drobiny metalowe ferromagnetyczne i nieferromagnetyczne, elementy ziaren i lepiszcza tarcz ściernych) pozostające w emulsji po oczyszczeniu nie wydzielonego zanieczyszczenia. Pełna ocena sprawności rozdziału ze względu na to kryterium podana jest w pracy [2].

W ramach dalszej części pracy przedstawiony zostanie system, który powinien pozwolić wieloaspektowo i w sposób spójny określić

sprawność wielofrakcyjnego rozdziatu mieszaniny.

2. System oceny rozdziatu układu niejednorodnego

Przy opracowaniu systemu przyjęto założenia:

- ocena sprawności rozdziatu jest określana w skali obejmującej przedział wartości od 0 do 1,
- możliwa powinna być ocena sprawności rozdziatu uwzględniająca różne kryteria spójnie ze sobą powiązane,
- system powinien umożliwiać wieloaspektową ocenę procesu rozdziatu za pomocą jednego współczynnika zintegrowanego,
- możliwa powinna być ocena rozdziatu mieszaniny wieloskładnikowej,
- nazwą "składnik" będzie się określać jednolitą ze względu na przyjęte kryterium część składu mieszaniny, którą zamierza się wydzielić w procesie rozdziatu; np. gdy mieszanina ma być rozdzielona na klasy ziarnowe, to składniki będą poszczególne klasy ziarnowe (wydzielone idealnie), w innym przypadku mieszanina może być zbiorem materiału podstawowego (pozytywnego) stanowiącego jeden składnik i zanieczyszczeń będących drugim składnikiem; tak więc pojęcie składnika związane jest z tym, jaki cel stawia się procesowi rozdziatu (na jakie części składniki zamierza się podzielić mieszaninę); w dalszym tekście wielkości dotyczące składników będą oznaczane indeksami u dołu, np. m_2 - masa drugiego składnika,
- nazwą frakcja będzie się określać części mieszaniny otrzymane po rozdziale; frakcji jest więc odpowiednio tyle, na ile grup podzielona została mieszanina w procesie rozdziatu; w dalszej części pracy wielkości dotyczące frakcji będą oznaczone indeksami u góry np. k_c^2 - współczynnik czystości drugiej frakcji.

Niech masa całkowita mieszaniny m będzie sumą n składników o masach m_p ($p = 1, 2, \dots, n$). Udział masowy dowolnego składnika wyraża się zależnością

$$b_p = \frac{m_p}{m} \quad (1)$$

W procesie rozdziału mieszanina zostaje podzielona na n frakcji, których masy wynoszą m^q ($q = 1, 2 \dots n$). Gdyby nastąpiło idealne rozdzielanie mieszaniny, to w każdej wydzielonej frakcji występowałby tylko jeden składnik. Przykładowo frakcji $(-^i)$ odpowiadałby składnik $(-^i)$. Składnik $(-^i)$ nie wystąpiłby wtedy w innych frakcjach. Dla każdej frakcji i składnika można by zatem zapisać równość mas

$$m_i^i = m_i = m^i, \quad (2)$$

gdzie: m_i^i - masa składnika $(-^i)$ we frakcji $(-^i)$

W rzeczywistości rozdział następuje z pewną sprawnością zwykle nie idealną. Poszczególne frakcje nie są czyste i zawierają oprócz składnika oczekiwanego w danej frakcji $(-^i)$ również inne składniki będące zanieczyszczeniami $(-^p)$, (przy czym składnikiem $(-^p)$ jest tu każdy z wyjątkiem i -tego). Składnik $(-^i)$ może również wystąpić w innych frakcjach $(-^q)$ (tu q różne od i). Stanowi to straty tego składnika. Sprawność wydzielenia i -tego składnika oczekiwanego w i -tej frakcji można ocenić poprzez określenie następujących współczynników:

- współczynnik wydzielenia składnika, będący stosunkiem masy wydzielonego w i -tej frakcji i -tego składnika do masy całkowitej składnika $(-^i)$ w mieszaninie

$$k_{wi} = \frac{m_i^i}{m_i}, \quad (3)$$

- współczynnik czystości frakcji, będący udziałem masowym i -tego składnika w i -tej frakcji

$$k_c^i = \frac{m_i^i}{m^i}, \quad (4)$$

- współczynnik zanieczyszczenia frakcji, będący stosunkiem mas nieoczekiwanych składników we i -tej frakcji do masy tej frakcji

$$k_{si} = \frac{m_1^i + m_2^i + \dots + m_{i-1}^i + m_{i+1}^i + \dots + m_n^i}{m^i} = \frac{\sum_{p=1, p \neq i}^{p=n} m_p^i}{m^i} \quad (5)$$

- współczynnik strat składnika, będący stosunkiem sumy mas i -tego składnika w innych frakcjach (oprócz i -tej) do masy składnika $(-^i)$

mieszaniu

$$k_{si} = \frac{m_i^1 + m_i^2 + \dots + m_i^{i-1} + m_i^{i+1} + \dots + m_i^n}{m_i} = \frac{\sum_{q=1, q \neq i}^{q=n} m_i^q}{m_i} \quad (6)$$

Między współczynnikami wydzielania i strat oraz czystości i zanieczyszczeń występują związki:

$$\begin{aligned} k_{wi} &= 1 - k_{si} \quad , \\ k_c^i &= 1 - k_z^i \quad . \end{aligned} \quad (7)$$

Współczynniki wydzielania oraz strat dotyczą oceny sprawności rozdziału ze względu na składnik (odpowiednie indeksy umieszczone u dołu), zaś współczynniki czystości i zanieczyszczeń ze względu na frakcję (odpowiednie indeksy umieszczone u góry).

Współczynniki wydzielania składnika i czystości frakcji określają proces rozdziału w aspekcie pozytywnym (większe wartości współczynników oznaczają sprawniejszy rozdzielanie), natomiast współczynniki strat składnika i zanieczyszczeń frakcji określają proces w aspekcie negatywnym (większe wartości współczynników, to gorzej prowadzony proces rozdzielania). Przedstawione wzory pozwalają przeprowadzić ocenę wydzielania dowolnego składnika w dowolnej frakcji.

Do oceny procesu rozdzielania można wykorzystać jeden ze współczynników zależnie od potrzeb. Jeżeli istotne jest, aby w procesie rozdzielania wydzielić maksymalną ilość określonego (np. cennego) składnika, celowa jest ocena współczynnikiem wydzielania lub strat. W przypadku gdy dążymy do otrzymania możliwie czystej frakcji, należałoby oceniać proces rozdzielania współczynnikiem czystości lub zanieczyszczeń.

Przedstawione współczynniki:

- wydzielania składnika k_{wi} ,
- czystości frakcji k_c^i ,
- strat składnika k_{si} ,
- zanieczyszczenia frakcji k_z^i .

są parametrami prostymi oceniającymi jednoaspektowo proces rozdziału. Konieczna jest niekiedy wielostronna ocena i przedstawione wyżej parametry są niewystarczające. Wprowadzić należy do takiej oceny wartości określające zależnie od potrzeb wielostronnie proces.

Może istnieć potrzeba oceny jednym parametrem rozdziału ze względu na wydzielenie wszystkich składników mieszaniny. Nieprzydatnym jest w tym przypadku parametr uogólniony, który byłby iloczynem współczynników oceniających poszczególne składniki lub frakcje, gdyż zerowanie się jednego z nich powodowałoby zerowanie się parametru uogólnianego. Ocenę taką można wyrazić za pomocą zespolonego współczynnika będącego średnią arytmetyczną. Odpowiednio więc określili się:

- uogólniony współczynnik wydzielenia składników

$$k_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} k_{wi} \quad , \quad (8)$$

- uogólniony współczynnik czystości frakcji

$$k_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} k_c^i \quad , \quad (9)$$

- uogólniony współczynnik strat składników

$$k_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} k_{si} \quad , \quad (10)$$

- uogólniony współczynnik zanieczyszczeń frakcji

$$k_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} k_z^i \quad . \quad (11)$$

Tak określone uogólnione współczynniki spełniają równania (7).

Współczynniki wydzielenia składnika oraz czystości frakcji oceniają w sensie pozytywnym wydzielenie składnika we frakcji. Jeżeli obydwa aspekty oceny są równoznaczne, można wprowadzić parametr zespolony. Nazwijmy go sprawnością wydzielenia składnika we frakcji i określmy jako średnicę arytmetyczną współczynników

$$\eta_i = \frac{k_{wi} + k_c^i}{2} \quad . \quad (12)$$

Może wystąpić potrzeba oceny sprawności, w której jeden z aspektów (np. czystość frakcji) jest istotniejszy od drugiego stopnia wydzielenia składnika.

Określmy w takim przypadku sprawność wydzielenia składnika we frakcji wyrażeniem

$$\eta_i = \frac{(2-w)k_{wi} + w k_c^i}{2}, \quad (13)$$

gdzie: w - parametr przyjmujący wartość w granicach od 0 do 2. Taka budowa wzoru (13) pozwala na zróżnicowanie wpływu współczynników na wartość sprawności zależnie od przyjętej wartości współczynnika w . Jednocześnie otrzymane wartości sprawności mieszczą się w przedziale od 0 do 1, a zatem zachowują sens fizyczny. Dla $w = 1$, występuje równoważność współczynników i wzór (13) przejmie postać wzoru (12). Zgodnie ze wzorem (13) trudno jest jednak określić sens fizyczny parametru w . Wprowadźmy nowy parametr istotności określony wzorem

$$i_c = \frac{w}{2-w}, \quad (14)$$

którym określił się, ile razy istotniejszy jest współczynnik czystości frakcji od współczynnika wydzielenia składnika. Parametr ten może przyjmować wartość od 1 (dla równoważności współczynników) do nieskończoności (dla bardzo dużej istotności współczynnika czystości frakcji). Określając ze wzorem (14) parametr w oraz po podstawieniu go do wyrażenia (13) otrzymamy:

$$\eta_i = \frac{k_{wi} + i_c k_c^i}{1 + i_c}. \quad (15)$$

Podobnie w przypadku większej istotności współczynnika wydzielenia składnika od współczynnika czystości frakcji wprowadzamy parametr istotności i_w , a wzór na sprawność wydzielenia składnika z frakcji przyjmie postać

$$\eta_i = \frac{i_w k_{wi} + k_c^i}{1 + i_w}. \quad (16)$$

Przykładowo składnik został wydzielony z mieszaniny ze współczynnikiem $k_w^i = 0,8$ we frakcji o współczynniku czystości $k_c^i = 0,6$. Sprawność wydzielenia składnika z frakcji przy równoważności współczynników ($i_c = i_w = 1$) wynosi $\eta_i = 0,70$. W przypadku gdy trzykrotnie istotniejsza jest czystość frakcji ($i_c = 3$), nastąpiło wydzielenie tego składnika we frakcji ze sprawnością $\eta_i = 0,65$, natomiast przy trzykrotnie istotniejszym współczynniku wydzielenia ($i_w = 3$) sprawność wynosi $\eta_i = 0,75$.

W oparciu o przedstawione wzory możliwe jest określenie sprawności wydzielenia dowolnego składnika ($-^p$) w dowolnej frakcji ($-^q$), który oznaczyć można symbolem $\eta^{q,p}$. Pozwala to porównać sprawność wydzielenia składnika w różnych frakcjach i przy danej technice rozdziału wyznaczyć frakcję optymalną dla określonego składnika.

Jeżeli celem operacji rozdziału jest wydzielenie kilku składników to znając optymalne sprawności wydzielenia poszczególnych składników sprawności ogólną rozdziału mieszaniny można określić wzorem

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \eta_i \quad (17)$$

3. W n i o s k i

Zaproponowany system oceny rozdziału mieszaniny przedstawia do dyspozycji wiele parametrów za pomocą, których określić można sprawność procesu. Możliwy jest dobór parametru zależnie od tego w jakim aspekcie oceniany ma być proces rozdziału. Możliwa jest jednoaspektowa i wieloaspektowa ocena. Zaproponowany system oceny jest systemem zwartym, w którym określone są relacje między poszczególnymi parametrami.

Literatura

1. J. Grochowicz, Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion
PWRiL, Warszawa 1971.
2. Juda J., Nowicki M., Urządzenia odpylające, WNT Warszawa
1979 r.
3. P. Lewicki, Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożyw-
czego, WNT, Warszawa 1982
4. W.N. Stonikow, Procesy i aparaty w przemyśle spożywczym,
WNT, Warszawa 1978.

Streszczenie

Sprawność rozdziału układu niejednorodnego na składniki może być oceniana ze względu na różne kryteria uwzględniające: ilość wydzielonego składnika, czystość otrzymywanych frakcji, straty składników lub stopień zanieczyszczenia. Może występować również potrzeba równoczesnego uwzględnienia kilku kryteriów. W artykule przedstawiono system umożliwiający taką wieloaspektową ocenę procesu rozdziału mieszanin.

Kurzfassung

Anschätzung des Verleitungs-Wirkungsgrad der Mischung

Der Verleitungs-Wirkungsgrad der Mischung auf den Komponenten kann man in Ansehung auf verschiedenen Kriterium abschätzen, die berücksichtigen: Menge abgrsonderten Komponenten, Reichligkeit empfangenen Fraktionen, Komponentenverlusten oder Verunreinigungsgrad. Man kann auch der Bedarf gleichzeitig der Berücksichtig vielen Kriterium bestehen. Es ist im Artickl die Methode beigebracht geworden, die ermöglicht solche Vielenkriteriumabaschätzung.

Оценивание полезности действия раздела смесей

Содержание

Полезность действия раздела смесей на составляющие можно оценивать по критериям: количества выделения составляющей, чистоту полученной фракций, потеря составляющей либо ступень засорения. Может выступить потребность учитывать несколько критерий одновременно. В стати представлено систему по которой можно вести такую многоаспектную оценку.

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego,

SZYBKOSĆ HOMOGENIZACJI CIECZY W MIESZALNIKU PERIODYCZNYM

Grzegorz Radomski, Władysław Tarasewicz

1. W s t ę p

Pod pojęciem mieszania najogólniej rozumie się proces intensyfikowania w środowisku płynnym naturalnych ruchów konwekcyjnych. Wywołuje się tam prądy i wiry, które powodując wzajemne przemieszczanie się i przenikanie sąsiadujących warstw, podnoszą przenoszenie ciepła i masy i w konsekwencji prowadzą do ujednorodnienia mieszaniny.

Periodyczne homogenizowanie cieczy jest szeroko stosowane w przemyśle spożywczym i pokrewnych. Racjonalne jego prowadzenie wymaga ilościowej kontroli przebiegu, poprzez jednoznaczne określenie stanu wymieszania i szybkości dochodzenia do niego.

W dostępnej literaturze nie natrafiono na ilościowy opis intensywności homogenizacji cieczy. Niniejsza praca jest próbą ujęcia szybkości homogenizacji trzech podstawowych mieszadeł (łapowego, turbinowego i śmigłowego), której znajomość pozwoli określić czas ujednorodnienia do ściśle określonego stanu.

2. D e f i n i c j a s t a n u w y m i e s z a n i a

Ujednorodnianie mieszaniny jakościowo sprawdza się lokalnie wartościami dowolnej jej własności. W mieszaniu zhomogenizowanej idealnie poszczególne własności są w każdym punkcie jednakowe, jako skutek równomiernego w całej masie rozmieszczenia jej składników. Ilościowo stan wymieszania definiowany jest stopniem (η) określającym stosunek rozprządzenia wzajemnego dwu lub więcej substancji do stanu rozprządzenia idealnego, osiągniętego po doskonałym wymieszaniu układu [3]. Według [2] stopień wymieszania

(η) wyrażany jest formą

$$0,01\eta = 1 - \delta, \quad (1)$$

która przyjmuje różne postacie zależnie od sposobu wyrażenia względnego odchylenia (δ) od całkowitego ujednorodnienia.

Bardzo często stosuje się jego postać

$$0,01\eta = 1 - \frac{|r - \bar{r}_A|}{\sqrt{A}} = 1 - \frac{|C_i - \bar{C}|}{\bar{C}} = - \frac{|\overline{R_\tau - R_o}|}{R_o} \quad (2)$$

gdzie:

R_τ - wartość cechy mieszaniny rzeczywistej po czasie τ ,

R_o - wartość cechy mieszaniny wzorcowo wymieszanej.

Osiąga ona wartość 1 (100%), gdy $R_\tau = R_o$. Natomiast $\eta = 0$ może przyjąć w szczególnym przypadku - gdy $(R_\tau)_p = 2R_o$, to znaczy, że cecha mieszaniny rzeczywistej na początku równa się po-dwojonej cesze mieszaniny idealnej. Dla wszystkich innych ($(R_\tau)_p \neq 2R_o$), η jest tym samym zależna od wartości R_o i nie może stanowić jednoznacznego kryterium wymieszania.

Inną definicją stopnia wymieszania jest wyrażenie ze stosunku kwadratów różnicy odchyień:

$$0,01\eta = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_o^2} = 1 - \frac{|\overline{R_\tau - R_o}|^2}{|\overline{R_p - R_o}|^2} \quad (3)$$

Obejmuje ona cały obszar możliwych zmian stanu wymieszania, a przyjmuje 0, gdy $R_\tau = R_p$ lub 1, gdy $R_\tau = R_o$.

Według definicji zastosowanej dla mieszania w przepływie [9], stan wymieszania określa się stopniem zmniejszenia początkowej różnicy uśrednionej po przekroju obserwowanej własności w mieszaniu rzeczywistej (R_p) i wzorcowo zhomogenizowanej (R_o), co odpowiada formie:

$$0,01\eta_m = \frac{|\overline{R_p - R_o}| - |\overline{R_\tau - R_o}|}{|\overline{R_p - R_o}|} = 1 - \frac{|\overline{R_\tau - R_o}|}{|\overline{R_p - R_o}|} \approx \frac{|\overline{R_p - R_\tau}|}{|\overline{R_p - R_o}|} \approx \left| \frac{R_\tau}{R_o} \right| \quad (4)$$

gdzie η_m [%] - procentowy stopień wymieszania. W mieszaniu pericydycznym stosuje się uśrednienie po objętości; stąd:

$$|\overline{R_p - R_o}| = \sum |R_p - R_o| \frac{\Delta V}{V} - \text{moduł różnicy wartości obser-}$$

wowanej własności mieszaniny rzeczywistej i wzorcowej na początku procesu,

$-\overline{|R_{\tau} - R_o|} = \sum |R_{\tau} - R_o| \frac{\Delta V}{V}$ - moduł różnicy wartości obserwowanej własności w mieszaninach : rzeczywistej i wzorcowej po czasie τ .

Tak przedstawiony stopień jedną skalą obejmuje cały zakres możliwych zmian: od zupełnego niewymieszania na początku - $0,01 \eta_m = 0$, gdy $R_{\tau} = R_p$, do całkowitego ujednorodnienia mieszaniny - $0,01 \eta_m = 1$, gdy $R_{\tau} = R_o$. Konkretna wartość (η_m) wskazuje, że w objętości mieszaniny rzeczywistej średnie odchylenie od wzorcowo wymieszanej równa się [7]:

$$|\overline{R_{\tau} - R_o}| = |\overline{R_p - R_o}| (1 - 0,01 \eta_m) \approx \pm R_o (1 - 0,01 \eta_m), \quad (5)$$

lub, że średnia wartość obserwowanej własności wynosi:

$$\begin{aligned} R_{\tau} &= |\overline{R_p - R_o}| (1 - 0,01 \eta_m) + R_o \approx \pm R_o (1 - 0,01 \eta_m) + R_o \approx \\ &\approx R_o [1 + (1 - 0,01 \eta_m)], \end{aligned} \quad (6)$$

albo względna wobec wzorcowej wartość obserwowanej własności;

$$\frac{\overline{R_{\tau}}}{R_o} \approx 1 \pm (1 - 0,01 \eta_m), \quad (7)$$

czyli zmienia się w przedziale:

$$0,01 \eta_m \leq \frac{\overline{R_{\tau}}}{R_o} \leq (2 - 0,01 \eta_m). \quad (8)$$

Przybliżenia mogą być stosowane jedynie przy wysokim stanie ujednorodnienia ($\eta_m \rightarrow 1$). Formy pełne odpowiadają zmianom w całym zakresie skali od 0 do 100 %.

Porównując ze sobą kryteria wymieszania (3) i (4) można wykazać, że:

$$0,01 \eta_m = 1 - \frac{|\overline{R_{\tau} - R_o}|^2}{|\overline{R_p - R_o}|^2} = 1 - (1 - 0,01 \eta_m)^2, \quad (9)$$

lub

$$0,01 \eta_m = 1 - \frac{|\overline{R_{\tau} - R_o}|}{|\overline{R_p - R_o}|} = 1 - \sqrt{\frac{|\overline{R_{\tau} - R_o}|^2}{|\overline{R_p - R_o}|^2}} = 1 - \sqrt{1 - 0,01 \eta_m}. \quad (10)$$

W związku z tym, przy porównaniu wyników mieszania należy pamiętać, jaką metodą oznaczano stan homogenizacji. Przykładowo 99 % wymieszanie według kryterium η odpowiada 90 % η_m , kiedy to w mieszaninie odchylenie od wzorcowego wymieszania wynosi $100 - 90 = 10$ %.

Z formy Chudzikiewicza [1], (2) w ogóle trudno odczytać wielkości odchylenia, gdy $(R)_p \neq 2R_0$ (co bywa najczęściej), gdyż nie rozpoczyna się od 0.

W niniejszej pracy do oceny stanu wymieszania wykorzystano kryterium (4) stanowiące jednoznaczny miarę wymieszania.

3. Szybkość zmiany stanu wymieszania

Szybkość ujednorodniania cieczy w mieszalniku periodycznym, czyli zmiana niejednorodności w czasie jest proporcjonalna do chwilowej niejednorodności

$$\frac{d(1-0,01\eta_m)}{d\tau} = -k_1(1-0,01\eta_m) \quad (11)$$

Całkowanie

$$\int_{\eta_m=0}^{\eta_m} \frac{d(1-0,01\eta_m)}{(1-0,01\eta_m)} = -k_1 \int_{\tau=0}^{\tau} d\tau \quad (12)$$

prowadzi do:

$$\ln(1-0,01\eta_m) = -k_1\tau, \quad (13)$$

co daje:

$$(1-0,01\eta_m) = e^{-k_1\tau} \quad (14)$$

Wykładnicze równanie zmiany niejednorodności odpowiada funkcji [5], [8]:

$$1-M = e^{-k\tau}, \quad (15)$$

gdzie: M - stopień wymieszania,

τ - czas mieszania,

k - współczynnik proporcjonalności.

Wykres w układzie $\lg(1-0,01 \eta_m) = f(\tau)$ jest linią prostą o nachyleniu $k = (\lg \frac{1}{1-0,01 \eta_m}) / \tau$. Współczynnik proporcjonalności k jest współczynnikiem szybkości, zwanym intensywnością mieszania — im on jest większy, tym krótszy jest czas osiągnięcia tego samego stopnia wymieszania; wyraża zmniejszenie niejednorodności na jednostkę czasu i detreminowany jest parametrami procesu.

Znając wartość k , można określić czas potrzebny na przeprowadzenie ściśle określonego stanu ujednorodnienia:

$$\tau = \frac{\lg \frac{1}{1-0,01 \eta_m}}{k} \quad (16)$$

W literaturze czas mieszania zwykle jest przedstawiony liczbą kryterialną [2], [4], [6]

$$\tau_m \cdot n = C = \text{const}, \quad (17)$$

zwaną liczbą przemieszczenia (określa czas mieszania do bliżej nieokreślonego stanu), przy czym wartość C zależy głównie od rodzaju mieszadła.

W celu znalezienia funkcji na szybkość homogenizacji, a ściślej współczynnika k , pomierzono zmiany w czasie stanu wymieszania w mieszalniku laboratoryjnym z mieszadłem łopowym, turbinowym i śmigłowym (rys.1), o zróżnicowanych prędkościach obrotu i wysokościach wypełnienia zbiornika. Procesowi podlegały dwie cieczki: woda i wodny roztwór soli. Do pomiaru własności mieszaniny stosowano metodę konduktometryczną. Stopień wymieszania wyznaczono na podstawie definicji (4).

Na rys. 2, 3, 4 przykładowo pokazano zależność zmian stanu wymieszania $\lg(1-0,01 \eta_m) = f(\tau)$ dla mieszadła łopowego, turbinowego i śmigłowego.

Przeprowadzone badania wskazują, że zmiana stopnia wymieszania przebiega w dwóch fazach (rys.5): w fazie pierwszej początkowej, w której jest nieustalone mieszanie rozruchowe z intensywnością k_1 w czasie τ_1 oraz w fazie drugiej, w której jest właściwe mieszanie w warunkach ruchu ustalonego z intensywnością k w czasie $\tau = \tau_m - \tau_1$. Stąd czas mieszania do ściśle określonego stanu wymieszania przedstawia wyrażenie:

$$\tau_{\rho_m} = \tau_1 + \tau = \frac{\lg \frac{1}{1-0,01\rho_m}}{k_1} + \frac{\lg \frac{1-0,01\rho_1}{1-0,01\rho_m}}{k} = \frac{\lg \frac{1}{1-0,01\rho_m}}{k} \quad (18)$$

Wyrażając τ_1 (czas nieustalonego początkowego mieszania rozruchowego) czasem τ_0 mieszania właściwego (ustalonego), dochodzi się do zależności:

$$\tau_0 - \tau_1 - \tau = \tau_0 - \tau_1 (\tau_{\rho_m} - \tau_1) = \tau_0 - \tau_{\rho_m} = \frac{\lg \frac{1}{1-0,01\rho_m}}{k} \quad (19)$$

Stąd:

$$\tau_{\rho_m} = \frac{\lg \frac{1}{1-0,01\rho_m}}{k} - \tau_0 \quad (20)$$

oraz

$$\tau_0 = \frac{\lg \frac{1}{1-0,01\rho_m}}{k} - \tau_{\rho_m} = f(k) \quad (21)$$

Stwierdzono przy tym, że ta funkcyjna zależność odpowiada postaci

$$\tau_0 = A \cdot k^a \quad (22)$$

W ten sposób przebieg homogenizacji mieszaniny daje się zapisać równaniem wykładniczym

$$(1-0,01\rho_m) = e^{-k_1(\tau_{\rho_m} + \tau_0)} \quad (23)$$

gdzie: $k_1 = \frac{\ln \frac{1}{1-0,01\rho_m}}{\tau_{\rho_m} + \tau_0}$ lub $k = \frac{\lg \frac{1}{1-0,01\rho_m}}{\tau_{\rho_m} + \tau_0}$.

Rozwiązanie tego równania, czyli znalezienie czasu τ do określonego stanu wymieszania wymaga znajomości k , a poprzez $k - \tau_0$.

Z analizy wyników wpływ parametrów na współczynnik szybkości homogenizacji k zaznacza się następująco:

$$k = f\left(\frac{L^2 h}{D^2 H}, Re\right) \quad (24)$$

gdzie:

- L - średnica mieszadła,
- h - wysokość mieszadła,
- D - średnica zbiornika,
- H - wysokość cieczy w zbiorniku,

$$\frac{L^2 h}{D^2 H} = \frac{\text{objętość wprawiana w ruch elementem mieszającym}}{\text{objętość wypełnienia zbiornika}}$$

$Re = \frac{nL^2}{\nu}$ - Liczba Reynoldsa, charakteryzująca ruch cieczy w zbiorniku,

n - liczba obrotów,

ν - współczynnik lepkości kinematycznej.

Zależność funkcjonalna daje się przedstawić w postaci zależności potęgowej

$$k = C \cdot \left(\frac{L^2 h}{D^2 H} \right)^a \cdot Re^b \quad (25)$$

Z przebiegu $\lg k_d = f(\lg \frac{L^2 h}{D^2 H})$ i $\lg k_d = f(\lg Re)$ wyznaczono wykładniki potęg a i b, a następnie z zależności na k (25) znaleziono współczynnik C. Ustalono następujące wartości wykładników potęg a i b oraz współczynnika C:

- mieszadło łapowe:

$$a = 1,46 \quad b = 0,74 \quad C = 1,2 \times 10^{-3} [\text{min}^{-1}] = 2 \times 10^{-5} [\text{sek}^{-1}]$$

- mieszadło turbinowe:

$$a = 1,46 \quad b = 0,74 \quad C = 180 \times 10^{-3} [\text{min}^{-1}] = 3 \times 10^{-3} [\text{sek}^{-1}]$$

- mieszadło śmigłowe:

$$a = 1,46 \quad b = 0,74 \quad C = 140 \times 10^{-3} [\text{min}^{-1}] = 2,33 \times 10^{-3} [\text{sek}^{-1}]$$

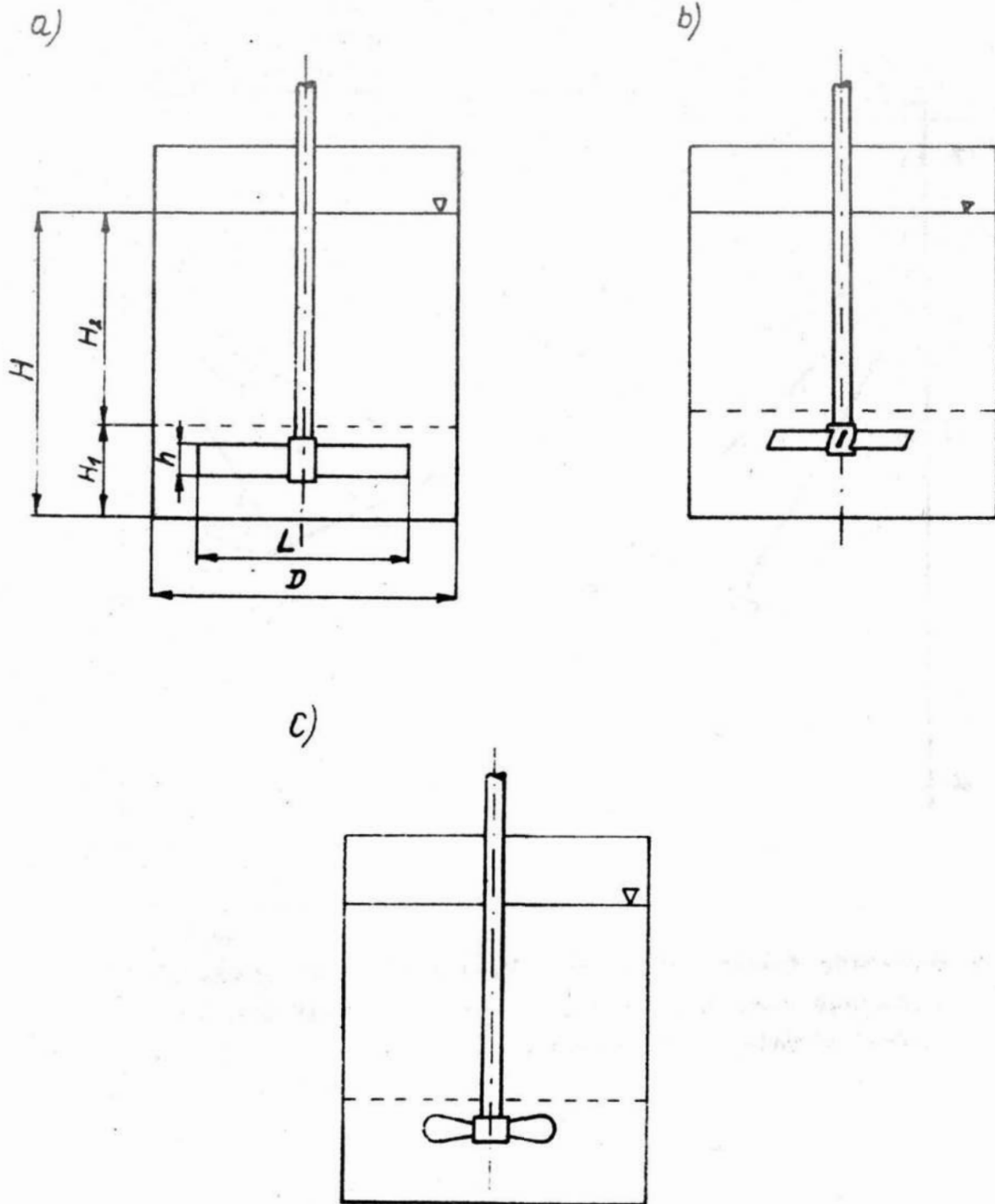
W przebadanym zakresie zmian Re (5000-50000) uzyskano dla trzech podstawowych rodzajów mieszadeł identyczną zależność intensywności k od parametrów, opisywanej tymi samymi wykładnikami potęg, a różnymi współczynnikami C. Stąd wniosek, że C jest miarą konstrukcji mieszadła.

4. W n i o s k i

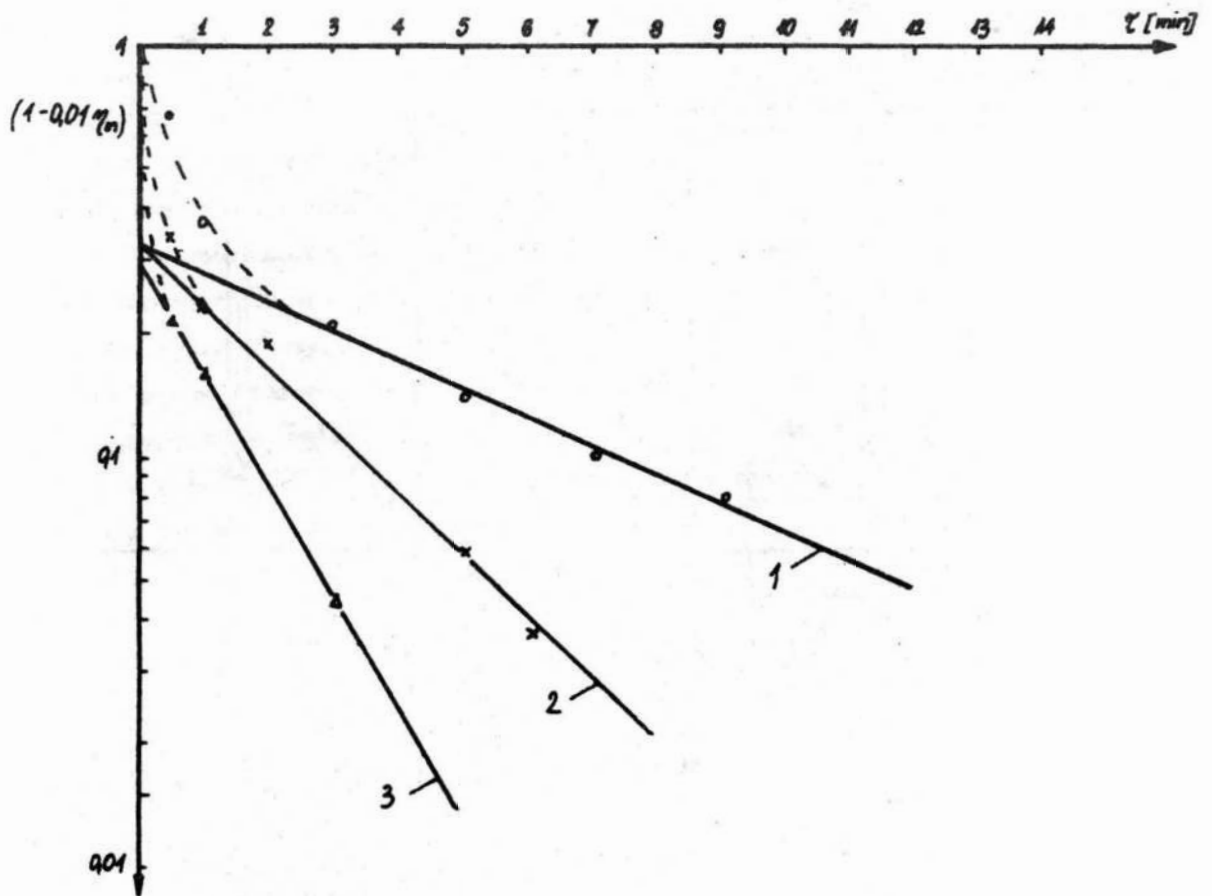
1. Do oceny stanu ujednorodnienia w mieszalniku periodycznym zastosowano wskaźnik wyrażony równaniem (4), obejmujący jedną skalą cały zakres możliwych zmian od zupełnego niewymieszania do pełnego ujednorodnienia.
2. Znalaziona funkcja na współczynnik intensywności (k) periodycznego mieszania oraz na czas (τ_0) pozwala określić czas (τ) homogenizacji płynu do żadanego stanu (η_m) mającego ścisły sens fizyczny.
3. W przebadanym zakresie zmian Re ($5 \times 10^2 - 5 \times 10^4$) współczynniki korelacji a i b są takie same dla trzech podstawowych mieszadeł, natomiast różny jest współczynnik C , charakteryzujący konstrukcję mieszadła.

Wykaz ważniejszych oznaczeń :

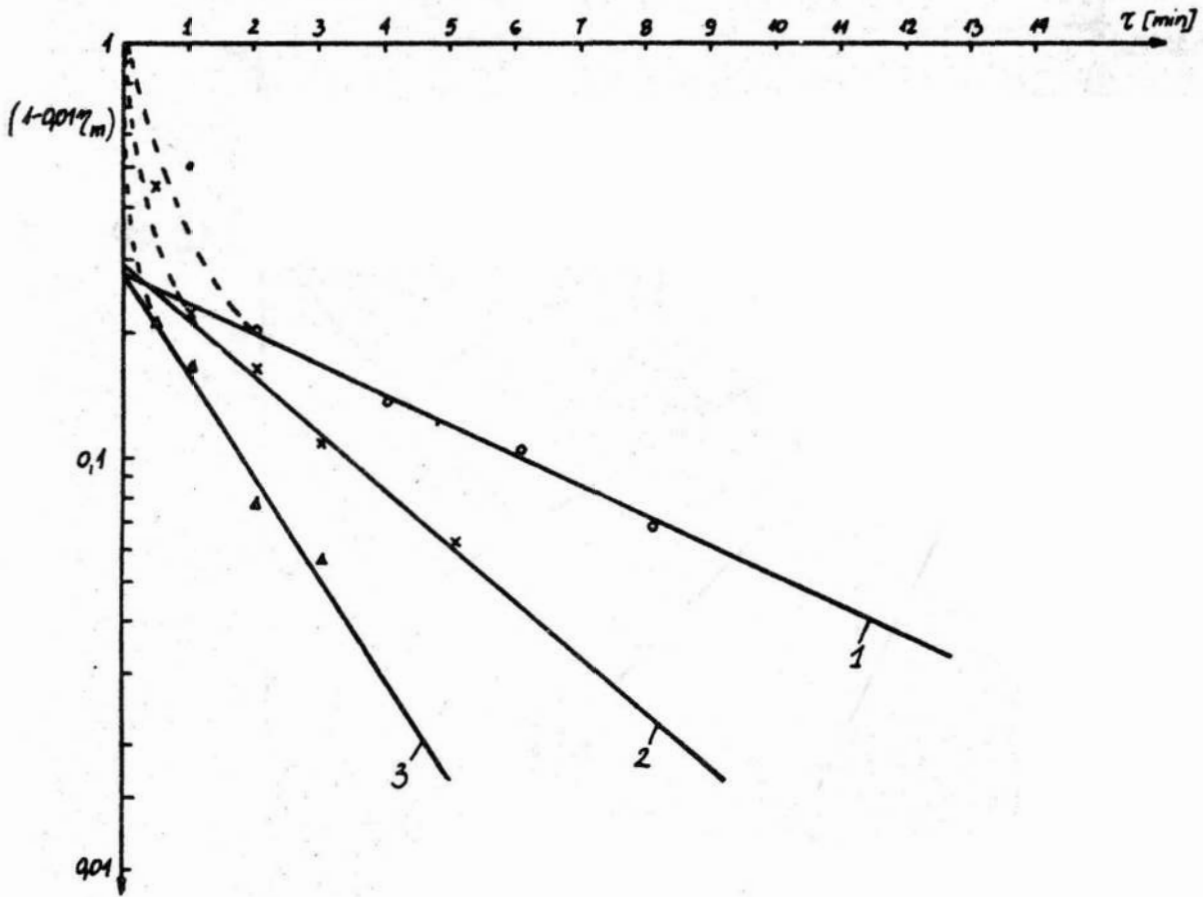
- A, B - współczynniki proporcjonalności,
 a, b, d - wykładniki potęg,
 Ro - wartość cechy mieszaliny doskonale wymieszanej,
 Rp - wartość cechy mieszaliny rzeczywistej na początku procesu,
 $R\tau$ - wartość cechy mieszaliny rzeczywistej po czasie τ ,
 η, η_m - stopień wymieszania,
 ν - lepkość kinematyczna,
 τ_m - czas mieszania do stopnia
 τ_0 - czas mieszania właściwego (ustalonego), równoważący nieustalone mieszanie rozruchowe (początkowe) .



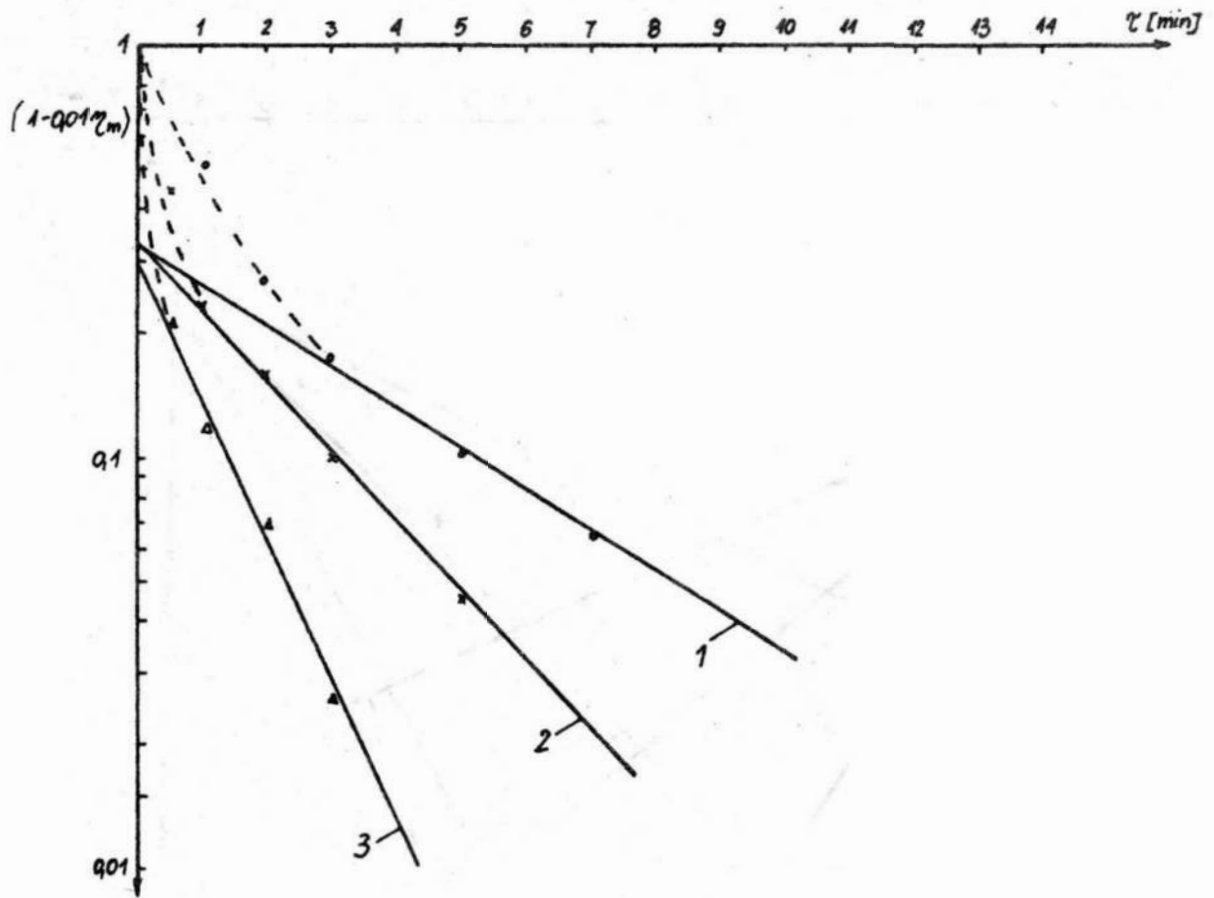
Rys. 1. Schemat mieszalnika z: a - mieszadłem łopowym,
 b - mieszadłem turbinowym, c - mieszadłem śmigłowym.



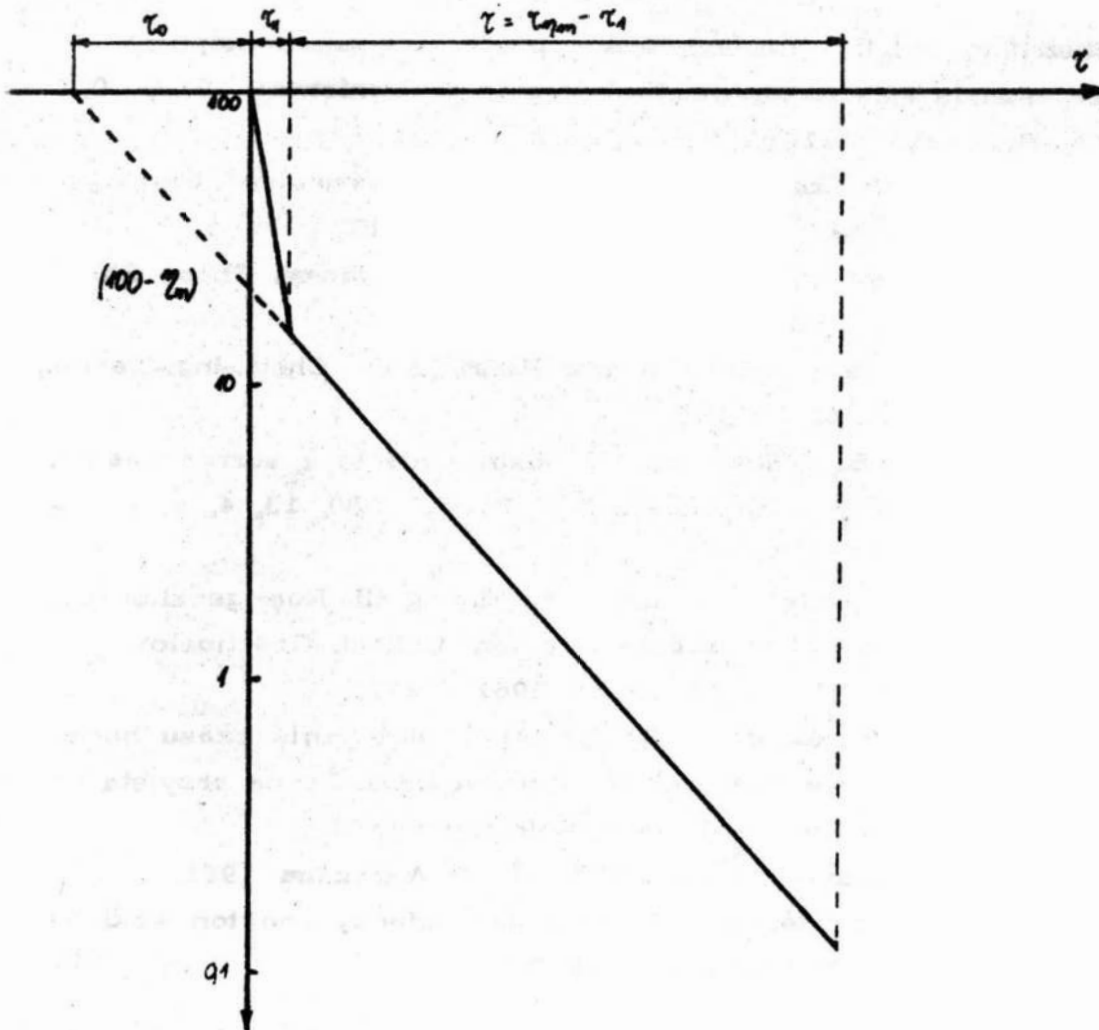
Rys. 2. Wykres zależności $\lg(1-0,01\eta_w) = f(\tau)$ dla mieszadła łopatkowego przy: $h = 51$ mm, $H = 170$ mm, 1-10 obr/min, 2-30 obr/min, 3-60 Obr/min .



Rys. 3. Wykres zależności $\lg(1-0,01\eta_m) = f(\tau)$ dla mieszadła turbiny przy: $h = 14,35$ mm, $H = 210$ mm, 1-30 obr/min, 2-60 obr/min, 3-120 obr/min.



Rys. 4. Wykres zależności $\lg(1-0,01^m) = f(\tau)$ dla mieszadła śmigłowego przy: $h = 21,82 \text{ mm}$, $H = 210 \text{ mm}$, 1-30 obr/min, 2-60 obr/min, 3-120 obr/min.



Rys. 5. Zmiana stopnia wymieszania (η_m) w czasie (τ_m) .

Literatura

1. Chudzikiewicz R.: Współczynnik wariacji jako miara stopnia zmieszania mas formierskich. Przegląd Odlewnictwa, 1960, 10, 7 - 8, s. 212 - 218.
2. Henzler H.J.: Untersuchungen zum Homogenisieren von Flüssigkeiten oder Gasen. VDI-Forschungheft 578, 1978.
3. Hobler T., Stręk F.: Efektywność mieszania cieczy. Chem. Stosowana, 1959, 2, 3, s. 143 - 168.
4. Kipke K.: Offene Probleme in der Ruhrtechnik. Chem.-Ing.-Techn., 1982, 54, 5, s. 416 - 425.
5. Ogawa K., Ito S., Matsumura Y.: Mixing rate in a stirred vessel. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1980, 13, 4, s. 324 - 326.
6. Prochazka J., Landau J.: Studies on mixing, XII. Homogenation of miscible liquids in the turbulent region. Collect. Czechoslov. Chem. Commun., 1961, 26, 12, s. 2961 - 2973.
7. Radomski G., Tarasewicz Wł.: Metodyka określania czasu homogenizacji cieczy w mieszalniku periodycznym. Praca przyjęta do druku w Zesz. Postępów Nauk Rolniczych PAN..
8. Stręk F.: Mieszanie i mieszalniki. WNT Warszawa 1981.
9. Tarasewicz Wł.: Intensywność mieszania cieczy (newtonowskich) w przepływie. ZN IMP PAN 18/979/79.

Streszczenie

W pracy przedstawiono krótką analizę oceny stanu wymieszania w mieszalniku periodycznym. Zaproponowano jednolite kryterium stanowiące jednoznaczną miarę wymieszania. Znalaziono równanie na szybkość homogenizacji, opisane parametrami procesu, dla trzech podstawowych mieszadeł (łopowego, turbinowego i śmigłowego). W przebadanym zakresie zmian Re , określono współczynniki korelacyjne równania szybkości homogenizacji.

Summary

In this paper there been presented a short estimation of homogenized state in periodic stirred vessel. A uniformed criterium of quantitative mixing quality has been proposed. It has been found the homogenizing rate equation, described by process parameters for three main stirred vessel-arm, turbin and propeller mixer. In the examined range of Re changes it has been determined the correlated coefficients of homogenizing rate equation.

Содержание

В работе представлено короткий анализ оценки состояния перемешивания в периодическом мешателе. Предложен однородный критерий, который является однозначной мерой смешивания. Найдено уравнение скорости гомогенизации, описанное параметрами процесса для трёх основных мешалок (лопастной, турбинной, пропеллерной). В обследованном диапазоне изменения Re , определены корреляционные коэффициенты уравнения скорости гомогенизации.

KINETYKA UJEDNORADNIANIA PŁYNÓW W PRZEPLYWIE

Władysław Tarasewicz

1. W p r o w a d z e n i e

Do ujednoradniania płynów stosowane jest mieszanie, jako operacja wzbudzenia w środowisku mieszaniny wzmożonych ruchów konwekcyjnych, które przyspieszają równomierne w niej rozproszanie składników. Mieszanie jest stosowane przy różnych kombinacjach trzech stanów skupienia i może być prowadzone w sposób periodyczny (zbiornikowo) lub sposobem ciągłym (przepływowo). Zrealizowanie zamierzonego ujednoczenia mediów w przepływie zależy od możliwości racjonalnego zaprojektowania procesu, tzn. przewidzenia warunków które doprowadziłyby założoną ilość mieszaniny do żądanej homogenizacji. Szansa zapanowania działania odpowiadającego skutkowi uwarunkowana jest znajomością mechanizmu i kinetyki łączenia w kanale kilku strug różniących się substancji w jeden strumień ujednoczonego produktu.

Na ogół znany jest fakt, że mieszanie w przepływie powodowane jest zakłóceniami unoszenia, wywołanymi promieniowymi i osłowymi fluktuacjami prędkości poruszających się cząstek. Ta pulsująca przeciw unoszeniu reakcja tworzy prądy i wiry δ , które nieuporządkowane, przemieszczając się wzdłuż i w poprzek strumienia, rozrywają stykające się warstwy, sprzyjając wzajemnemu ich przenikaniu. Wewnątrz przesuwającego się płynu zachodzą ciągłe przerasowania zespołów cząstek z towarzyszącą temu wymianą energii i masy.

W konsekwencji stopniowo zanikają odrębności między przepływającymi warstwami, stanowiącymi na wlocie oddzielne składniki, które rozprzestrzeniając się równomiernie w przekroju strumienia, ujednocniają własności płynącej mieszaniny. Istotne znaczenie dla projektowania zjawiska posiada znajomość ilościowego związku między prze-

Adres: doc. dr hab. inż. Władysław Tarasewicz

Wyższa Szkoła Inżynierska, ul. Racławicka 15/17

75-620 Koszalin

byłą przez mieszaninę drogą w kanale a wytworzona jej homogenizacją.

2. Stan zmieszania w przepływie

Stan zmieszania w przepływie może być kontrolowany za pomocą wolnej, mierzalnej w przekroju własności (R) strumienia, a ilościowo opisywany stopniem zmieszania (η %) zbliżeniem do jednorodności):

$$0,01\eta = \frac{|\overline{R-R_0}|_p - |\overline{R-R_0}|_L}{|\overline{R-R_0}|_p} = 1 - \frac{|\overline{R-R_0}|_L}{|\overline{R-R_0}|_p} = \frac{|\overline{R_p-R_L}|}{|\overline{R-R_0}|_p} \quad (1)$$

lub stopniem niejednorodności (oddaleniem od zupełnego rozdzielania na składniki):

$$(1 - 0,01\eta) = \frac{|\overline{R-R_0}|_L}{|\overline{R-R_0}|_p};$$

gdzie:
$$|\overline{R-R_0}|_p = \int_0^F |R-R_0|_p \frac{dF_p}{F} = \sum_0^F |R-R_0|_p \frac{\Delta F_p}{F},$$

$$|\overline{R-R_0}|_L = \int_0^F |R-R_0|_L \frac{dF_L}{F} = \sum_0^F |R-R_0|_L \frac{\Delta F_L}{F}$$

Jest to uśrednione po przekroju strumienia zmniejszenie (w procentach) różnicy - względem występującego na wlocie (gdzie istnieje zupełne rozdzielanie na składniki) ($R - R_0$)_p - obserwowanej (R) cechy od jej wartości (R_0) po wymieszaniu doskonałym (wzorcowym). Wskaźnik η poprzez wartości obserwowanej dowolnej własności ściśle orientuje o stanie zmieszania powstałej ze składników mieszaniny. Zmieszana w konkretnym stopniu η mieszanina odznacza się mianowicie:

a) określonym odchyleniem od wymieszania idealnego (wyrażonym różnicę wartości porównywalnych własności)

$$|R - R_0|_L = \pm |\overline{R-R_0}|_p (1 - 0,01\eta) \approx \pm R_0 (1 - 0,01\eta)$$

b) czyli fluktuującymi wartościami porównywalnych własności

$$R_L = R_0 \pm |\overline{R-R_0}|_p (1 - 0,01\eta) \approx R_0 [1 \pm (1 - 0,01\eta)] = (2 - 0,01\eta) R_0 \text{ lub } 0,01\eta \cdot R_0$$

c) lub fluktuującymi względnymi wobec wzorcowej wartościami porównywalnych własności:

$$\frac{R_L}{R_0} = \frac{R_0 \pm |R - R_0|_p (1 - 0,01\eta)}{R_0} \approx 1 \pm (1 - 0,01\eta) = (2 - 0,01\eta) \text{ lub } 0,01\eta$$

Charakteryzowany stopniem stan mieszania jest rezultatem wzajemnego rozmieszczenia (koncentracji) w mieszaninie cząstek jej składników i nie zależy od rodzaju obserwowanej własności.

Niezależnie bowiem od użytej cechy, konkretny stopień (a więc i stan) mieszania jest taki sam, bo jest wyrażony różnicą wartości (a nie wartościami) tej samej własności mieszaniny rzeczywistej (R) i idealnie zmieszanej (R_0), różnicą - spowodowaną mieszaniem, jako skutek rozmieszczenia (koncentracji) przez nie składników.

Tak zdefiniowany wskaźnik η stanowi więc obiektywną miarę stanu mieszania, opisujący jedną skalą jednoznaczny sens fizyczny możliwych zmian: od zupełnego niewymieszania na wlocie ($\eta = 0$) - gdzie strumień jest podzielony na odrębne składniki, zajmujące każdy oddzielne części poprzecznej powierzchni kanału (R_d), do zupełnego ujednorodnienia ($\eta = 100\%$) - gdy próbki z dowolnego miejsca przekroju posiadają własności ($R = R_0$). W roli wskaźnika mieszania może być zatem użyta jakkolwiek, dająca się mierzyć własność, ponieważ wartość jej zmienia się z udziałem mieszanych strumieni lub substancji. Może więc nim być:

- cecha własna mieszanych strumieni (prędkość, temperatura),
- cecha własna mieszanych substancji (gęstość, lepkość, przewodnictwo, zabarwienie itp),
- cecha wtórna, rozróżniająca mieszane składniki wprowadzonym znacznikiem (barwnik, elektrolit, promieniujący pierwiastek itp.)

Oczywiście konkretna wartość cechy wzorca (R_0) zależy jest od indywidualnych cech składników i ich udziału w mieszaninie. Wyznaczenie jej przebiega podobnie jak opracowywanie receptury dowolnej mieszaniny, czyli dobieranie rodzaju i udziału substratów tak, aby idealnie wymieszany produkt wykazywał założoną własność. Można ją obliczyć, gdy znana jest funkcja własności od składu (z prawa zachowania masy). Częściej jednak R_0 mierzone jest we

wzorcem przygotowywanej mieszaniny, sporządzonym z zadanych proporcji składników i doskonale wymieszanych. Określenie R_0 jest wstępem do wykonania istotnego zadania mieszania, tj. doprowadzenia przyjętej kompozycji substratów do wymaganej homogenizacji, determinowanej wielkością odchylenia $(1 - 0,01\eta)$ lub stopniem zbliżenia $(0,01\eta)$ do jednorodności wzorcowej. Na końcowy zatem efekt zmieszania - wytworzenie produktu o założonej własności składają się trzy poprawnie przeprowadzone elementarne czynności: właściwy dobór rodzaju i proporcji składników (charakteryzowany wartością własności R_0), konsekwentne ich dozowanie i wysokie (dożądanego η) ujednorodnienie mieszaniny.

3. Intensywność mieszania w przepływie.

Przebieg mieszania w przepływie od objętościowego różni się tym, że stan ujednorodnienia substancji w metodzie ciągłej rośnie w przekroju wzdłuż przebytej przez nią drogi w kanale, a w metodzie per odcycznej zwiększa się w masie z czasem trwania procesu. Funkcję na zmienność stanu zmieszania w przepływie podał Alexander ze współautorami [2]. Wykorzystując hipotezę Reichardta [13] analogii przenoszenia ruchu, ciepła i masy w ośrodku ruchomym (zjawisk opisywanych równaniami różniczkowymi Naviera - Stockesa, Fouriera - Kirchhoffa oraz Ficka) wykazał, że zmniejszenie niejednorodności w kanale zachodzi z szybkością procesu pierwszorzędowego, tj. proporcjonalnie do występującego w danej chwili stanu:

$$-\frac{d(1-0,01\eta)}{dn_D} = K_n(1-0,01\eta) \quad (2)$$

Przez całkowanie

$$\int_{\eta=0}^{\eta} \frac{d(1-0,01\eta)}{(1-0,01\eta)} = -K_n \int_{n_{D0}}^{n_D} dn_D$$

otrzymuje się: $\ln(1 - 0,01\eta) = -K n (n_D - n_{oD})$,

stąd: $(1 - 0,01\eta) = e^{-K n (n_D - n_{oD})}$ (3)

Podobnie przy zastosowaniu lg otrzymuje się $(1 - 0,01\eta) = 10^{-K (n_D - n_{oD})}$

przy tym: $K = \lg e \cdot K_n = 0,4343 K_n = \frac{\lg \frac{1}{1 - 0,01\eta}}{n_D - n_{oD}}$, (4)

co prowadzi do aproksymacji prostoliniowej w układzie

$$\lg(1 - 0,01\eta) = f(n_D).$$

Rys. 1 przedstawia charakter rzeczywisty tych zmian, wykazując: obszar początkowy ($\eta = 0 \rightarrow 0,01 \eta_o$) - charakteryzowany n_D^o , K_o oraz obszar mieszania właściwego ($\eta = 0,01 \eta_o \rightarrow 0,01 \eta$) - charakteryzowany $(n_D - n_{oD})$, K

Obszar zmieszania (do $0,01 \eta_o$) na początku daje się wyrazić równoważnym obszarem $[n_{oD} + (n_D^o - n_{oD})]$ mieszania właściwego za pomocą n_{oD} :

$$n_D^o = n_{oD} + (n_D^o - n_{oD})$$

$$\frac{\lg \frac{1}{(1 - 0,01\eta_o)}}{K_o} = n_{oD} + \frac{\lg \frac{1}{(1 - 0,01\eta_o)}}{K},$$

stąd: $n_{oD} = \frac{\lg \frac{1}{(1 - 0,01\eta_o)}}{K_o} - \frac{\lg \frac{1}{(1 - 0,01\eta_o)}}{K} = \frac{K - K_o}{K_o K} \left[\lg \frac{1}{(1 - 0,01\eta_o)} \right] = f(K)$

$n_D = \frac{L}{D}$ - równoważna długości kanału liczba średnic, na której następuje zmieszanie do stopnia η ,

$n_{oD} = \frac{L_o}{D}$ - równoważna długości kanału liczba średnic z nieintensywnym mieszaniem na początku (na odcinku n_D^o),

$K = \frac{\lg \frac{1}{(1 - 0,01\eta)}}{n_D - n_{oD}}$ - współczynnik intensywności mieszania, wyrażający szybkość wzrostu na jednostce długości efektywności mieszania, determinowany warunkami procesu,

$$K_o = \frac{\lg \frac{1}{(1-0,01\eta)_o}}{n_D^o} \quad - \text{współczynnik intensywności mieszania po -}$$

czątkowego.

Z przedstawionego mechanizmu i kinetyki mieszania w przepływie wynika, że wartości współczynnika K i początkowego odcinku n_{oD} , definiujące intensywność warunków homogenizowania w kanale, stanowią rozwiązanie projektowania procesu. Pozwalają bowiem przewidzieć długość urządzenia potrzebną do doprowadzenia substancji dożądanego stanu mieszania, na podstawie zależności:

$$n_D = \frac{\lg \frac{1}{(1-0,01\eta)}}{K} + n_{oD} \quad (5)$$

Wykładnicza (3) przy tym zmienność ujednorodnienia w kanale wskazuje na to, że doskonałe wymieszanie strumieni (z całkowitym zanikiem odrębności ($R_1 = R_o$) w jego przekroju) jest osiągalna teoretycznie w nieskończoność (praktycznie w bardzo długim kanale).

Znając jednak K i n_{oD} , można wyznaczyć długość, na której wystąpi dowolnie bliskie 100 % η . Do jak wysokiej homogenizacji doprowadzić mieszaninę w praktyce - zależy od konkretnego zapotrzebowania. W przeważającej większości 99 % zmieszanie, zapowiadające średnio $[(0,01\eta)R_o]$ odchylenie wartości cechy obserwowanej od wzorcowej, zaspokaja stawiane żądanie. Trzeba pamiętać, że podniesienie np. zmieszanie z 99 % do 99,9 % wymaga wydłużenia o połowę kanału, stosownie do proporcji:

$$\frac{n_{99}}{n_{99,9}} = \frac{\lg \frac{1}{(1-0,99)}}{\lg \frac{1}{(1-0,999)}} = \frac{3}{2} = 1,5$$

Wielkości K i n_{oD} nie dają się teoretycznie obliczyć, ponieważ nie można jednoznacznie opisać złożonej i przekształcającej się mikrostruktury przepływu, którą są one determinowane. Do ich wartości można dojść przez skorelowanie z warunkami procesu doświadczalnie uzyskanych wielkości. Postępując się danymi literaturowymi [11, 6, 3, 9, 10, 7] i własnymi badaniami ustalono [13], że na intensywność mieszania (K) w mieszalniku typu strumienicy mają

istotny wpływ 3 grupy wielkości:

- a) konstrukcyjne - średnica kanału i dyszy, ilość dysz
- b) hydrodynamiczne - nadmiar prędkości mieszanych strumieni i prędkość unoszenia powstającej mieszaniny,
- c) natura mieszanych substancji - głównie ich lepkość.

Zauważono, że intensywność mieszania (K) rośnie z nadmiarem prędkości $\frac{w_1}{w_2} = u$ (mieszanych strumieni i z międzyfazową (boczną) powierzchnią ich zetknięcia na wlocie (równą d , 1, czyli $f(d)$ - w przeliczeniu na jednostkę długości), rośnie z nadmiarem $\left(\frac{D}{d}\right)$ średnicy kanału nad średnicą dyszy, maleje zaś z wydłużeniem w wężówce od strumienia wewnętrznego do ścianki kanału (czyli $K = f\left(\frac{1}{D-d}\right)$) oraz maleje z prędkością unoszenia mieszaniny (czyli ze wzrostem Re) - gwałtowniej w przepływie laminarnym niż burzliwym.

$$\text{Zatem } K = f\left(\frac{D}{d}; \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{d}{(D-d)} \cdot \frac{v_m}{v_m} = \frac{Re_1}{Re_2}; \frac{v_m}{wD} = \frac{1}{Re}\right)$$

Analizując wyniki 18 mieszania dwóch strumieni wody, otrzymano następującą korelację na współczynnik intensywności K :

$$K = C \cdot \frac{D}{d} \cdot \left(\frac{Re_1}{Re_2}\right)^{0,55} \cdot Re^b \quad (6)$$

$$\frac{w_1 d v_m}{w_2 (D-d) v_m} = \frac{Re_1}{Re_2} \text{ - stosunek liczb } Re \text{ mieszanych strumieni na wlocie (ale z lepkością mieszaniny),}$$

$$\frac{wD}{v_m} = Re \text{ - Liczba } Re \text{ strumienia powstającej mieszaniny.}$$

Rezultaty ujednorodnienia olejów mineralnych [19] wskazują na to, że na współczynnik K oddziałuje na ogół hamująco (wygaszając mieszające prądy i wiry) większa lepkość mieszanych substancji, co daje się ująć mnożnikiem $\left(\frac{v_w v_m}{v_1 v_2}\right)^f$ przy różnych lepkościach mieszanych substancji i mnożnikiem $\left(\frac{v_w}{v_m}\right)^f$ przy jednakowych lepkościach mieszanych substancji (v_m), różnych jednak od wody (v_w). Doświadczalnie potwierdzono logiczne przypuszczenie, że mieszanie dwóch płynów w strumieniu z wieloma dyszami jest $\psi(m)$ razy efektywniejsze [20, 16, 22, 14], niż w urządzeniu z jedną dyszą o rów-

noważnej średnicy $d = \sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2}$, modelującej jednakowo warunki hydrodynamiczne.

Parametr [18]
$$\varphi_m = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{m}-1}{\sqrt{m}} \right) \right]^{1,47}$$

przy dyszach niejednakowej średnicy

$$\varphi_m = \left(\frac{m+1}{2\sqrt{m}} \right)^{1,47} \text{ - przy dyszach o średnicach równych } d = d_m \sqrt{m}$$

- opisuje intensyfikujące działanie strumienicy z wieloma dyszami, wywołane rozwinieciem na jednostkę długości kanału powierzchni zetknięcia mieszanych strumieni $\left(\frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2}} - 1 \right)$ razy, skrócenia maksymalnej drogi wędrowki mieszanych cząstek od strumienia do strumienia $\left(\frac{\sqrt{m}-1}{\sqrt{m}} \right)$ razy, oraz współdziałaniem sąsiadujących zespołów mieszających się dwójek składników (wykładnik 1,47).

Ostatecznie korelacja na współczynnik intensywności mieszania K w przepływie dwóch dowolnych substancji w mieszalniku typu strumienicy przyjmuje ogólną postać:

$$K = C \left(\frac{Re_1}{Re_2} \right)^{0,55} \cdot Re^b \left(\frac{v_w v_m}{v_1 v_2} \right)^f \left[\text{lub} \left(\frac{v_w}{v_m} \right)^{f'} \right] \varphi_m \quad (7)$$

z przynależnymi ograniczającym zakresem szczegółowymi stałymi i wykładnikami:

$$C = 0,25 ; \frac{Re_1}{Re_2} \leq 1$$

$$C = 0,75 ; \frac{Re_1}{Re_2} > 1$$

$$f = -0,37 ; f' = -0,20$$

$$\frac{Re \geq 2000}{[b = -0,25]}$$

$$f = 0,45 ; f' = 0,20$$

$$f = f' = 0,55$$

$$\frac{Re < 2000}{[b = -0,40]}$$

$$f = f' = 0,73$$

$\left(\frac{v_w}{v_m} \right)^{f'}$ gdy $v_1 = v_2 = v$. mieszanie strumieni o jednakowych lepkościach - lecz różnych od wody

$$\left(\frac{v_w v_m}{v_1 v_2} \right)^f$$

- mieszanie strumieni o różnych lepkościach

$$\varphi(m) = \left(\frac{m+1}{2\sqrt{m}} \right)^{1,47} \quad - \text{ przy różnych średnicach dysz}$$

$$\varphi(m) = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2}} - 1 \right) \left(\frac{\sqrt{m}-1}{\sqrt{m}} \right) \right]^{1,47}$$

Małoaktywny odcinek początkowy n_{OD} kanału podczas mieszania w przepływie daje się opisać następującymi względem intensywności K zależnościami:

$$\left[\begin{array}{l} K < 0,2 \\ \text{lub } u \cdot \frac{Re_1}{Re_2} \leq 5 \end{array} \right] : n_{OD} = 90 K^{1,1} \quad (8); \quad n_{OD} = 30 K^{1,2} \quad (10)$$

$$\left[\begin{array}{l} K > 0,2 \\ \text{lub } u \cdot \frac{Re_1}{Re_2} > 5 \end{array} \right] : n_{OD} = 0,15 K^{-2,9} \quad (9) \quad n_{OD} = 0,30 K^{-1,45} \quad (11)$$

W mieszalniku wielostrumieniowcowym [20] odcinek n_{OD} jest $m_{\acute{s}c}$ razy mniejszy niż w mieszalniku z jedną równoważną powierzchnio-wo dyszą - gdzie $m_{\acute{s}c}$ - liczba dysz na okręgu sąsiadującym ze ścianką kanału.

Podane zależności wskazują, że długość n_{OD} zasadniczo zmienia się z rodzajem przepływu mieszaniny i wielkością K - , przybie-rając wartości od znaczących do mało istotnych.

W przepływie laminarnym:

$$n_{OD} \max(K=0,2) = 15 \quad \text{---} \quad \frac{15}{10+15} = 60 \% \text{ całego kanału}$$

$$n_{OD}(K=1) = 0,15 \quad \text{---} \quad \frac{0,15}{2+0,15} = 7 \% \text{ całego kanału}$$

w przepływie burzliwym:

$$n_{OD} \max(K=0,2) = 4,3 \quad \text{---} \quad \frac{4,3}{10+4,3} = 30 \% \text{ całego kanału}$$

$$n_{OD}(K=1) = 0,3 \quad \text{---} \quad \frac{0,3}{2+0,3} = 13 \% \text{ całego kanału}$$

Literatura

1. Aarons B.L., What is mixing? Chem. Process., June No 6/1974
2. Alexander G., Comings E.W., Grimmet H.L., White E.A., Transfer of momentum in jet of air issuing a tube. Techn.Rep.Rep.No 11, Eng. Exp. Station Univ Illinois, May 1 /1952
3. Clayton C.C., Ball M., Seakman R., Dispersion and mixing during turbulent flow of water in circular pipe, Isotopes Res. Div., Wantage Res. Lt. Borsire, ARRe-R-5569/1968
4. Dankwerts P.W., Measurement of molecular homogeneity in mixture, Chem. Eng. Sci., 58/1957
5. Davis P.O.A. and A.J., Coherent structures in turbulence, J.Fl. Mech wol 69, p.3/1975
6. Filmer R.W., Yevjevich V., Experimental results of dye diffusion in a large pipe lines, 12-th congr. IAHR,D13 1967
7. Hartung K.H. u.Hiby J.W., Beschleunigung der turbulenten Mischung in Rohren, Chem.Ing. Techn., 44 Jahrg, No 18/1972
8. Hendriks J. a Brighton J.A., Prediction of swirl and inlet turbulent kinetics energy effects in confined jet mixing, J. F.Eng., Trans ASME, vol. 97/1975
9. Hiby J., Mischung in turbulenter Rohrströmung, Verfahrenstechnik 4 No 12/1970
10. Hiby J., Mischung in turbulenter Rohrströmung, Chem.Ing. Technik, 43, Jahr, No 6/1971
11. Jordan D.W., A theoretical study of diffusion of tracer gas in airway, Quart.J.Mech.Appl.Math., XIV, 2/1961
12. Lee J., Brodhey R.S., AIChE, 10/1964
13. Reichardt H., Zeit.f.angew.Math.Mech., 21,257/1971
14. Sinagh Madan, H.Toor, Characteristics of jet mixers - Effects of number of jets and Reynolds Numbers, AIChE J., vol.20, No26, nov. 1974
15. Stręk F., Mieszanie i mieszalniki, WNT W-wa, 1971
16. Śliwicki E., Jezierski A., Wpływ ilości strumieni na mieszanie cieczy w mieszalniku strumienicowym, Prace IMP. PAN PWN, Poznań, z. 82/1981
17. Tarasewicz W., Profil prędkości wskaźnikiem stanu wymieszania w przepływie, Dprac. wewn.IMP. PAN Nr arch. 176/79

18. Tarasewicz W., Intensywność mieszania cieczy (newtonowskich) w przepływie, Zeszyty Naukowe IMP PAN Nr 78/979/79
19. Tarasewicz W., Wpływ lepkości na intensywność mieszania cieczy w przepływie, Prace IMP PAN, PWN poznań, z.80/1981
20. Tarasewicz W., Wielostrumieniowe mieszanie dwóch cieczy, Oprac. wewn. IMP PAN Nr arch, 177/79
21. Tarasewicz W., Mieszanie cieczy w przepływie w strefie początkowej (w pobliżu wlotu strumieni do kanału), oprac. wewn. IMP PAN Nr arch. 190/79
22. Vassilates C., Toor, H.L., Second - order chemical reactions in nonhomegeonous turbulent fluid, A.J.Ch,Eng,J., July 1965

Streszczenie

Przedstawiono ilościowy opis kinetyki ujednorodniania płynów w przepływie w mieszalniku typu strumienicy.

Summary**Kinetics of homogenizing fluids in flow**

A quantitative description of kinetics of homogenizing operation of fluids in flow in the stream stirring apparatus has been presented in this paper.

Содержание

Представлено количественный опись кинетики гомогенизированной жидкостей в потоке в мешалке типа струй.

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego.

ZASADY PROJEKTOWANIA UJEDNORODNIANIA PŁYNÓW W PRZEPIŹYWIE

Władysław Tarasewicz

Opracowane korelacje [1] na intensywność mieszania płynów w przepływie umożliwiają dla występujących potrzeb (dowolnych substancji i skali) określić odległość czynną kanału, na której strumień zostaje ujednorodniony do żądanego stopnia. Stwarzają też możliwości dostosowania urządzenia do określonej technologii i warunków.

Projektowanie mieszania w przepływie, wyznaczające główne wymiary strumienicowego mieszalnika, składa się z następujących etapów:

- 1) Postawienie założeń - technologia procesu zgłasza zapotrzebowanie na przygotowanie zhomogenizowanego w η stopniu (zwykle = 99 % strumienia (V) mieszaniny, utworzonej ze składników o założonym składzie (V_1/V_2) i lepkościach (ν_1, ν_2, ν_m).
- 2) Obranie średnicy kanału - przyjmując w nim prędkość:

mieszaniny ciekłej $w \leq 2$ m/s

" gazowej $w = 8 - 15$ m/s (wyjątkowo do 50 m/s)

średnicę kanału oblicza się z wydajności strumieniowej (V) mieszaniny

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}}$$

3. Wyznaczenie średnicy dyszy - z wymaganego udziału (V_1/V_2) składników i z przyjętego nadmiaru (u) prędkości ich składni -

$$u = \frac{w_1}{w_2} = \frac{4V_1 \cdot I(D^2 - d^2)}{\pi d^2 \cdot 4V_2} = \frac{V_1}{V_2} \left[\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right]; \quad d = \sqrt{\frac{D^2}{u \frac{V_2}{V_1}} + 1}$$

4. Obliczenie współczynnika intensywności mieszania (K) i długości początkowej (n_{OD}) - wg wybranych dla odpowiednich zakresów zależności [1-7_w] oraz zależności [1-(8, 9, 10, 11)_w]

5. Określenie długości kanału mieszającego

$$L_{99} = n_D \cdot D = \left[(n_D - n_{00}) + n_{00} \right] \cdot D = \frac{\lg \frac{1-0,01^{\frac{1}{m}}}{1}}{K} + n_{00} ; L_{99} = \left(\frac{2}{K} + n_{00} \right) \cdot D$$

6. Aby (w razie potrzeby) zmniejszyć tę długość, należy zastosować hydrodynamicznie równoważny mieszalnik wielostrumienicowy,

Narzucając wielkość skrócenia ($n_D/n_{Dm} = A$), z zależności

$$\varphi(m) = \left(\frac{m+1}{2\sqrt{m}} \right)^{1,47}$$

można, rozwiązując równanie kwadratowe, określić

ilość dysz (m) oraz ich średnicę $d_m = \frac{d}{\sqrt{m}}$

$$\varphi(m) = \left(\frac{m+1}{2\sqrt{m}} \right)^{1,47} = A \rightarrow \left(\frac{m+1}{2\sqrt{m}} \right)^2 = A^{\frac{2}{1,47}} ; m^2 + (2 - 4A^{\frac{2}{1,47}})m + 1 = 0$$

$$m = \frac{-(2 - 4A^{\frac{2}{1,47}}) + \sqrt{(2 - 4A^{\frac{2}{1,47}})^2 - 4}}{2}$$

W ten sposób dla przykładowo przyjętego o połowę skrócenia ($A=2$) części intensywnej mieszalnika (poza $m_{\text{śc}}$ -krotnym m) skróceniem również części początkowej (n_{0D}) należy do mieszalnika wprowadzić 8 dysz o średnicy $d_m = \frac{d}{\sqrt{m}}$.

Postępując się wprowadzonymi równaniami na intensywność mieszania i postępując według wyżej podanego schematu, znaleziono szereg przykładowych rozwiązań mieszalników strumienicowych, odpowiadających założonym warunkom.

Rezultaty zebrano w tabeli 1 i 2, oddzielnie dla procesów prowadzonych w przepływie burzliwym i laminarnym.

Trudność w ujednorodnianiu różnych substancji charakteryzuje liczba średnic (n_{D99}), równoważąca długość kanału potrzebną do 99% - owego zhomogenizowania rozpatrywanej mieszaniny (kol.16 tab.1,2).

Zestawione wyniki wskazują na to, że w urządzeniach strumienicowych w stosunkowo prosty sposób można uzyskać wymagane mieszania na niewielkich odległościach - przy zachowaniu możliwie niskich liczb Re ($Re \geq 2000$) mieszaniny i nieznacznie przekraczającego pięciokrotnego nadmiaru prędkości ($u = w^1/w_2 \leq 5$) strumieni.

Warunki utrzymania przepływu burzliwego ogranicza stosowalność urządzeń strumienicowych do ujednorodniania mediów o lepkości mniejszej od 200 cSt - ze względu na dopuszczalne w praktyce przemysłowej $w \leq 2$ m/s prędkości mieszaniny i niezbyt dużych średnic kanału ($D \leq 0,2$ m). Można zauważyć, że zachowanie $Re \geq 2000$

wymaga (przy prędkości $w = 2 \text{ m/s}$) średnic kanału w mm liczbo -
wo równych lepkościom w cSt mieszanej substancji :

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu_m} = 2000 = \frac{2 \cdot a \cdot 10^{-3}}{a \cdot 10^{-6}}$$

Mieszanie w przepływie płynów o większych od wody lepkościach jest intensywniejsze przy $Re_1/Re_2 \leq 1$ - kiedy wpływ lepkości zaznacza się mnożnikiem $\left(\frac{\nu_w}{\nu_m}\right)^{-0,20}$ [lub $\left(\frac{\nu_w \cdot \nu_m}{\nu_1 \cdot \nu_2}\right)^{-0,37}$] niż przy $Re_1/Re_2 > 1$ - gdy mnożnik lepkościowy wynosi odpowiednio $\left(\frac{\nu_w}{\nu_m}\right)^{0,20}$ [lub $\left(\frac{\nu_w \cdot \nu_m}{\nu_1 \cdot \nu_2}\right)^{0,45}$]

Zapewnienie $Re_1/Re_2 \leq 1$ żąda zachowania:

$$1 \geq \frac{u \cdot d}{D-d} = \frac{u \sqrt{\frac{D^2}{u \nu_2 / \nu_1 + 1}}}{D - \frac{D^2}{u \nu_2 / \nu_1 + 1}} = \frac{u}{\sqrt{u \frac{\nu_2}{\nu_1} + 1} - 1};$$

$$(u+1) \leq \sqrt{\frac{u \cdot \nu_2}{\nu_1} + 1}; \quad u = \frac{\nu_2}{\nu_1} - 2$$

to znaczy wymaga utrzymania mniejszego nadmiaru (u) prędkości mieszanych strumieni od pomniejszonego o 2 udziału strumieni (ν_1/ν_2) rozpraszającego (ν_2) i rozpraszanego (ν_1). Występująca przy $Re_1/Re_2 \leq 1$ większa intensywność spowoduje bliskie $0,25 \left(\frac{\nu_w}{\nu_m}\right)^{-0,40}$ [lub $0,25 \left(\frac{\nu_w \cdot \nu_m}{\nu_1 \cdot \nu_2}\right)^{-0,82}$] krotne zmniejszenie kanału w porównaniu z procesem prowadzonym przy tej samej lepkości substancji, ale przy $Re_1/Re_2 > 1$.

Przy wynikających zbyt dużych długościach mieszalnika z jedną dyszą (techniczny przykład: ser.6 tab.1 - mieszanie gazowego amoniaku z powietrzem) należy zastosować rozwiązanie wielostrumieniowe, które z liczbą dysz skraca kanał mieszania intensywnego proporcjonalnie do $\varphi(m) = \left(\frac{m+1}{2\sqrt{m}}\right)^{1,47}$, a ponad to zmniejsza $m_{\text{śc}}$ razy (liczbą dysz znajdujących się na okręgu ścianki kanału) długość małoaktywnego mieszania na początku.

Ujednorodnianie więc mediów w przepływie burzliwym jest osiągalne w stosunkowo łatwy sposób w krótkich mieszalnikach strumieniowych jedno lub wielodyszowych.

Natomiast homogenizowanie w nich w przepływie laminarnym (tab.2) jest możliwe na praktycznych odległościach jedynie w przypadku substancji o lepkościach mniejszych od 10 cSt (ser.1 Tab.2).

Rozpatrując w możliwie szerokim aspekcie problem mieszania, z uwzględnieniem możliwości regulowania nim i projektowaniem, nie można nie wspomnieć o przesłankach [2], które przemawiają za wprowadzeniem odmiany przepływowej w miejsce periodycznej. Główną jest zachowanie ciągłości technologicznej wytwarzania produktu na znaczną skalę do bezpośredniego użytku, a nie na magazyn. Przy tym produkt jest stosunkowo prosty, to znaczy powstaje z niewielu dostarczanych sukcesywnie, nie zmieniających się komponentów, których ciągłe dozowanie nie następuje nadmiernych trudności. Natomiast produkcja niewielka oraz przeznaczona na skład, a przy tym wymagająca zachowania bardzo wąskiej tolerancji udziału składników, łatwiejsza jest w wykonaniu periodycznym. Ujednorodnienie substancji w przepływie, w porównaniu z metodą periodyczną przynosi znaczne korzyści [1]. Daje przede wszystkim oszczędności w transporcie, eliminując koszt - najpierw przenoszenia składników do oddzielnych zbiorników, a stamtąd do mieszalnika. Polepsza jakość samego produktu - dzięki stosowaniu ciągłej kontroli. Zmniejsza pracochłonność, stwarzając możliwości zautomatyzowania procesu. Pamiętać jednak trzeba, że wyżej wymienione korzyści są uzależnione od poprawnego dozowania komponentów mieszaniny. Ale bez tego nie można w ogóle zrealizować podstawowego zadania wytwarzania produktu o założonych właściwościach.

Tabela 1. Zestawienie podstawowych wymiarów mieszalników strumieniowych odpowiednio do lepkości ($\nu_m = 1 \div 1000 \text{ cSt}$) mieszanych płynów, ujednorodnianych w 99% w przepływie burzliwym

Tabela 1

plyn / seria	ν_1 [cSt]	ν_2 [cSt]	ν_m	\dot{V} [m^3/h]	D [mm]	w [m/s]	Re	$\frac{U}{\nu}$	U	d [mm]	m	miż	d_m	φ (m)	K	Π_{op}	$\Pi_{p99\%}$	L_{99} [m]	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
ciężki	1	1.41	50	0.2	10000	1/5	1	20.4	1				0.0499	0.82	40.90	205			
						*	2	15.1					0.0765	1.4	27.94	1.38			
						*	5	9.8					0.4267	1.0	5.69	0.28			
	1	141	50	2	100000	1/5	1	20.4					0.0280	0.4	71.82	3.59			
						*	2	15.1					0.0479	0.7	47.3	2.37			
						*	5	9.8					0.2399	2.4	10.74	0.54			
2	50	14.1	50	2	2000	1/5	1	20.4					0.1633	3.4	15.64	0.78			
						1/2	1	28.9					0.1055	2.0	20.43	1.02			
						1/5	2	15.1					0.2500	2.2	10.2	0.51			
						1/2	2	22.4					0.1491	3.1	16.51	0.83			
						1/5	3	12.5					0.3269	1.5	7.64	0.38			
						1/5	5	9.8					0.2918	1.8	8.65	0.43			
3	200	226.2	200	2	2000	1/5	1	81.6					0.2154	2.8	12.08	2.41			
						*	2	60.3					0.3300	1.5	7.96	1.51			
						*	3	50					0.4365	1.0	5.63	1.12			
						*	5	39.2					0.2211	2.7	12.82	2.57			
4	500	1413.7	500	2		*	5	*	5	4	17.5	1.54	0.3405	(1.4/0.35)	6.22	1.24			m = 5 dysz
						1/5	1	20.4					0.2588	2.1	9.83	4.91			
						1/3	1	250					0.2591	2.1	9.81	4.90			
						1/5	2	150.8					0.3963	1.1	6.15	3.07			
						1/3	2	189					0.0953	1.8	22.79	11.39			
						1/3	3	12.5					0.5782	0.7	4.15	2.08			
						1/5	5	98.05					0.1841	3.9	4.76	7.38			
5	1000	5654.9	1000	2	2000	1/5	1	408.2					0.2972	1.7	8.42	8.42			
						1/5	2	301.5					0.4563	0.9	5.29	5.29			
						1/5	3	250					0.5961	0.6	3.96	3.96			
						1/5	5	198.1					0.1602	3.3	15.78	15.78			
gaz	6.51	6.31	6.32	106900	900	46.7	$6.65 \cdot 10^6$	0.11	1	283.33	1			(1.8/0.3)	7.12	7.12			m = 7 dys
						*	1	*					0.0204	0.3	98.34	88.51			
						*	1	*					0.2964	(1.8/2.3)	6.82	6.14			m = 151 dysz

Uwaga: przyjęto rozmieszczenie dysz na koncentrycznych okręgach miż: ilość dysz na okręgu przy ścianie kanału

Tablica 2 Zestawienie podstawowych wymiarów mieszalników strumieniowych odpowiednio do lepkości
 ($D_m = 1 \pm 1000 \text{ cSt}$) mieszanych płynów, ujednorodnianych w 99% w przepływie lam-
 narym

Tablica 2

plyn seria	ν_1	ν_2 [cSt]	ν_m	\dot{V} [m ³ /h]	D [mm]	w [m/s]	Re	$\frac{U_1}{U_2}$	u	d [mm]	m	m _ś	d _m	φ (m)	K	η_{00}	$\eta_{99\%}$	L ₉₉ [m]	UWAGI
1		2	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CIECZ1				1.13	20	0.05	1000	1/5	1	2.16	1				0.0315	2.0	65.5	1.3	
			1						6	2	5	4	3.6	1.54	0.0485	$(\frac{3.3}{4}) 0.81$	42.05	0.84	m=5 d=az
									8	2	5	4	2.7	1.54	0.0483	3.2	44.6	0.89	
			1						2	2	5	4			0.0744	$(\frac{3.3}{4}) 1.3$	28.2	0.56	m=5
									5	4	1				0.2675	6.9	15.45	0.91	
2			50	7.07	60	1	1000	1/5	1	20.4	5	4	9.1	1.54	0.0057	20	540.07	27.04	m=5
									1	2	5	4			0.0056	$(\frac{3.0}{4}) 0.8$	300.9	17.54	
									2	2	5	4	6.8	1.54	0.0056	0.30	357.4	17.27	
									2	2	5	4			0.0086	$(\frac{3.3}{4}) 0.12$	232.7	11.63	m=5
									5	5	1				0.0311	2.0	66.3	3.32	
									5	5	4				0.0479	$(\frac{3.3}{4}) 0.8$	42.95	2.12	m=5
3			200	113	200	1	1000	1/5	1	81.6	15	8	21.1	2.90	0.017	0.08	1176.5	235.3	
									1	2	15	8			0.0049	$(\frac{0.35}{8}) 0.05$	403.2	81.64	m=15
									2	2	15	8	19.6	2.90	0.0026	0.13	769.4	153.9	
									2	2	15	8			0.0675	$(\frac{0.4}{8}) 0.05$	266	53.3	m=15
									5	5	15	8	10.3	2.90	0.0445	0.85	136.8	27.76	
									5	5	15	8			0.0421	$(\frac{2.7}{8}) 0.35$	47.85	9.57	m=15
4			500	706.85	600	1	1000	1/5	1	204.1	60	25	26.3	7.50	0.0105	0.05	1941.48	970.9	
									1	2	60	25			0.0011	$(\frac{0.43}{15}) 0.02$	259.8	130.0	m=60
									2	2	60	25	19.5	7.50	0.0158	0.07	121.59	632.9	
									2	2	60	25			0.0185	$(\frac{0.38}{15}) 0.02$	166.8	84.4	m=60
									5	5	60	25	12.56	7.50	0.00882	0.50	227.2	113.6	
									5	5	60	25			0.0662	$(\frac{0.45}{15}) 0.18$	30.39	15.20	m=60
5			1000	2827.43	1000	1	1000	1/5	1	408.2	130	37	35.8	13.07	0.00705	0.03	2836.9	2836.9	
									1	2	130	37			0.00921	$(\frac{0.37}{15}) 0.01$	217.17	217.2	m=130
									2	2	130	37	26.4	13.07	0.0108	0.05	1851.9	1851.9	
									2	2	130	37			0.0141	$(\frac{0.67}{17}) 0.02$	141.9	149.9	m=130
									5	5	130	37	17.2	13.07	0.00603	0.32	322.0	338.0	
									5	5	130	37			0.0788	$(\frac{0.55}{17}) 0.15$	25.59	25.53	m=130

Uwaga: przyjęto rozmieszczenie dysz na koncentrycznych okręgach
 m_ś - ilość dysz na okręgu przy ścianie kanału

Literatura

1. Beken J., Can continuous mixing provide a solution to your sticky problems? Proc. Eng. march /1976
2. Penny W.R., Guide to trouble - free mixers, Chem. Eng., June 1/1970
3. Tarasewicz W., ZN WSInż Koszalin 7/1985

Streszczenie

Sformułowano zasady racjonalnego projektowania ujednorodniania w przepływie płynów, ze zwróceniem uwagi na utrzymanie w operacji optymalnych warunków.

Summary

PRINCIPLES OF DESIGNING OF HOMOGENIZING FLUIDS IN FLOW

The principles of rational designing of the homogenizing of fluids in flow have been expressed, with remarks to maintain in operation optimum conditions.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ПОТОКЕ

Сокращение

Сформулировано основы проектирования гомогенизации жидкостей в потоке, с вниманием на удерживание в операции оптимальных условий.

Zeszyt 7/1985; Prace Wydziału Mechanicznego

UKŁAD STEROWANIA I NAPEŁDU AGREGATU FORMUJĄCO - ZAWIJAJĄCEGO DO POMADEK MLECZNYCH "KRÓWKA"

Tomasz Kiczowskiak, Jerzy Maceluch, Jerzy Milanowski

1. W s t ę p

Pomadki mleczne "Krowka" stanowią, obok wyrobów czekoladowych, jeden z najbardziej poszukiwanych wyrobów przemysłu cukierniczego, co wiąże się z ich wysokimi walorami smakowymi [3, 4]. Zasadniczy wpływ na wysokość produkcji "Krowki" ma duży udział pracy ręcznej w procesie technologicznym, a w szczególności brak agregatów formująco - zawijających.

Próby mechanizacji i automatyzacji procesu formowania i zawijania pomadek mlecznych "Krowka" napotykać na znaczne trudności związane ze specyficznymi właściwościami masy, a w szczególności z:

- koniecznością ograniczenia do minimum oddziaływań mechanicznych, na masę, gdyż wpływają one w niekorzystny sposób na właściwości produktu finalnego.
- dużą przylepnością, kleistością i plastycznością masy w temperaturze otoczenia, które powodują sklejanie się cukierków oraz deformacje ich kształtu nawet bez zewnętrznych oddziaływań mechanicznych,
- dużym wpływem składu masy na jej właściwości reologiczne, dotyczy to głównie ilości wody, ale również niektórych dodatków, np. kawy.

Jednym z problemów do rozwiązania w budowie agregatu formująco - zawijającego jest zagadnienie synchronizacji pracy zespołów

Adres: mgr inż. Tomasz Kiczowskiak, dr inż. Jerzy Maceluch, dr inż. Jerzy Milanowski Wyższa Szkoła Inżynierska ul. Racławicka 15 - 17 75-620 Koszalin

agregatu. W dotychczas stosowanych urządzeniach zagregowanych synchronizację pracy poszczególnych zespołów uzyskuje się po - przez napęd wszystkich zespołów z jednego silnika przy zastosowaniu różnego typu przekładni i mechanizmów. Taki sposób napędu i sterowania podiuga za sobą:

- znaczne rozbudowanie i skomplikowanie układu napędowego,
- wzrost energochłonności,
- konieczność częstego smarowania elementów oraz kompensacji luzów mechanizmów,
- komplikację remontów, napraw i wymiany uszkodzonych elementów,
- zanieczyszczenie żywności olejami stosowanymi do smarowania,
- trudności sterowania ręczną pracą poszczególnych zespołów urządzenia, szczególnie w przypadku rozbudowanych układów oraz sytuacjach awaryjnych,
- duże koszty wykonania ze względu na dużą liczbę elementów, konieczność stosowania materiałów wysokiej jakości oraz obróbkę poszczególnych elementów.

Celem niniejszej pracy jest krótkie przedstawienie istoty proponowanego układu sterowania agregatu, a zwłaszcza synchronizacji pracy występujących w nim zespołów to jest: urządzenia formującego-podajnika i urządzenia zawijającego. Dla ułatwienia opisu przedstawiona zostanie również krótko koncepcja agregatu.

2. A g r e g a t f o r m u j ą c o - z a w i j a j ą c y

W ramach prac prowadzonych w Zakładzie Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie zaproponowano sposób obróbki masy pomadkowej "Krówka" [1] oraz zbudowanego agregatu formująco - zawijającego [2, 5]. Umożliwiło to kompleksową mechanizację i automatyzację procesu formowania i zawijania omawianych wyrobów. Agregat wykonano wykorzystując istotnie przekonstruowane urządzenia: krajalnicę CKA-25 ("Spomasz" Pleszew), i zawijarkę do karmelków RAPIDO (NRD), oraz specjalnie skonstruowane urządzenie podające. Schemat ideowy agregatu pokazano na rysunku 1.

Płaty masy podawane na transporter 1 cięte są na dziesięć batonów zespołem noży 2. Pocięte batony transporterem 3 i zespołem

walców wspomagających 4, sprzęgniętych kołami zębatymi 5 i działających cyklicznie, podawane są pod nóż gilotynowy 6, który odcina cukierki. Odcięte cukierki 10 sztuk podajnik 7 podaje na transporter zawijarki 8.

3. Układ sterowania i synchronizacji pracy agregatu

W przypadku omawianego agregatu zdecydowano się na odejście od tradycyjnych sztywnych rozwiązań sterowniczo - napędowych (układów dźwigniowo - krzywkowych). Zastosowano w nim pneumatyczny układ sterowniczo - napędowy [6] podajnika oraz noża gilotynowego i transportera wraz z walcami wspomagającymi. Tego typu rozwiązanie:

- zwiększa elastyczność napędu,
- obniża koszty wykonania, skracając dodatkowo czas adaptacji,
- umożliwia uzyskanie różnych systemów pracy, a w szczególności ręczne sterowanie pracą poszczególnych elementów,
- upraszcza naprawy i obsługę,
- umożliwia niezależne wykorzystanie krajalnicy i zawijarki w sytuacjach awaryjnych.

Schemat ideowy układu sterowniczo-napędowego agregatu pokazano na rys. 2. Współpraca wszystkich urządzeń synchronizowana jest pracą mechanicznego podzespołu sterowniczo-napędowego 1 zawijarki 2 za pomocą sygnału synchronizacyjnego SY. Zastosowany w agregacie 2 centralny elektropneumatyczny podzespół sterowniczy 3 steruje za pomocą sygnałów sterowniczych SN pracą silników 4 i 9 napędzających odpowiednio podajnik 7 i zespół walców wspomagających wraz z transporterem krajalnicy 6. Podzespół sterowniczy 3 wykorzystuje dodatkowo w procesie sterowania informacje IS o stanach urządzeń współpracujących pobierane odpowiednio z przekazników drogowych 5 i 8.

Na rysunku 3 pokazano rozmieszczenie poszczególnych elementów zbudowanego układu, a w tablicy 1 opisano rolę tych elementów. Zaprojektowany układ umożliwił:

- ręczne sterowanie pracą poszczególnych silników pneumatycznych,

- automatyczną pracą agregatu,
- automatyczną pracą krajalnicy (w sytuacjach awaryjnych), przy wykorzystaniu generatora impulsów GR napędzanego poprzez transporter krajalnicy.

Wybór rodzaju pracy umożliwiał przełącznik P umieszczony na tablicy sterującej TS. Tam też umieszczono przyciski W służące do ręcznego sterowania pracą silników pneumatycznych oraz lampki L sygnalizujące stany poszczególnych elementów napędowych (siłowników).

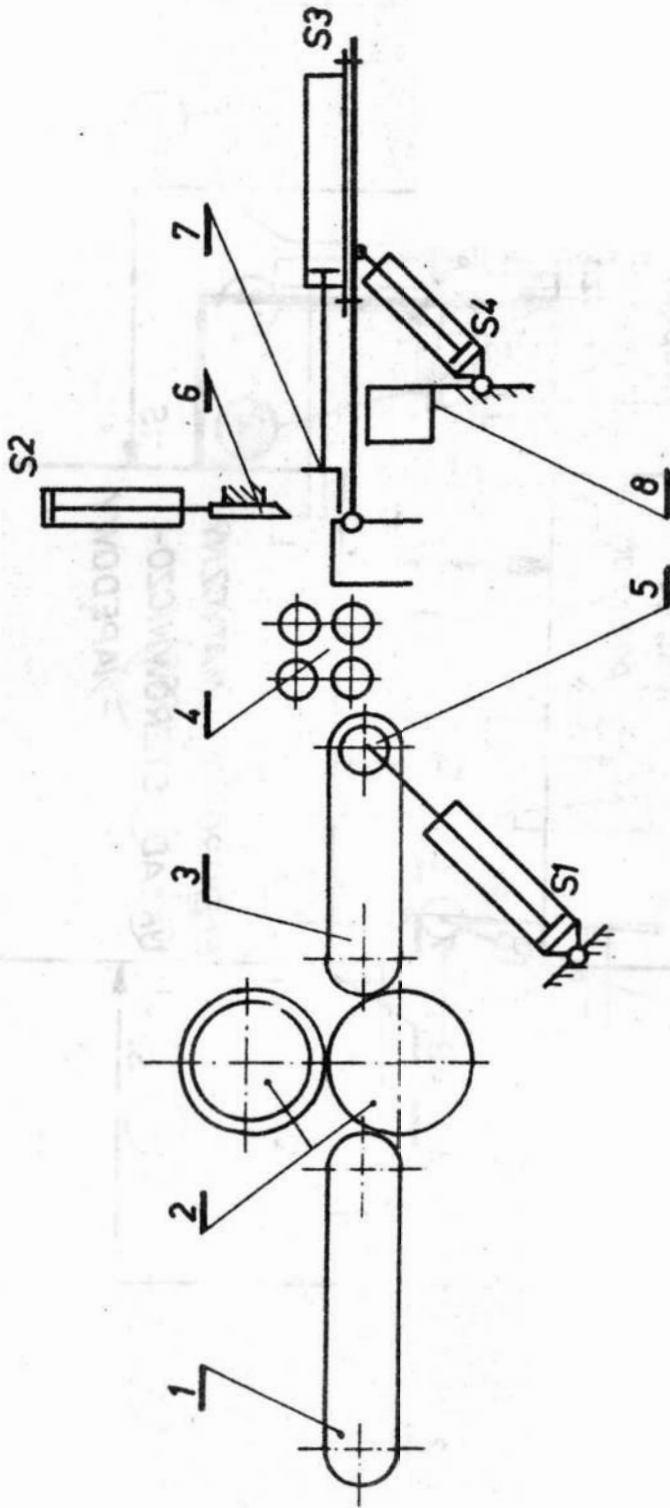
Uproszczony cyklogram pracy agregatu (siłowników pneumatycznych) pokazano na rysunku 4. Przekaznik C1 współpracujący z układem napędowym zawijarki generuje sygnał synchronizacyjny SY (patrz rys.2) uruchamiający pracę pneumatycznego układu napędowego krajalnicy i podajnika. Ponieważ układ formujący (krajalnica) przygotowuje 10 cukierków (patrz punkt 2), które jednorazowo podawane są do zawijarki, to sygnał z przekaznika C1 generowany jest co 10-ąty cykl pracy zawijarki.

W przypadku omawianego układu zdecydowano się na elektro-pneumatyczny system sterowania pracą siłowników. Schemat układu pneumatycznego pokazano na rysunku 5, a sterowania elektrycznego na rysunku 6. Zastosowanie zewnętrznego wspomagania elektromagnetycznego sterowania E11 pracą zaworu rozdzielającego Z1 (rys.5) umożliwiło przesterowanie tego zaworu przy zamkniętym zaworze rozdzielającym Z5. Rozwiązanie to uprościło w znacznym stopniu układ sterowania, zmniejszając równocześnie ilość niezbędnych zaworów rozdzielających.

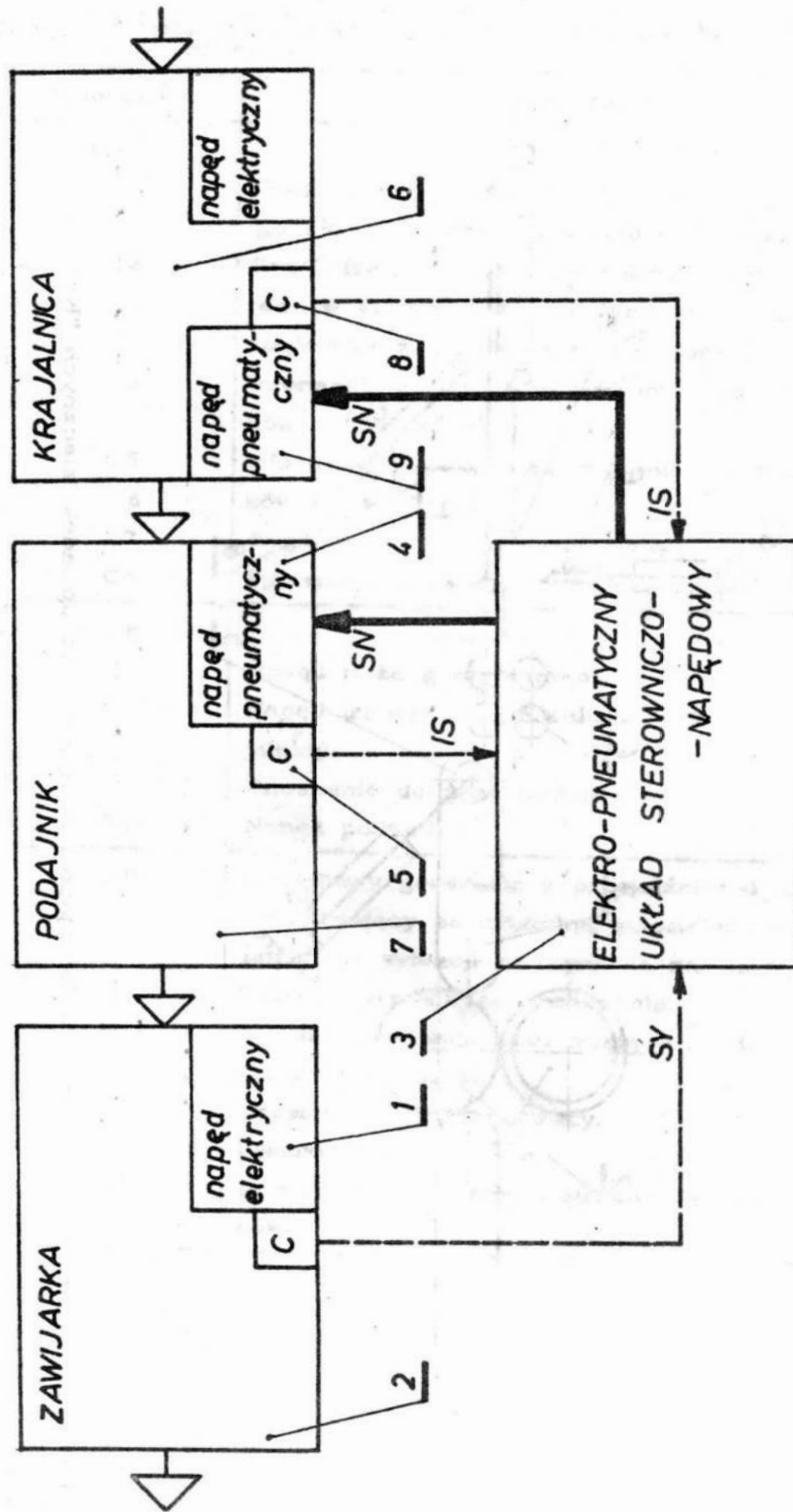
Układ sterowania i napędu agregatu formującego - zawijającego do pomadek mlecznych "Krówka" przeszedł próby przemysłowe w Cielnickiej Spółdzielni Inwalidów "Słowianka" w Szczecinku, które prowadziły omówione wcześniej zalety takiego systemu sterowania i napędu.

Tablica 1 Opis elementów elektropneumatycznego układu sterowniczo-napędowego

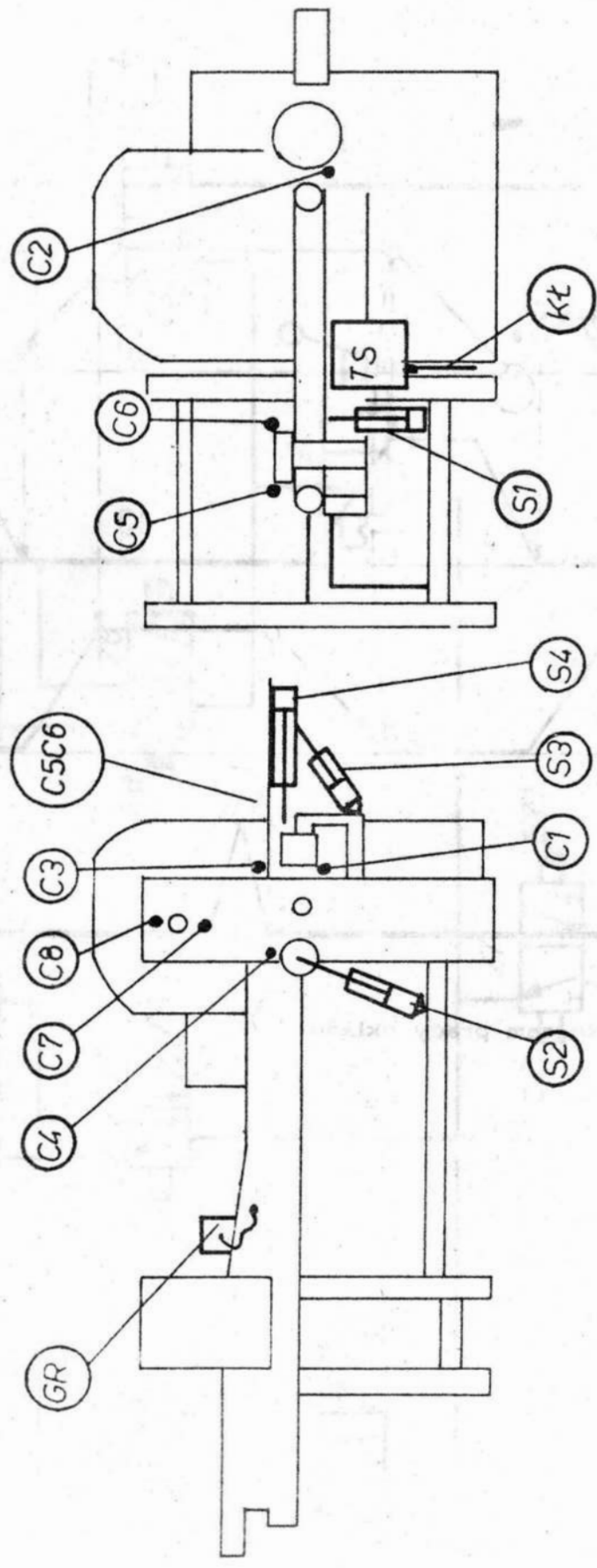
Oznaczenie	Spełniane zadanie
1. Przekazniki	
C1	Generowanie sygnału początku cyklu, pojawiającego się po zawinięciu 10-ciu cukierków.
C2	Sygnalizacja postoiu transportera zawijarki tj. okresu w którym może odbywać się wprowadzanie cukierków z podajnika na zawijarkę.
C3	Informacja o położeniu podajnika (odbiór cukierków z krajalnicy).
C5	Informacja o przebiegu procesu podawania cukierków do zawijarki.
C6	
C7	Sygnalizacja ucięcia cukierków.
C8	Informacja o górnym położeniu noża.
2. Siłowniki	
S1	Napęd noża gilotynowego.
S2	Napęd transportera i walców wspomagających krajalnicy.
S3	Unoszenie do góry podajnika.
S4	Napęd podajnika.
GR	Dodatkowy generator z przekaznikami C9 i C10 umożliwiający samodzielną automatyczną pracę krajalnicy w sytuacji zatrzymania zawijarki.
TS	Tablica sterownicza urządzenia.
KŁ	Kabel łączeniowy umożliwiający rozdzielenie krajalnicy i zawijarki.
P	Przełącznik rodzaju pracy.
L	Lampki sygnalizacyjne.
W	Przyciski do ręcznego sterowania pracą siłowników



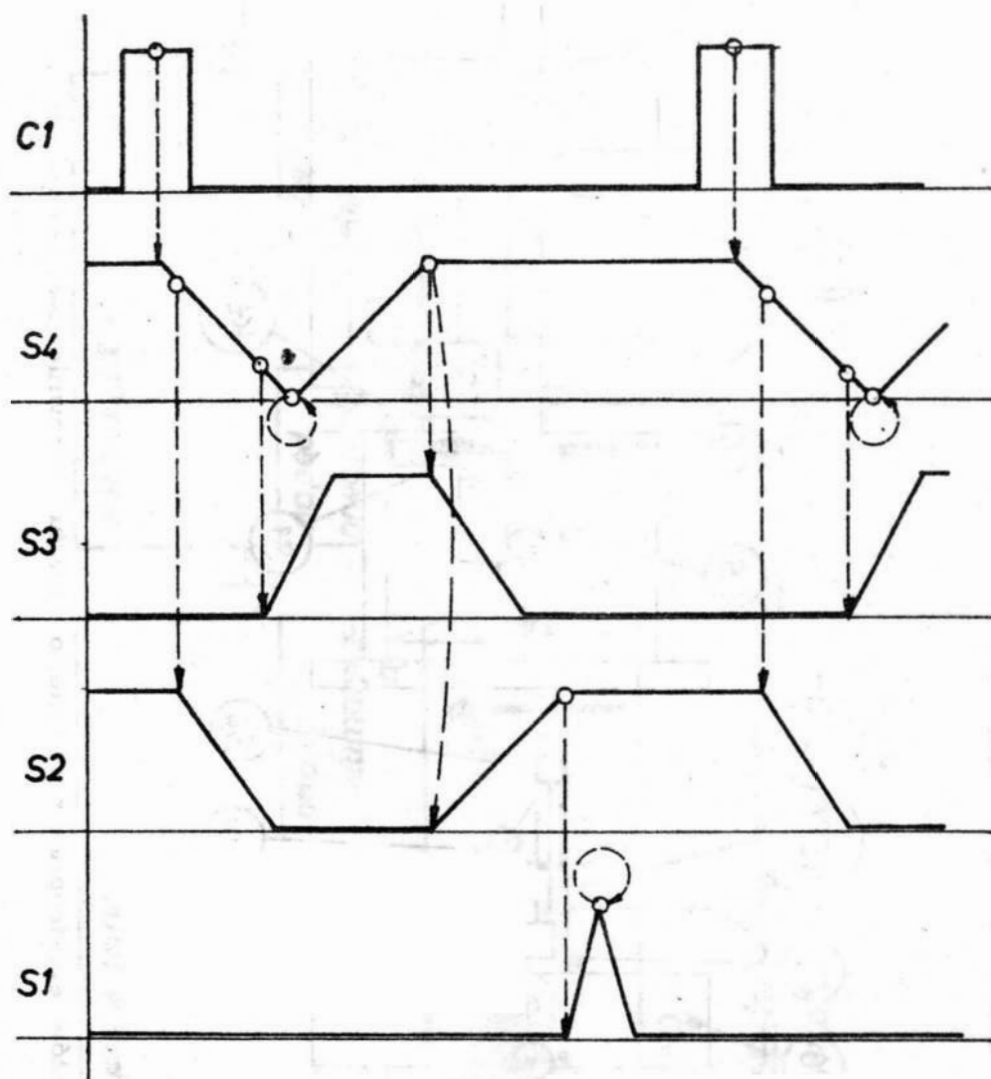
rys. 1. Schemat ideowy agregatu formująco-zawijającego do pomadek mlecznych "Krówka"



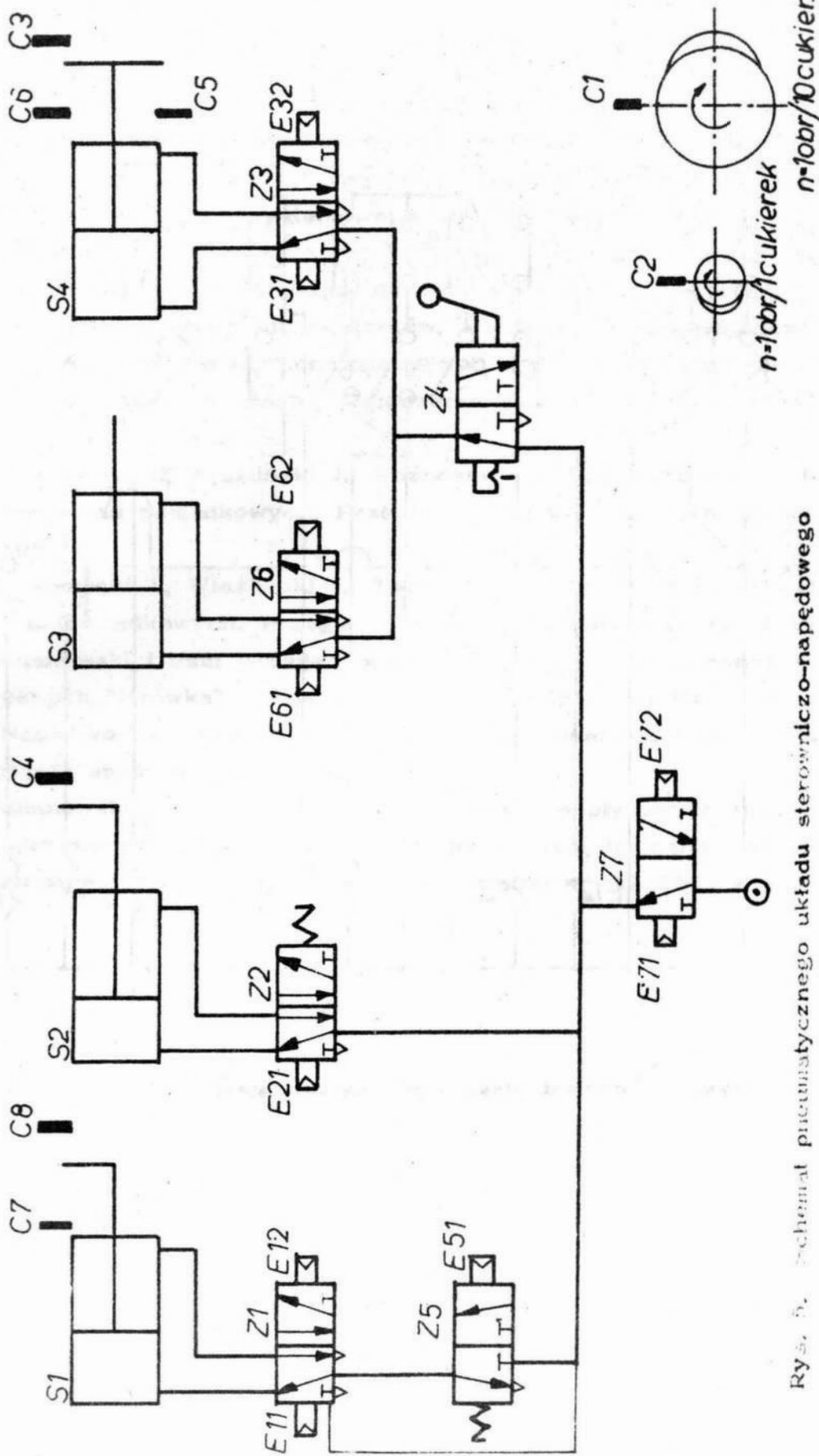
Rys. 2. Schemat ideowy układu sterowania i napędu agregatu formującego - zawijającego



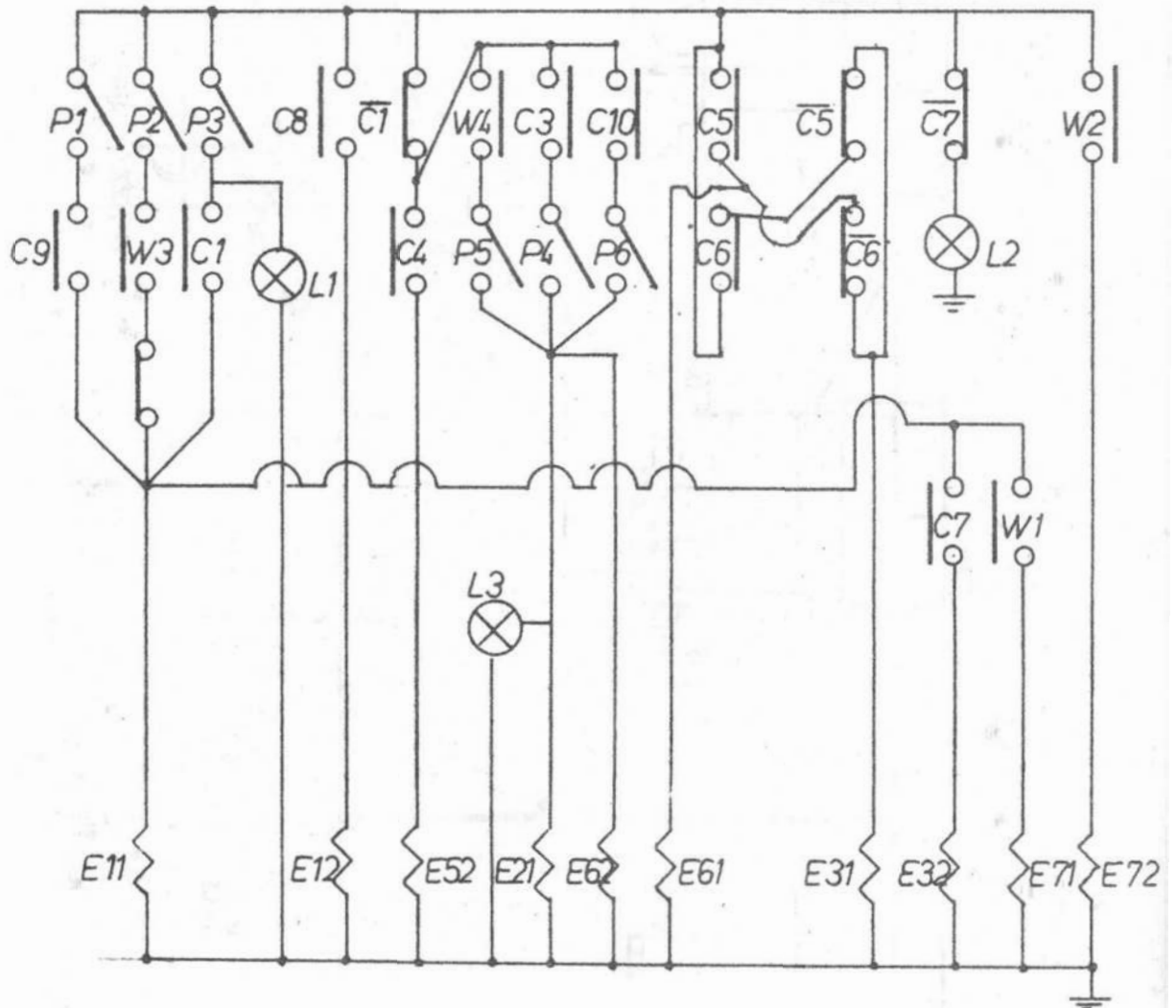
Rys. 3. Schemat rozmieszczenia elementów elektropneumatycznego układu sterowniczo-napędowego



Rys. 4. Cyklogram pracy układu



Rys. 5. Schemat pneumatycznego układu sterowniczo-napędowego



Rys. 6. Schemat elektryczny układu sterowania

Literatura

1. Milanowski J. i inni: Sposób obróbki masy pomadkowej w produkcji niekryształicznych pomadek mlecznych nienadziejanych zwłaszcza pomadek o konsystencji ciągliwej przechodzącej w kruchą. Zgłoszenie patentowe z dn. 15.04.1982 r. WSInż. w Koszalinie.
2. Milanowski J. i inni: Układ sterowania i napędu urządzeń do formowania i zawijania cukierków, a zwłaszcza niekryształicznych mlecznych pomadek nienadziejanych o konsystencji ciągliwej przechodzącej w kruchą. Zgłoszenie patentowe z dn. 15.04.82 r. WSInż. w Koszalinie.
3. Milanowski J., Właźliński J.: Pożądane postacie wyrobów z mlecznych mas pomadkowych. Przegląd Piekarski i Cukierniczy nr. 2 1983 r.
4. Milanowski J., Właźliński J.: Technologia wyrobów z mlecznych mas pomadkowych. Przegląd Piekarski i Cukierniczy nr 3 1983r.
5. Milanowski i inni: Agregat formująco-zawijający do pomadek mlecznych "Krówka". W materiałach III Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. "Budowa i eksploatacja maszyn przemysłu spożywczego". Lublin 1984 r.
6. Milanowski J., Kiczowski T.: Projektowanie płynowych układów sterowniczo napędowych z centralną częścią logiczną metodami formalnymi. Pomiar Automatyka Kontrolna nr 12 1983 r.

Streszczenie

W pracy przedstawiono budowę oraz zasadę działania agregatu formująco-zawijającego do pomodek mlecznych "Krówka" oraz układu do jego sterowania i synchronizacji pracy.

Summary

The system for steering and driving of the instalation for shaping and wrapping of milk sweets "Krówka"

The structure and word principles of the instalation for shaping and wrapping of milk sweets "Krówka" and its steering and driving system are presented in the work.

Система управления и привода формирующего и заверточного агрегата для молочных конфет "Крówka"

В работе представлены конструкция и принцип действия формирующего и заверточного агрегата для молочных конфет "Крówka".

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego

O POTRZEBIE ZMIAN ROZWIĄZAŃ UKŁADÓW POMIAROWYCH
DLA PRZECHOWALNI ZIEMNIAKÓW

Jerzy Milanowski, Jan Dłaczuk

1. W s t ę p

W przechowalniach ziemniaków technologicznie istotne są informacje pomiarowe o następujących temperaturach: temperaturze powietrza wewnętrznego (t_{pw}), temperaturze ziemniaków (t_z), temperaturze powietrza mieszanego (t_{pm}), temperaturze powietrza zewnętrznego (t_{pz}), temperaturze powietrza nawiewanego (t_{pn}), (może ono być równe t_{pw} - przy wentylacji obiegowej, t_{pz} - przy wentylacji powietrzem zewnętrznym, t_{pm} - przy wentylacji powietrzem mieszanym lub temperaturze powietrza chłodnego t_{pch} - przy wentylacji powietrzem obrobionym w chłodnicy).

Ważne są też informacje o wilgotnościach względnych powietrza wewnętrznego (W_{pw}), powietrza zewnętrznego (W_{pz}), powietrza mieszanego (W_{pm}) oraz powietrza nawiewanego (W_{pn}). Informacje o zakresach i kinetyce zmian tych parametrów oraz warunkach, dokładności i lokalizacji pomiarów zestawiono w tabelicy 1.

Jak widać z tabelicy, charakter pracy poszczególnych czujników jest istotnie zróżnicowany i może wymagać stosowania odpowiednich odmian konstrukcyjnych elementów pomiarowych. Wymagane zakresy i dokładności pomiarów nie są ujęte w typoszeregach produkowanych dotychczas w kraju. Utrudnia to istotnie dobór elementów pomiarowych i kompletację układów pomiarowych i instalacji pomiarowo-sterowniczych. Tradycyjne instalacje pomiarowo-sterownicze stosowane w przechowalniach ziemniaków składają się w wersji rozwiniętej z dwóch części: instalacji zdalnego pomiaru i kontroli (IZPK) oraz instalacji pomiarowej współpracującej z układem automatycznego sterowania (IPSA). Struktura instalacji pomiarowo-sterowniczej zależy istotnie od rodzaju występujących w nich składowych modułów konstrukcyjno-funkcyj-

nalnych. Jak widać na rysunku 1 podstawowymi modułami konstrukcyjnymi występującymi w obu częściach tradycyjnej instalacji pomiarowo-sterowniczej są: czujniki, linie (kanały) przesyłowe, przetworniki linii (kanałów), układy przetwarzająco-porównujące i wzmacniające (ewentualnie oddzielne układy przetwarzające, porównujące i wzmacniające) oraz mierniki (czasem wskaźniki) - składające się a układy pomiarowe oraz układ sterujący i elementy wykonawcze. Jedną z przyczyn rozdzielenia instalacji pomiarowo-sterowniczej na części (IZPK, IPSA) jest konieczność galwanicznej separacji układów pomiarowych współpracujących z instalacją automatycznego sterowania od układów zdalnego pomiaru i kontroli. Nie jest to jednak przyczyna jedyna. Kolejna przyczyna tkwi w strukturze stosowania składowych układów pomiarowych co wyjaśnione zostanie w dalszej części pracy. Sposób przedstawienia wyjściowej informacji pomiarowej oraz struktura układów pomiarowych stosowanych w dwu wymienionych uprzednio częściach instalacji pomiarowo-sterowniczej (IZPK i IPSA) są odmienne. Podstawowymi celami tej pracy są: analiza struktury układów pomiarowych występujących dotychczas w poszczególnych częściach instalacji pomiarowo-sterowniczej (IZPK, IPSA) oraz sformułowanie wniosków co do cech i struktury przyszłościowych układów pomiarowych w kontekście wykorzystania w ich budowie techniki elementów scalonych i mikroprocesorów.

2. T r a d y c y j n e u k ł a d y p o m i a r o w e

W IZPK jako części instalacji pomiarowo-sterowniczej stosowane są układy pomiarowe z możliwością bezpośredniego lub zdalnego odczytu. W układach pierwszego rodzaju (odczyt bezpośredni) stosowane są głównie elementy stykowe nieelektryczne działające na zasadzie rozszerzalności cieczy (termometry cieczowe). W układach pomiaru zdalnego wykorzystane są elementy pomiarowe elektryczne a zwłaszcza rezystancyjne i termoelektryczne współpracujące z innymi elementami. Szczegółowe opisy budowy i działania układów pomiarowych ze zdalnym odczytem podane są w literaturze [1, 2, 3, 4, 5]. Wykorzystując informacje literaturowe struktury układów pomiarowych ze zdalnym odczytem występujących w IZPK przedstawić można blokowo w sposób pokazany na rysunkach 2a, b, c, d, e .

Przedstawione struktury układów pomiarowych różnią się liczbą linii (kanałów) i związanym z tym występowaniem przełącznika linii (kanałów), układu porównującego, dokładnością pomiarów związaną między innymi z występowaniem np. mostkowych układów pomiarowych oraz poziomem sygnałów związanym z występowaniem układów wzmacniających. Wspólnymi cechami wszystkich przedstawionych układów są: analogowy charakter wszystkich sygnałów, konstrukcyjne wyodrębnienie elementy pomiarowe i występowanie miernika wizualizującego informację. Czasem występują odmiany przedstawionych układów, w których w miejsce jednego elementu pomiarowego występuje element pomiarowy i przetwornik lub kilka elementów pomiarowych, mogą też wstąpić analogowe układy przeliczające. W IPSA jako części instalacji pomiarowo-sterowniczej występują układy pomiarowe, których sygnał wyjściowy ze względu na konieczność dalszej obróbki ma charakter elektryczny (napięciowy lub prądowy). Szczegółowe opisy budowy i działania układów pomiarowych z napięciowym lub prądowym sygnałem wyjściowym można znaleźć w literaturze [1, 2, 3, 4, 5].

Wykorzystując te informacje struktury omawianych układów pomiarowych występujących w IPSA przedstawić można blokowo w sposób pokazany na rysunkach 3a, b, c. Przedstawione struktury na rysunkach 3a, b, c różnią się występowaniem lub nie komutatora i wzmacniacza. Cechami wspólnymi są: analogowy charakter wszystkich sygnałów, napięciowy lub prądowy charakter sygnału wyjściowego, występowanie wyodrębnionych konstrukcyjnie elementów pomiarowych i linii przesyłowych. Porównując struktury układów pomiarowych stosowanych w IPSA zauważyć można, że tylko niektóre układy pomiarowe stosowane w IZPK mają strukturę zbliżoną do odpowiednich układów stosowanych w IPSA.

Są to układy zawierające wychyłowy zespół porównujący. Ponieważ w praktyce tradycyjnych instalacji pomiarowo-sterowniczych bardzo często stosuje się pozostałe rodzaje układów pomiarowych, stąd konieczność oddzielnych części instalacji pomiarowo-sterowniczych. W przypadku stosowania układów pomiarowych z wychyłowym zespołem porównującym teoretycznie możliwe jest wykorzystanie sygnału z zespołu porównującego jednocześnie dla celów kontroli jak i sterowania. Ze względu na wzajemny wpływ obciążenia miernika i

układu sterującego dąży się praktycznie do ich galwanicznego oddzielenia. Cechy tradycyjnych układów pomiarowych, takie jak analogowy charakter wszystkich sygnałów, konstrukcyjne wyodrębnienie elementów pomiarowych, stają się obecnie ich podstawowymi mankamentami. Do zalet układów pomiarowych z analogowymi sygnałami wyjściowymi zaliczyć można istnienie sprawdzonych w wieloletniej praktyce prostych struktur układowych oraz rozwiązań elementów składowych. Posiadają one również wiele wad. Wyjściowe sygnały analogowe są bardzo wrażliwe na zakłócenia. W przypadku współpracy z mikroprocesorami lub innymi układami cyfrowymi konieczne jest stosowanie przetwórników analogowo-cyfrowych (A-C), co zwiększa zawodność i koszty instalacji pomiarowych. Przykładem opracowanego w kraju układu pomiarowego działającego na tej zasadzie jest system zdalnego pomiaru i rejestracji temperatury [7]. W przytoczonym przykładowo układzie i jemu podobnych rozwiązuje się jeden z istotnych problemów pomiarowych przechowalnictwa, jakim jest konieczność pomiarów wielopunktowych np. temperatury ziemniaków. Pomiary takie o tradycyjnych instalacjach pomiarowo-sterowniczych jedynie w IPZK realizowane są wielopunktowo, zaś w IPSA realizowane są najczęściej w jednym punkcie, czasem kilku alternatywnych.

3. Przyszłościowe układy i instalacje pomiarowe

Obecnie coraz szerzej stosuje się cyfrowe układy, w których przejście na sygnał dyskretny następuje już w części początkowej. Wiąże się to ściśle z szerokim wprowadzeniem mikroprocesorów. Budowę takich układów ułatwia wykorzystanie w nich elementów scalonych. Dla uzyskania sygnału dyskretnego już w początkowej części układu korzystne jest konstrukcyjne zblokowanie takich elementów układu pomiarowego jak: elementy pomiarowe, porównujące, wzmacniające i przetwarzające sygnał analogowy na cyfrowy. Za takim konstrukcyjnym zblokowaniem przemawia również ułatwienie montażu układu oraz wyeliminowanie możliwości błędów montażowych i uszkodzeń w miejscach połączeń w trakcie eksploatacji. Tak zblokowane elementy konstrukcyjne są oczywiście znacznie bardziej

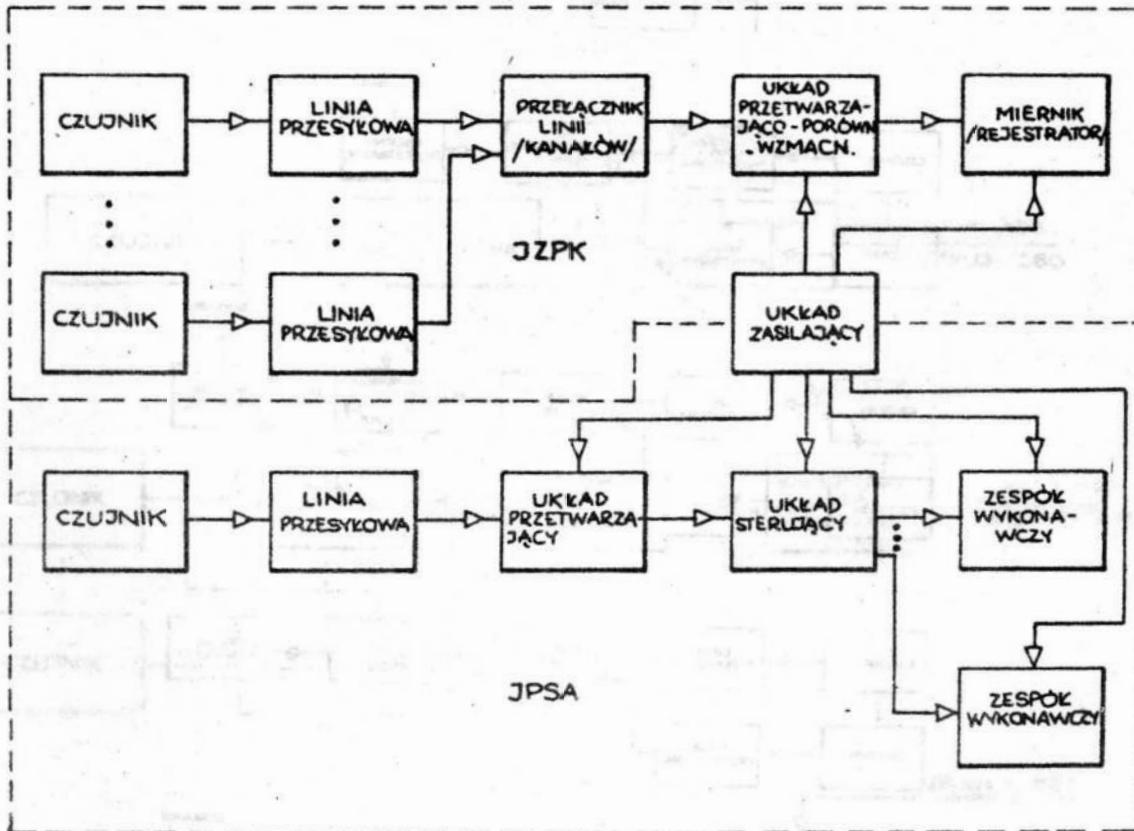
skomplikowane od dotychczasowych, jednakże wobec szerokiego zastosowania elementów scalonych komplikacja ta nie odgrywa większej roli, a gabaryty elementów konstrukcyjnych ulegają nawet pomniejszeniu. Strukturę instalacji pomiarowo-sterowniczej wykorzystującej mikroprocesor i układ pomiarowy z wyjściem cyfrowym pokazano na rysunku 4. W układzie takim następuje naturalne zespolenie w jedną całość IZPK i IPSA występujących w instalacjach analogowych. Umożliwia on też łatwą realizację pomiarów wielopunktowych. Istotnym problemem budowy takich instalacji jest obecnie brak odpowiednich układów pomiarowych temperatur i wilgotności ze zuniifikowanym dyskretnym sygnałem wyjściowym. Do budowy takich układów wykorzystać można nowe odmiany elementów pomiarowych, np. elementy kwarcowe do pomiaru temperatur [6]. Aktualnie prowadzone są intensywne badania rozwojowe zastosowań części centralnej systemów mikroprocesorowych, czego przykładem są zastosowania urządzeń INTELDIGIT PI [8].

4. W n i o s k i k o ń c o w e

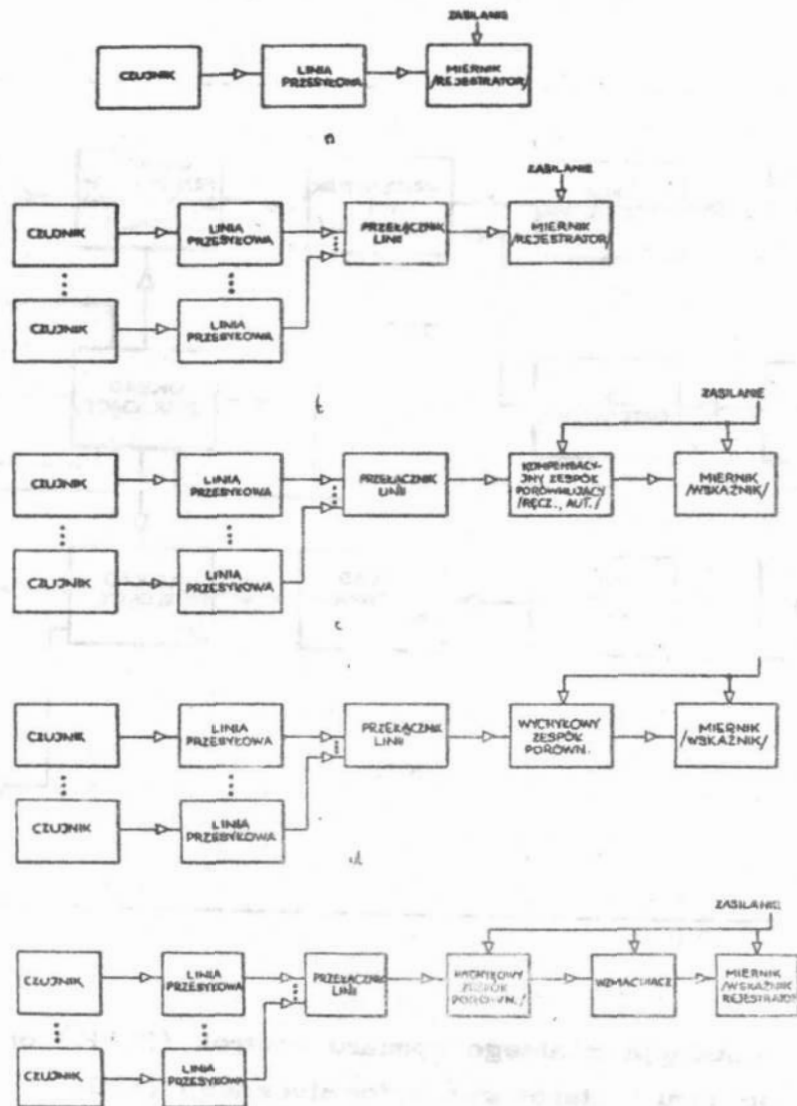
Przedstawione wyżej informacje zdają się dowodzić, iż obecnie tradycyjne układy pomiarowe stają się przestarzałe, a w warunkach kolejnej rewolucji technicznej związanej z szerokim wprowadzeniem mikroprocesorów a nawet mikrokomputerów konieczna jest rewizja w zakresie elementów i układów pomiarowych, które będą w najbliższym czasie produkowane w kraju dla pomiarów temperatury i wilgotności w przechowalniach ziemniaków.

Zdaniem autorów należy już teraz rozpocząć działania zmierzające do przedstawienia krajowej produkcji na zablokowane układy pomiarowe z cyfrowym zuniifikowanym sygnałem wyjściowym. W związku z tym konieczne jest podjęcie szeroko zakrojonych prac badawczych nad opracowaniem konstrukcji i wdrożeniem do produkcji takich układów pomiarowych z ewentualnym wykorzystaniem nowych rodzajów elementów pomiarowych. W okresie przejściowym doprowadzić należy do sytuacji łatwej dostępności w kraju poszczególnych modułów funkcjonalno-konstrukcyjnych wchodzących w skład tradycyjnych analogowych układów pomiarowych, zwłaszcza układów z wychyłowym zespołem porównującym.

Konieczne jest też, aby zakresy produkowanych elementów pomiarowych i mierników uwzględniały wymagania przechowywania ziemniaków.

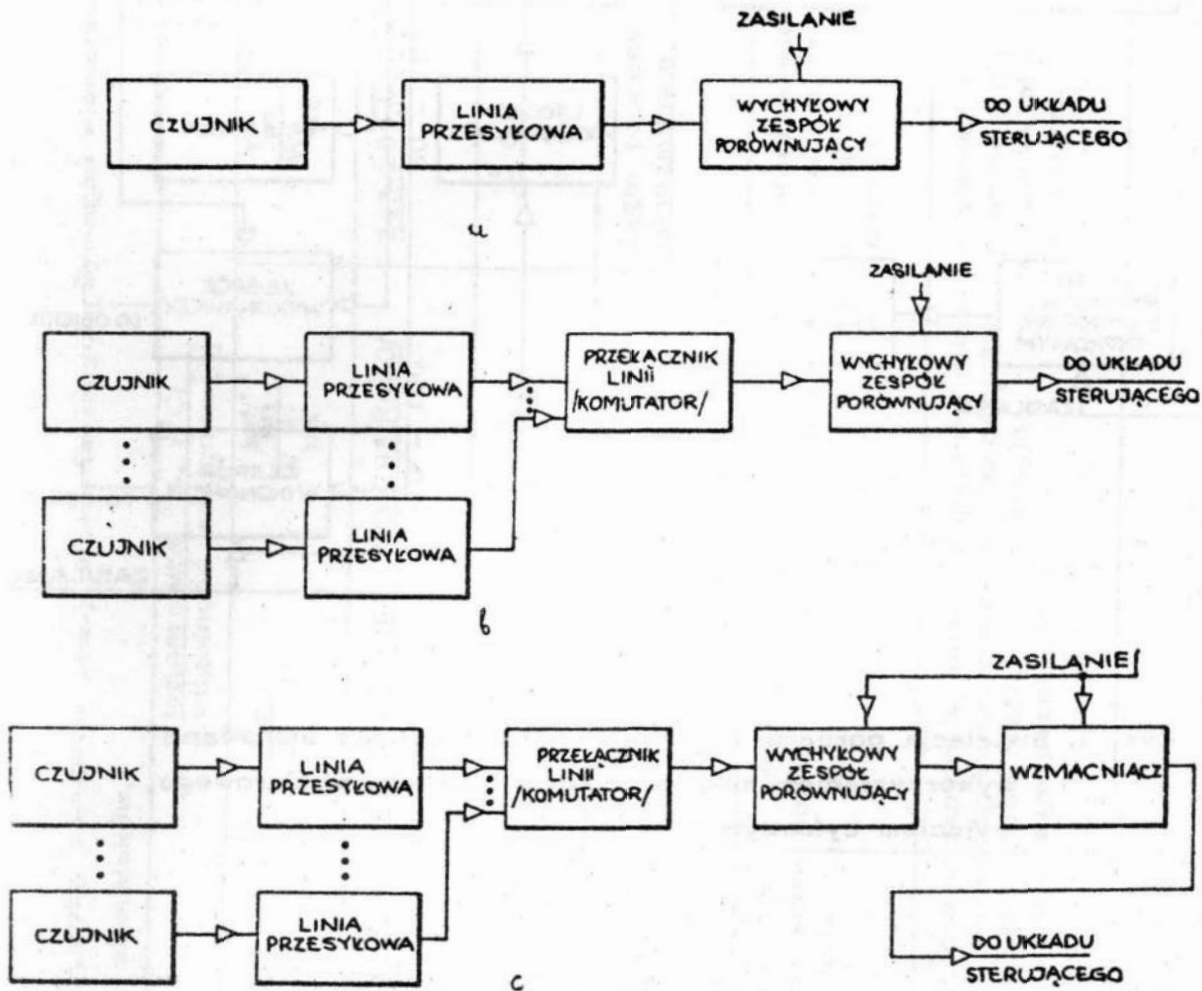


Rys. 1. Instalacja zdalnego pomiaru kontroli (IZPK) oraz instalacja pomiaru i sterowania automatycznego (IPSA)



Rys. 2. Struktury układów pomiarowych występujących w instalacjach zdalnego pomiaru i kontroli (IZPK)

- a - układ jednokanałowy prosty
- b - układ wielokanałowy prosty
- c - układ wielokanałowy z kompensacyjnym zespołem porównującym (RECE., AUT.)
- d - układ wielokanałowy z wychyłowym zespołem porównującym
- e - układ wielokanałowy z wychyłowym zespołem porównującym i wzmacniaczem

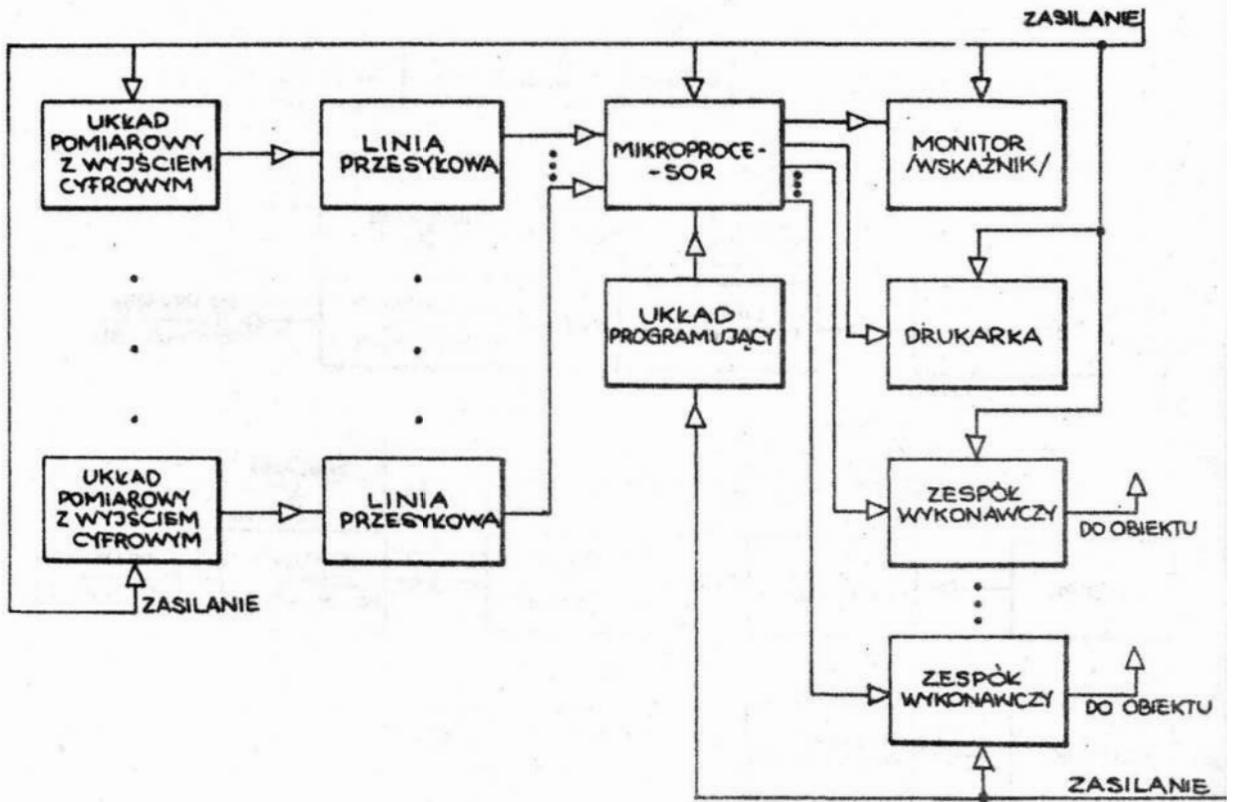


Rys. 3. Struktury układów pomiarowych występujących w instalacjach pomiaru i sterowania automatycznego (IPSA)

a - układ jednokanałowy

b - układ wielokanałowy

c - układ wielokanałowy ze wzmacniaczem



Rys. 4. Instalacja pomiaru, kontroli i automatycznego sterowania z wykorzystaniem mikroprocesora i układu pomiarowego, z wyjściem cyfrowym

Tablica 1. Ogólna charakterystyka warunków pracy oraz stawianych wymagań elementom pomiarowym w przechowalniach ziemniaków.

mierzonej pa- ramet.		temperatura $^{\circ}\text{K}$, $^{\circ}\text{C}$ wilgotność względna [%]			
ogólna charakte- rystyka, wy- magania	$\frac{t_{pw}}{W_{pw}}$	$\frac{t_z}{-}$	$\frac{t_{pn}}{W_{pn}}$	$\frac{t_{pz}}{W_{pz}}$	$\frac{t_{pm}}{W_{pm}}$
zakres pomiaru	$\frac{273-298}{60-100} / \frac{0-25}{60-100}$	$\frac{273-293}{-} / \frac{0-20}{-}$	$\frac{273-293}{60-100} / \frac{0-20}{60-100}$	$\frac{243-203}{50-100} / \frac{-30-+30}{50-100}$	$\frac{273-293}{70-100} / \frac{0-20}{70-100}$
dokładność pomiar pomiaru	$\frac{+0,2}{-1,0}$	$\frac{+0,5}{-}$	$\frac{+0,2}{-1,0}$	$\frac{+0,5}{-1,0}$	$\frac{+0,2}{-1,0}$
dynamika zmian	ciągłe procesy wolnozmienne	ciągłe procesy wolnozmienne	ciągłe procesy, szybkozmiennie, procesy zmienne skokowo	ciągłe procesy wolnozmienne	ciągłe procesy szybkozmiennie, procesy zmienne skokowo
Właściwość	ścisła pryzma lub stosem, na ścia- nach przechowa- nia	w przyźmie lub stosie	w kanale wen- tylacyjnym	w otworze wlo- towym lub na zewnątrz prze- chowalni	w kanale wen- tylacyjnym lub komorze symu- lacyjnej /mieszania/
warunki pracy	zapylenie, duża wilgotność, nara- żenie na uszko- dzenia mecha- niczne	zapylenie, duża wilgotność, obec- ność stałych cząsteczek ziemi	zapylenie, duża wilgotność, duża wibracja	zapylenie, nara- żenie na wpływ warunków atmo- sferycznych	zapylenie, duża wilgotność

Literatura

1. Kołodziejczyk L., Mańkowski S., Rubik M.: Pomiarzy w inżynierii sanitarnej. Arkady. Warszawa 1980 r.
2. Kostyrko K., Okołowicz L., Grabowska B.: Pomiarzy i regulacja wilgotności w pomieszczeniach. Arkady. Warszawa 1971 r.
3. Łapiński M., Kostyrko K., Włodarski W.: Nowoczesne metody pomiaru i regulacji wilgotności. WNT, Warszawa 1968 r.
4. Michalski L., Eckersdorf K.: Pomiarzy temperatury WNT, Warszawa 1969 r.
5. Profos P.(red.) i inni: Handbuch der Industriellen Messtechnik, Vulkan-Verlag-Essen 1978 r.
6. Quartz Thermometer. Prospekt firmowy nr 2801 A firmy Hewlett - Packard.
7. System zdalnego pomiaru i rejestracji temperatury. Teleterm MC. Prospekt ZAP w Ostrowie Wielkp.
8. Urządzenia sprzężenia komputerów z elementami automatyki i pomiarów. Informator zastosowań części centralnej POLMATIK INTE. INTEL DIGIT PL. Wyd. MERA-PIAP. Warszawa 1984.

Streszczenie

W pracy przeanalizowano cechy i strukturę układów pomiarowych występujących w tradycyjnych instalacjach pomiarowo-sterowniczych stosowanych w przechowalniach ziemniaków. Sformułowano wnioski dotyczące przyszłościowych układów pomiarowych o cechach i strukturze przystosowanej do współpracy z mikroprocesorami.

Summary

About change need of solutions of measuring systems for potato storage.

The properties and structures of traditional measuring systems used in potato storage are analysed in the work. The conclusions for future of these systems cooperating with microprocessors are given.

Об потребностях изменения структуры измерительных систем в хранилищах картофеля

В работе проведен анализ традиционных измерительных систем выступающих в хранилищах картофеля. Сформулированы выводы касающиеся будущих измерительных систем со структурой пригодной для применения микропроцессоров.

Zeszyt 7/1985: Prace Wydziału Mechanicznego,

MODEL PROCESÓW WYMIANY CIEPŁA I MASY W WARSTWIE ZIEM-
 NIĄKÓW PODCZAS SKŁADOWANIA DŁUGOTRWAŁEGO

Ewa Wachowicz, Tomasz Kiczowskiak

1. W s t ę p

Prawidłowe przechowywanie ziemniaków w przechowalni wiąże się z zapewnieniem pożądaných zmian i stanów temperatury oraz zawartości wody w bulwach ziemniaków i otaczającym je powietrzu. Gwarantuje to najwyższą jakość bulw po zakończeniu procesu przechowywania, a co się z tym wiąże, minimalizację strat masy. Technolodowie przechowalnictwa w oparciu o długoletnią praktykę sprecyzowali wymagania dotyczące mikroklimatu w przechowalni. I tak w najdłuższym, i wydaje się że najważniejszym, etapie przechowywania, zwanym składowaniem długotrwałym, temperatura powietrza otaczającego bulwy ziemniaków wynosić powinna 4-6°C /w zależności od odmiany ziemniaków/, zaś dla ziemniaków przemysłowych 6°C. Wymagana wilgotność względna powietrza otaczającego bulwy w warstwie mieścić się winna w granicach 85-95%. Jednakże realizacja techniczna tych wymagań w przechowalni sprawia trudności. Nie wystarczy, wykorzystując układy wentylacji, zapewnić na początku składowania długotrwałego wymagany mikroklimat w przechowalni. Parametry techniczno-wilgotnościowe warstwy ziemniaków zmieniają się bowiem podczas przechowywania. Zmiany te są ściśle związane z procesami biologicznymi (oddychanie) oraz fizykochemicznymi (parowanie) zachodzącymi w bulwach. Podczas procesu oddychania ziemniaków, polegającego na utlenianiu związków organicznych, wydzielane są dwutlenek węgla i ciepło. Miara intensywności parowania jest masa wody przemieszczająca się z bulw do otaczającego je powietrza. W wyniku tych procesów zmienia się skład chemiczny bulw (pogarsza się ich jakość).

Adres: mgr inż. Ewa Wachowicz, mgr inż. Tomasz Kiczowskiak

Wyższa Szkoła Inżynierska, ul. Raclawicka 15/17

75-620 Koszalin

Przy tym istnieje sprzężenie zwrotne pomiędzy intensywnością procesów zachodzących w ziemniakach i mikroklimatem w przechowalni. Intensywność procesów oddychania i parowania jest bowiem głównie funkcją parametrów termiczno-wilgotnościowych oraz odmiany ziemniaków, a także czasu przechowywania.

Dzięki nawiewowi do warstwy ziemniaków powietrza o pożądanej temperaturze i zawartości wilgoci można wpływać na wartości parametrów termiczno-wilgotnościowych ziemniaków i powietrza je otaczającego w warstwie. Mamy tu jednak do czynienia z konfliktem racji. Z jednej strony załączenie układów wentylacji w przechowalni jest konieczne, ponieważ powietrze omywające bulwy odbiera i odprowadza na zewnątrz budynku przechowalni niepożądane ciepło wydzielane podczas oddychania. Z drugiej jednak strony, każdorazowe załączenie układów wentylacji pociąga za sobą osuszenie bulw, gdyż nawiewane powietrze ma na ogół niższą zawartość wilgoci niż zawartość wilgoci w powietrzu otaczającym bulwy. Zachodzi zatem potrzeba stworzenia matematycznego modelu wymiany ciepła i masy w warstwie ziemniaków, dzięki któremu możliwe byłoby przeprowadzenie badań symulacyjnych pozwalających oszacować m.in.:

- wartości zmian w czasie temperatury i zawartości wody w ziemniakach i powietrzu w warstwie,
- rozkład temperatur i zawartości wody w ziemniakach i w powietrzu w warstwie wzdłuż wysokości tej warstwy.

W oparciu o te badania możliwe będzie opracowanie algorytmów sterowania pracą urządzeń wentylacji i klimatyzacji odpowiednich ze względu na jakość bulw po zakończeniu procesu składowania długotrwałego w przechowalni.

Stworzenie modelu wymiany ciepła i masy w warstwie ziemniaków wymaga wcześniejszego określenia właściwości fizycznych ziemniaków i powietrza je otaczającego. Poniżej przedstawione zostaną te właściwości.

2. C i e p ł o o d d y c h a n i a

Na podstawie wyników badań eksperymentalnych w Instytucie Ziemniaka w Jadwisinie [9] opracowano model matematyczny intensywności oddychania jednostki masy (1 tony) bulw podczas składowania długotrwałego (dla danych średnich z 3 lat dla 4 odmian ziemniaków). Model ten ma postać:

$$\frac{dq_{res}}{dt} = a t_{zi} + b \quad \left[\frac{kJ}{th} \right] \quad (1)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} q_{res} & - \text{ciepło oddychania } [J] \\ t & - \text{czas } [h], \\ t_{zi} & - \text{temperatura ziemniaków } [^{\circ}C] \\ a, b & - \text{współczynniki równe: } a = 3,615 \left[\frac{J}{t \cdot h \cdot ^{\circ}C} \right], \\ & b = 37,632 \left[\frac{J}{t \cdot h} \right]. \end{aligned}$$

Wydaje się, że wartość ciepła oddychania wyznaczona zgodnie z (1) jest zawyżona w stosunku do wartości podawanych przez innych autorów o około 10%. Model obowiązuje dla przedziału temperatur ziemniaków $0^{\circ}C \leq t_{zi} \leq 14^{\circ}C$ oraz czasu przechowywania t $0 \leq t \leq 6$ miesięcy.

3. Wilgotność równowagowa

Wilgotność równowagowa to zawartość wody w ziemniakach i w powietrzu w warstwie, jaka ustala się po zakończeniu procesu wymiany masy. Wartość wilgotności równowagowej zależy od temperatury i zawartości wody w powietrzu otaczającym bulwy. Na podstawie [3] i [5] wyprowadzono matematyczną zależność wiążącą podane wyżej parametry.

$$W_r = c W_{pw} - d t_{pw} - e \quad \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{zi}} \right] \quad (2)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} W_r & - \text{wilgotność równowagowa } \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{zi}} \right] \\ W_{pw} & - \text{zawartość wilgoci w powietrzu w warstwie } \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{pw}} \right] \\ t_{pw} & - \text{temperatura powietrza w warstwie } [^{\circ}C] \\ c, d, e & - \text{współczynniki równe: } c = 162,87 \left[\frac{kg_{pw}}{kg_{zi}} \right] \end{aligned}$$

$$d = 0,02 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{zi} \cdot ^{\circ}C} \right] \quad e = 0,19 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{zi}} \right]$$

Indeks "pw" dotyczy parametrów powietrza wewnątrz warstwy, zaś indeks "zi" - ziemniaków.

Ponieważ w zależności (2) składnik związany z temperaturą powietrza t_{pw} oraz wyraz wolny mają małą wartość w porównaniu

z wyrazem związanym z wartością wody w powietrzu W_{pw} zależność (2) można uprościć do postaci:

$$W_r = 162,87 W_{pw} \left[\frac{\text{kg}_{H_2O}}{\text{kg}_{zi}} \right] \quad (3)$$

dla przedziału temperatur $0^\circ\text{C} \leq t_{pw} \leq 10^\circ\text{C}$ spotykanych w przechowywalni podczas składowania długotrwałego.

4. Zależność właściwości fizycznych ziemniaków od zawartości wody w bulwach

Według [3], [10] ciepło właściwe, gęstość, przewodność ciepła, współczynnik przewodzenia ciepła, współczynnik dyfuzji molekularnej ziemniaków są funkcjami zawartości wody w bulwach. W organizmie biologicznym, jakim jest ziemniak, występuje ciągłe oddziaływanie ciśnienia osmotycznego, powodującego wyrównywanie się zawartości wody w całej objętości bulwy. Zawartość wody w ziemniakach bezpośrednio po zbiorze może przyjmować skrajne wartości równe 63,2% do 89% [2], [4]. Najczęściej spotykaną wartością jest 76 - 78 %. Straty masy wody występujące podczas prawidłowo realizowanego procesu przechowywania wynoszą 5-6% masy bulw. Można zatem przyjąć, że zawartość wody w przeciętnej bulwie podczas składowania długotrwałego może zmieniać się w granicach 70-78% masy bulw. Dla tego przedziału wartości zawartości wody w bulwie można przyjąć w oparciu o [10] stałość wartości wymienionych wyżej wielkości fizycznych, zaś ziemniak traktować jako ciało izotropowe.

5. Współczynniki wnikania ciepła oraz wnikania masy

W literaturze można znaleźć różne zależności pozwalające obliczyć współczynnik wnikania ciepła i masy w złożach porowatych, dla ściśle określonego materiału i rozmiarów ziaren, a także dla ściśle określonych prędkości przepływu powietrza w złożu [1], [3], [7]. Ze względu na specyficzne właściwości ziemniaków (pokrycie miąższu skórka, działanie ciśnienia osmotycznego, zróżnicowanie prędkości przepływającego powietrza w warstwie wentylowanej i niewentylowanej) wzory te mało dokładnie odzwierciedlały procesy wnikania ciepła i masy z bulw do powietrza. Zaproponowano więc nowe współczynniki wy-

miany ciepła i masy, uwzględniając tę specyfikę:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta(1-\varepsilon)} Pe \quad (4)$$

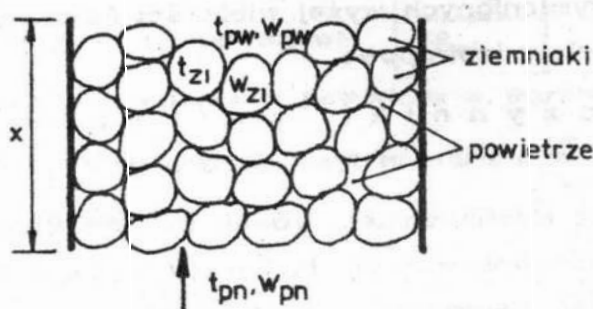
oraz

$$\beta = \frac{k \cdot D \cdot \rho_{zi}}{\delta(1-\varepsilon)} Pe_m \quad (5)$$

przy czym:

- λ - efektywny współczynnik przewodzenia ciepła w bulwach w warstwie,
- ε - porowatość warstwy,
- Pe - liczba kryterialna Pecleta (dla wymiany ciepła),
- D - efektywny współczynnik dyfuzji molekularnej w bulwach w warstwie,
- ρ_{zi} - gęstość ziemniaków,
- d_{zi} - średnica bulw,
- Pe_m - liczba kryterialna Pecleta (dla wymiany masy),
- k - poprawka, uwzględniająca ograniczenie parowania wody z bulwy przez skórkę pokrywającą miąższ. Wartość poprawki oszacowano na podstawie badań eksperymentalnych.

Poniżej przedstawiona zostanie propozycja matematycznego modelu procesów wymiany ciepła i masy zachodzących w warstwie ziemniaków podczas składowania długotrwałego. Na rys. 1 pokazano warstwę złożoną z ziemniaków i otaczającego je powietrza. Warstwa ta ma wysokość x .



Rys. 1. Warstwa ziemniaków składowanych w przechowalni

Do warstwy nawiewane jest powietrze o temperaturze t_{pn} oraz zawartości wilgoci W_{pn} . Powietrze w warstwie ma temperaturę t_{pw} i zawartość wody W_{pw} , zaś ziemniaki - temperaturę t_{zi} i zawartość wody W_{zi} .

W przechowalni wyróżnić można dwie sytuacje przechowalnicze:

- przyzma ziemniaków jest wentylowana,

- warstwa ziemniaków nie wentylowana mechanicznie.

Z pierwszą z wymienionych sytuacją mamy do czynienia, gdy średnia temperatura ziemniaków w warstwie przekroczy dopuszczalną wartość minimalną bądź maksymalną. Konieczne jest wówczas załączenie układów wentylacji, aby poprzez nawiew do warstwy powietrza o odpowiedniej temperaturze t_{pn} spowodować pożądaną zmianę temperatury średniej ziemniaków w warstwie, tak by znalazła się ona w wymaganym, dopuszczalnym przedziale wartości.

Druga z wymienionych sytuacja przechowalnicza ma miejsce w przypadku, gdy średnia temperatura ziemniaków mieści się w pożądanym, dopuszczalnym ze względów technologicznych, przedziale wartości. Układ wentylacji jest wówczas wyłączony. Mimo to w przyźmie wystąpi ruch powietrza (konwekcja naturalna), spowodowany różnicą temperatur w górnej i dolnej części warstwy.

Ponieważ procesy wymiany ciepła i masy inaczej przebiegają w ziemniakach niż w otaczającym je powietrzu w warstwie, dalej podano oddzielne modele tych procesów dla ziemniaków i powietrza w obu wymienionych wyżej sytuacjach przechowalniczych.

Model wymiany ciepła i masy w warstwie ziemniaków sformułowano w oparciu o następujące założenia:

- w przechowalni dzięki dobrej izolacji budynku nie zachodzi wymiana ciepła i masy między warstwą bulw i ścianami,
- przepływ powietrza ma charakter tłokowy,
- ciepło i masa przenoszone są drogą konwekcji,
- bulwy ziemniaka mają kształt kul.

Równania matematyczne tworzące model mają postać:

$$\rho_{zi} c_{zi} \frac{dt_{zi}}{dt} = \rho_{zi} \frac{dq_{res}}{dt} - \rho_{zi} \rho \frac{dW_{zi}}{dt} - (a\alpha)(t_{zi} - t_{pw}) \quad (6)$$

$$\rho_{pw} c_{pw} \frac{\partial t_{pw}}{\partial t} = -\rho_{pw} c_{pw} V \frac{\partial t_{pw}}{\partial x} + (a\alpha)(t_{zi} - t_{pw}) \quad (7)$$

$$\frac{dW_{zi}}{dt} = -(a\beta)(W_{zi} - W_r) \quad (8)$$

$$\frac{\partial W_{pw}}{\partial \tau} = -V \frac{\partial W_{pw}}{\partial x} + (\alpha\beta)(1-\epsilon)(W_{zi} - W_r) \quad (9)$$

Warunki brzegowe równania (7) można zapisać:

$$x = 0 \quad t_{pw} = t_{pn} \quad (10)$$

zaś równania (9):

$$x = 0 \quad W_{pw} = W_{pn} \quad (11)$$

Parametry ziemniaków oznaczono następująco: ρ_{zi} - gęstość, C_{zi} - ciepło właściwe, t_{zi} - temperatura, W_{zi} - zawartość wody w bulwach, q_{zi} - ciepło oddychania, zaś parametry powietrza znajdującego się wewnątrz warstwy oznaczono przez: ρ_{pw} - gęstość, C_{pw} - ciepło właściwe, t_{pw} - temperatura, W_{pw} - zawartość wody. Pozostałe parametry to: τ - czas, x - wysokość warstwy, r_p - ciepło parowania, a - powierzchnia właściwa, ϵ - porowatość warstwy, V - prędkość nawiewanego powietrza, α, β - współczynniki wnikania odpowiednio ciepła i masy z bulw do powietrza, W_r - wilgotność równowagowa, t_{pn} , W_{pn} - temperatura i zawartość wody w powietrzu nawiewanym do warstwy.

Równania (6) i (7) stanowią równania bilansu energii, zaś równania (8) i (9) - równania bilansu masy w ziemniakach i otaczającym je powietrzu w warstwie. Zależności na $\frac{dq_{res}}{d\tau}$, W_r , α, β opisano przedstawionymi wcześniej wzorami (1), (3), (4), (5).

Model powyższy opisuje procesy wymiany ciepła i masy w wentylowanej i niewentylowanej warstwie ziemniaków.

Przybliżone rozwiązania równań (6 ÷ 8), uzyskane po wcześniejszej linearyzacji tych równań wokół pewnych ustalonych warunków pracy, mają postać:

a) Warstwa wentylowana

$$t_{zi} = k_1 A_1 \left[1 - \frac{1}{T - T_1} \left(T e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}} - T_1 e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T_1}} \right) \right] \quad (12)$$

$$t_{pw} = k_2 A_2 \left(1 - e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T_2}} \right) \quad (13)$$

$$W_{zi} = k_3 A_3 \left(1 - e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}} \right) \quad (14)$$

$$W_{pw} = k_4 A_4 \tau (\tau - \tau_0) \quad (15)$$

b) Warstwa niewentylowana

$$t_{zi} = k'_1 A'_1 \left[(\tau - \tau'_0) - T_1 + T_1 e^{-\frac{\tau - \tau'_0}{T_1}} \right] \quad (16)$$

$$t_{pw} = k'_2 A'_2 (\tau - \tau'_0) \quad (17)$$

$$W_{zi} = k'_3 A'_3 \left[1 - \frac{1}{T - T_1} \left(T e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}} - T_1 e^{-\frac{\tau - \tau'_0}{T_1}} \right) \right] \quad (18)$$

$$W_{pw} = k'_4 A'_4 \left[\tau (\tau - \tau'_0) - e^{-\frac{\tau - \tau'_0}{T_1}} \right] \quad (19)$$

gdzie:

$k_1, \dots, k_4, k'_1, \dots, k'_4$ - współczynnik wzmocnienia,

τ_0, τ'_0 - opóźnienia transportowe,

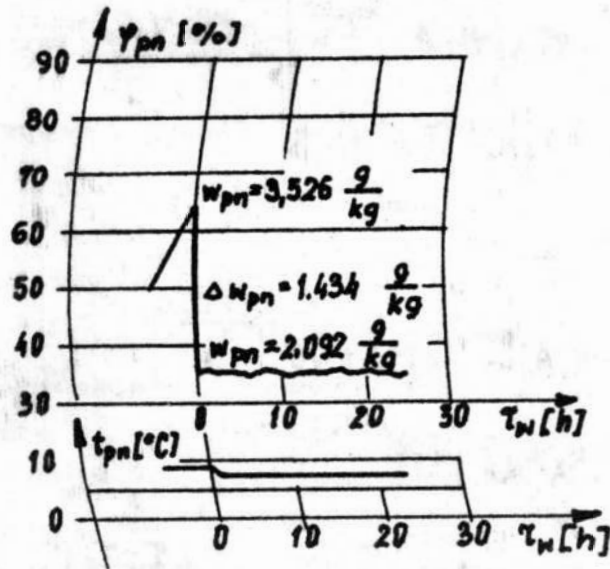
T_2, T, T' - stałe czasowe obiektów sterowania,

T_1, T'_1 - stałe czasowe wymuszeń,

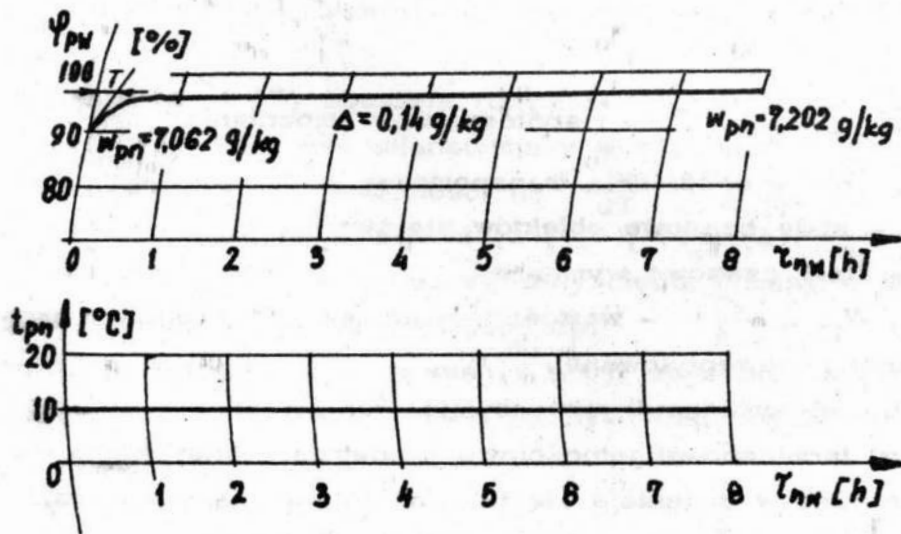
$A_1, \dots, A_4, A'_1, \dots, A'_4$ - wartości wymuszeń odpowiednio warstwy wentylowanej i niewentylowanej.

Podczas badań symulacyjnych przyjęto, że:

- parametry termiczno-wilgotnościowe powietrza nawiewanego do warstwy ziemniaków zmieniają się tak, jak to pokazano na rys.2. (załączony układ wentylacji mechanicznej) lub jak na rys. 3 (włączony układ wentylacji). Przebiegi z rys. 2 i rys. 3 zarejestrowane zostały w kanale doprowadzającym powietrze do warstwy w przechowalni ziemniaków w Głownie,
- masowe natężenie przepływu powietrza w warstwie wentylowanej mechanicznie jest równe $35 \frac{m}{t \cdot h}$ (wynik pomiaru masowego natężenia przepływu powietrza w przechowalni w Głownie), zaś w warstwie niewentylowanej - $3,5 \frac{m}{t \cdot h}$ [8].



Rys.2. Parametry termiczno-wilgotnościowe powietrza nawiewanego do warstwy ziemniaków podczas wentylacji mechanicznej (Dane eksperymentalne z przechowalni w Głownie)



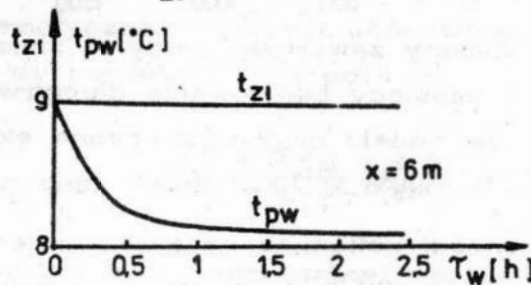
Rys.3. Parametry termiczno-wilgotnościowe powietrza wpływającego do warstwy ziemniaków podczas konwekcji naturalnej (Dane eksperymentalne z przechowalni w Głownie)

- w chwili początkowej $\tau = 0$ temperatura ziemniaków oraz temperatura powietrza je otaczającego w warstwie są sobie równe, zarówno przy włączonym, jak i przy wyłączonym układzie wentylacji,

- zgodnie z zaleceniami technologów [4], [2] czas wentylacji podczas prawidłowej realizacji procesu przechowywania powinien być równy 10% czasu przechowywania,
- ziemniaki przechowywane są przez 4 miesiące (2880 h) od listopada do lutego włącznie,
- średnie miesięczne wartości temperatury i wilgotności względnej (zawartości wilgoci) powietrza atmosferycznego są zgodne z danymi meteorologicznymi z 30-lecia dla Warszawy [6],
- przeciętne dobowe wahania zawartości dowy w powietrzu atmosferycznym wynoszą około 10% średniej dobowej [6].

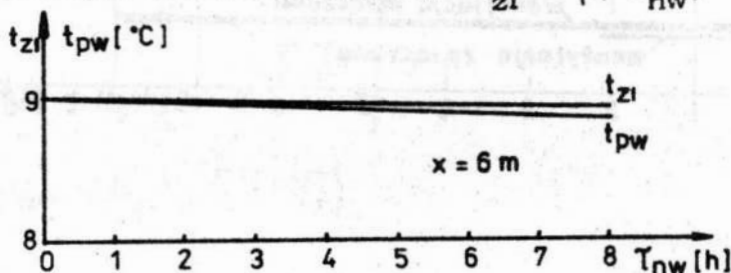
Poniżej przedstawione zostaną niektóre, z uzyskanych w wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych, zależności, a mianowicie:

- zależność temperatury ziemniaków t_{zi} w warstwie od czasu wentylacji τ_w $t_{zi} = f(\tau_w)$



Rys. 4 a. Zależność temperatury ziemniaków oraz temperatury powietrza w warstwie od czasu wentylacji. Wysokość warstwy 6m.

- zależność temperatury powietrza w warstwie od czasu wentylacji $t_{pw} = f(\tau_w)$
- zależność temperatury ziemniaków t_{zi} w warstwie od czasu τ_{nw} przy włączonym układzie wentylacji $t_{zi} = f(\tau_{nw})$

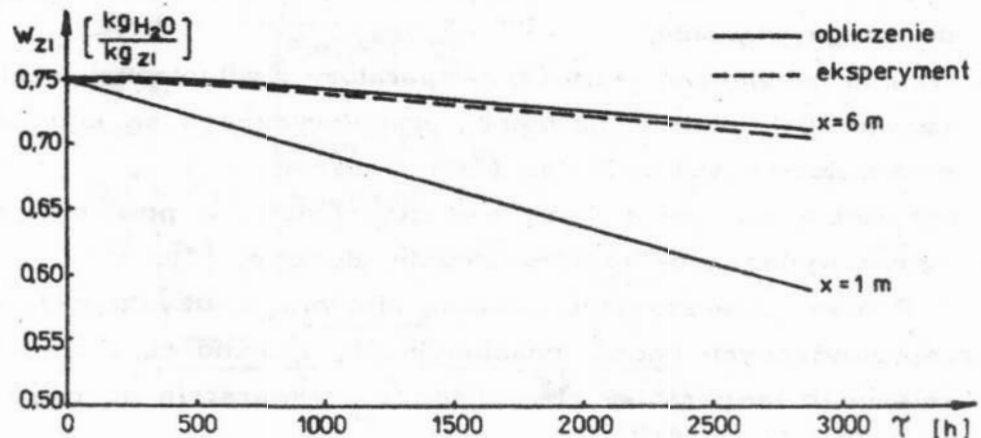


Rys. 4 b. Zależność temperatury ziemniaków oraz temperatury powietrza w warstwie od czasu wyłączenia układu wentylacji. Wysokość warstwy 6m.

- przebieg temperatury powietrza wewnątrz warstwy t_{pw} w funkcji czasu τ_{nw} przy wyłączonym układzie wentylacji $t_{pw} = f(\tau_{nw})$

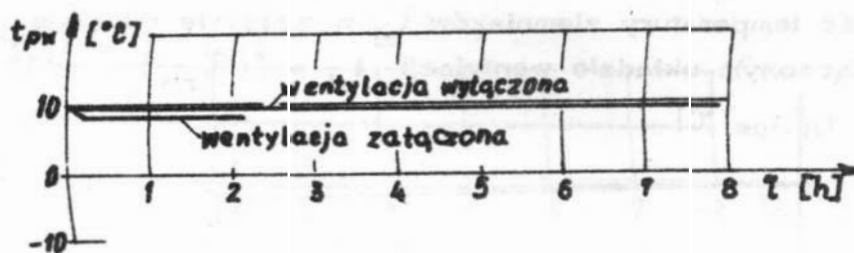
- zmiany zawartości wody w ziemniakach w warstwie podczas 6 miesięcy składowania długotrwałego obliczone na podstawie modelu oraz wyznaczone eksperymentalnie w Instytucie Ziemniaka w Jadwisinie

$$W_{zi} = f(\tau) \quad (\text{rys. 6})$$



Rys. 6. Zmiany zawartości wody w ziemniakach w warstwie podczas 4 miesięcy składowania długotrwałego, obliczone na podstawie modelu oraz wyznaczone eksperymentalnie w Instytucie Ziemniaka w Jadwisinie (dane niepublikowane).

Zależności pokazane na rys. 4 zweryfikowane zostały częściowo w oparciu o wyniki badań eksperymentalnych wykonanych w przechowalni ziemniaków w Głownie, (rys.5)



Rys. 5. Przebiegi temperatur powietrza w wentylowanej i niewentylowanej mechanicznie warstwie ziemniaków na wysokości 6 m zarejestrowane w przechowalni w Głownie.

Przebiegi zmian temperatur powietrza nawiewanego do warstwy rys.2, rys. 3 oraz powietrza na powierzchni warstwy o wysokości około 6 m

rys. 5 zarejestrowano w Głównie przy pomocy termografów typu TG-176, zaś odpowiadające im wilgotności względne powietrza - higrografami typu HG-26.

6. W n i o s k i

- a) Wyprowadzony w oparciu o wyniki badań eksperymentalnych matematyczny model intensywności oddychania ziemniaków podczas składowania długotrwałego ma postać:

$$\frac{dq_{res}}{dt} = 3,615 t_{zi} + 37,632$$

- b) Wilgotność równowagowa ustalająca się w warstwie ziemniaków po zakończeniu procesu wymiany masy, opisana jest wzorem:

$$W_r = 162,870 W_{pw}$$

- c) Proponowane modele matematyczne współczynników wnikania ciepła α oraz masy β z bulw do powietrza mają postać:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta(1-\varepsilon)} Pe \qquad \beta = \frac{K D S_{zi}}{\delta(1-\varepsilon)} Pe_m$$

- d) Parametry termiczno-wilgotnościowe wentylowanej warstwy ziemniaków wyrażone są następującymi zależnościami:

$$t_{zi} = k_1 A_1 \left[1 - \frac{1}{T - T_1} \left(T e^{-\frac{T-T_0}{T}} - T_1 e^{-\frac{T-T_0}{T_1}} \right) \right]$$

$$t_{pw} = k_2 A_2 \left[1 - e^{-\frac{T-T_0}{T_2}} \right]$$

$$W_{zi} = k_3 A_3 \left[1 - e^{-\frac{T-T_0}{T}} \right]$$

$$W_{pw} = k_4 A_4 (T - T_0)$$

- c) Parametry termiczno-wilgotnościowe niewentylowanej mechanicznie warstwy są równe:

$$t_{zi} = k'_1 A'_1 \left[(T - T'_0) - T_1 + T_1 e^{-\frac{T-T_0}{T_1}} \right]$$

$$t_{pw} = k'_2 A'_2 (\tau - \tau'_0)$$

$$W_{zi} = k'_3 A'_3 \left[1 - \frac{1}{\tau - \tau'_1} \left(\tau e^{-\frac{\tau - \tau'_0}{\tau}} - \tau'_1 e^{-\frac{\tau - \tau'_0}{\tau'_1}} \right) \right]$$

$$W_{pw} = k'_4 A'_4 \left[\tau (\tau - \tau'_0) - e^{-\frac{\tau - \tau'_0}{\tau'_1}} \right]$$

- f) Przedstawione wyżej modele w sposób zadawalający odzwierciedlają charakter zmienności oraz zgodność wartości rozpatrywanych parametrów termiczno-wilgotnościowych warstwy ziemniaków.

Literatura:

- [1] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki, WNT, Warszawa 1971
- [2] Karwowski T.: Kompleksowa mechanizacja produkcji ziemniaków, PWRiL, Warszawa 1980,
- [3] Knoule F.: Suszenie, Arkady. Warszawa 1970,
- [4] Kubicki K.: Zasady przechowywania ziemniaków, PWRiL, Warszawa 1973,
- [5] Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja, PWN, Warszawa 1977,
- [6] Praca zbiorowa: Atlas klimatyczny Polski, WKiŁ, Warszawa 1976
- [7] Serwiński M.: Zasady inżynierii chemicznej, WNT, Warszawa 1976
- [8] Grähs L.E., Hylmø B., Wikberg C.: Bulk storing of potatoes, Acta Agr. Scandinavica, nr 27, 1977
- [9] Frydecka-Mazurczyk A.: Oddychanie bulw ziemniaka w zależności od warunków termicznych w czasie przechowywania, biuletyn Instytutu Ziemniaka, nr 22, 1978
- [10] Kamiński E.: Niektóre cechy termofizyczne ziemniaka, Roczniki Nauk Rolniczych, seria C, t. 69, z.1, 1972.

Streszczenie

W artykule przedstawiono propozycję modelu procesów wymiany ciepła i masy zachodzących w warstwie ziemniaków podczas składowania długotrwałego.

Summary

Model of heat and mass transfer in the packed bed of potatoes during long term storage

The article presented model of heat and mass transfer in the packed bed of the potatoes during long term storage.

Модель переноса тепла и масса в слою картофелей во время
продолжительного хранения

В статьи представлен модель процессов переноса тепла и масса
в слою картофелей во время продолжительного хранения