



## Pomiar chaotycznego tworzenia się pęcherzyków gazu z zastosowaniem programu LabVIEW

EWELINA PODGÓRNI, MARIUSZ R. RZĄSA, EWA ZIEMNICKA

Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny,  
Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej,  
45-271 Opole, ul. St. Mikołajczyka 5,  
e.podgorni@po.opole.pl, m.rzasa@po.opole.pl, ewa.ziemnicka@gmail.com

**Streszczenie.** Zjawisko chaosu deterministycznego występuje wskutek zmian parametrów układu. W badaniach poszukiwano bifurkacji — punktów utraty stabilności układu podczas tworzenia się pęcherzyków gazu. Specjalnie utworzone stanowisko połączone z oprogramowaniem LabVIEW pozwalało na mierzenie czasu powstawania pęcherzy przy zmiennym natężeniu objętościowym gazu. Określony został wpływ kształtu oraz średnicy dyszy na osiąganie przez układ stanu chaosu deterministycznego.

**Słowa kluczowe:** chaos deterministyczny, bifurkacja, tworzenie się pęcherzy gazowych

**DOI:** 10.5604/12345865.1116918

### 1. Wstęp

Tworzenie się pęcherzy gazowych oraz ich ruch należy do zjawisk wykorzystywanych w wielu procesach przemysłowych, głównie przy napowietrzaniu cieczy. Znajomość mechanizmu tworzenia się pęcherzy gazowych jest istotna w projektowaniu urządzeń i aparatów do napowietrzania, kolumnach typu air-lift, procesach wymiany masy oraz procesach oczyszczania wody. Tworzące się pęcherze mogą przybierać różne kształty: od kulistych, przez elipsoidalne, po nieregularne lub o wydłużonej strukturze. Zwykle proces tworzenia się pęcherzy gazu polega na wprowadzeniu gazu do cieczy za pomocą otworów w płytach lub za pomocą dysz [1]. Wymiana masy między gazem i cieczą zależy od rozmiarów powstających pęcherzy oraz od czasu ich przebywania w cieczy. Absorpcja pomiędzy fazą gazową

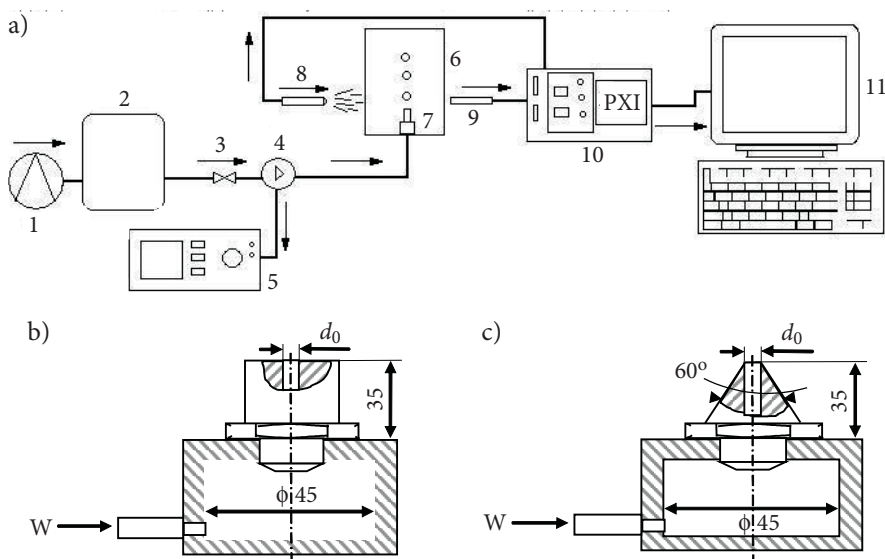
i ciekłą zachodzi, kiedy występuje warunek selektywności, a rozpuszczalnik ciekły charakteryzuje się dużą pojemnością absorpcyjną [2, 3]. Pożądana jest duża szybkość wymiany masy, co bezpośrednio wiąże się z uwzględnieniem dynamiki kontaktu faz, własności fizykochemicznych faz oraz dyfuzyjności transportowanych składników. Badaczom zależy na uzyskaniu jak największej powierzchni kontaktu obu faz. Oznacza to, że najbardziej korzystnym rodzajem pęcherzy są te powstające szybko, o niewielkich rozmiarach i bez cyrkulacji wewnętrznej powodującej wzrost oporu wnikania masy [4]. Na formowanie się pęcherzyków gazu w cieczy mają też wpływ czynniki związane z konstrukcją dyszy i układem zasilania oraz właściwościami gazu i cieczy [5]. W literaturze opisanych jest wiele modeli powstawania pęcherzy. Wiele z nich zakłada, że kolejne formujące się pęcherze nie oddziałują na siebie, są też takie modele, gdzie analizowane są procesy oddziaływania kolejno odrywających się pęcherzy z przepływem turbulentnym, wywołanym przez ruch poprzednio oderwanego pęcherza [6, 7]. W pracy podjęto próbę wyznaczenia zakresu chaosu deterministycznego dla tworzących się pęcherzyków. Próby opisanie przepływów dwufazowych teorią chaosu deterministycznego były już podejmowane [8]. Jest to jednak na tyle skomplikowane, że nie zostało dotąd w pełni wyjaśnione.

Jedną z metod oceny poziomu chaosu jest wyznaczenie punktów bifurkacji układu [11]. Zgodnie z teorią chaosu deterministycznego dla pewnych parametrów procesu układ traci stabilność i zachowuje się w sposób zdeterminowany, aczkolwiek nieprzewidywalny [7, 8, 9, 11]. W pracy jako kryterium powstawania chaosu przyjęto czas pomiędzy kolejno tworzącymi się pęcherzykami.

## 2. Stanowisko badawcze

W celu zmierzenia czasu powstawania pęcherzy gazowych zbudowano stanowisko pomiarowe (rys. 1a). Składało się ono ze zbiornika (6) wypełnionego wodą, w którego dnie umieszczono dyszę (7), na której generowane są pęcherze powietrza. Dysza zasilana jest powietrzem sprężonym przez pompę pneumatyczną (1) ze zbiornikiem wyrównawczym. Strumień powietrza regulowany jest zaworem (3) i mierzony przepływomierzem (4). Czas tworzenia się pęcherzyków jest mierzony komputerowo (10) na podstawie detekcji przelotu pęcherzyka przez fotokomórkę zbudowaną z lasera (8) i fotodetektora (9) [12].

Pęcherzyki gazu były wytwarzane na dyszy walcowej i stożkowej (rys. 1b i 1c) z otworem  $d_0$  o średnicy  $\varnothing 2,5$  mm. Dysze były wkręcane do komory wyrównującej ciśnienie w kształcie walca o średnicy wewnętrznej 45 mm i wysokości 40 mm. Otwory w dyszach były o długościach większych niż  $10 d_0$ , co gwarantuje ustabilizowanie się przepływu gazu. Zastosowanie dwóch rodzajów dysz ma na celu oszacowanie wpływu zmiany cyrkulacji cieczy wokół tworzącego się pęcherzyka.



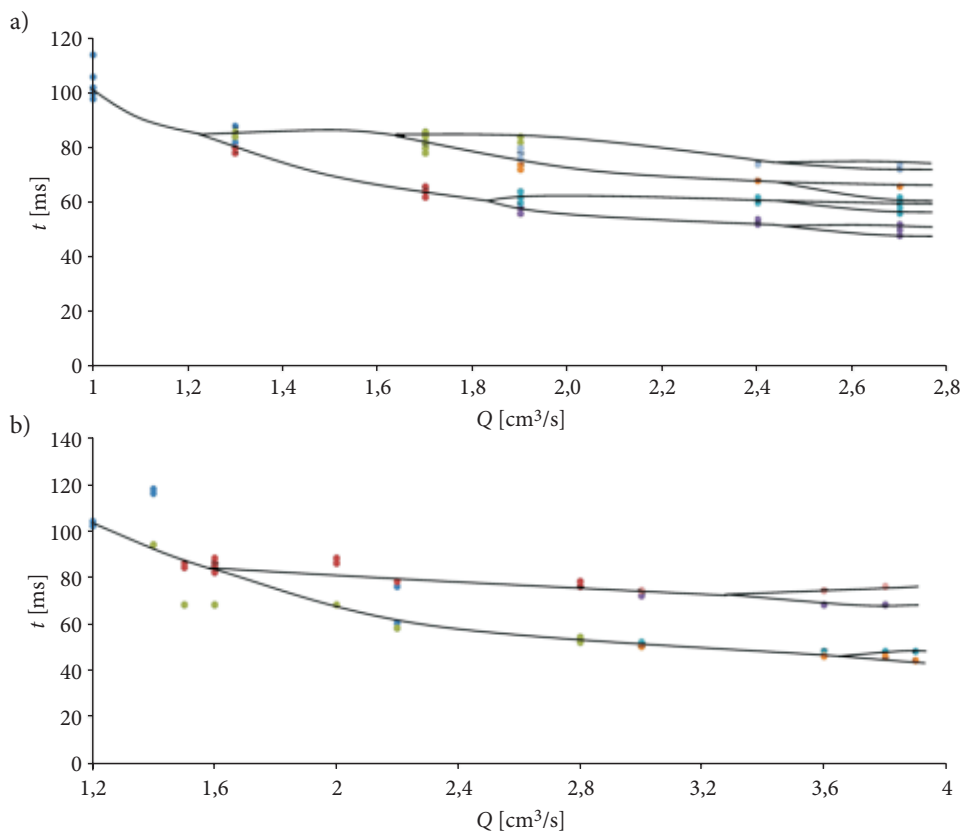
Rys. 1. Schemat: a) stanowisko pomiarowe; b) dysza cylindryczna; c) dysza stożkowa

Do zrealizowania procesu akwizycji danych użyto programu LabVIEW. Pakiet LabVIEW pozwala na przeprowadzenie sekwencji pomiarowej oraz na wizualizację i przetwarzanie wyników pomiarowych i sterowania procesem w oparciu o kartę PXI. Pomiar czasu tworzenia się pęcherzy gazu zrealizowano w oparciu o system komputerowy. Komputer wspomagał proces pomiarowy poprzez analizę sygnałów pochodzących z fotodetektora i na tej podstawie określał on czas pomiędzy kolejnymi pęcherzykami. Zasada działania polega na prześwietlaniu badanego przekroju wiązką lasera, a następnie pomiarze natężenia światła przechodzącego przez badany przekrój (rys. 2). Światło emitowane ze źródła, przechodząc przez przekrój badany, ulega częściowej absorpcji zarówno przez gaz, jak i ciecz. Ponadto po natrafieniu na pęcherzyk gazu strumień światła ulega na granicy faz odbiciu i rozproszeniu — jest to przyczyną znacznego osłabienia natężenia światła docierającego do detektora [8].

Oprogramowanie napisano w pakiecie LabVIEW (rys. 3). Moduł „Read” służy do odczytu stanu z fotokomórki. W przypadku przejścia sygnału ze stanu wysokiego na niski przy niskim stanie kontrolki „Bubble”, uruchomi to sekwencję odczytu czasu systemowego i wpisanie jego wartości do „Start Time New” oraz ustawienia kontrolki „Bubble” w stan wysoki. Ustawienie kontrolki „Bubble” w stan wysoki zabezpiecza ponowne wpisanie czasu systemowego do rejestru „Start Time New”, dopóki w polu widzenia detektora obecny jest pęcherzyk powietrza. Po opuszczeniu przez pęcherzyk pola widzenia detektora oblicza się różnicę czasu pomiędzy „Start Time New” i „Start Time Old”. Kolejne czasy tworzących się pęcherzyków są zapisywane w tablicy „Time”, którą zapisuje się na dysku.



Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiaru czasu tworzenia się pęcherzyków gazu. Niezależnie od kształtu dyszy, po przekroczeniu pewnej wartości strumienia gazu proces tworzenia się pęcherzyków traci stabilność, co objawia się powstawaniem bifurkacji. W przypadku dyszy cylindrycznej bifurkacje pojawiają się dla znacznie mniejszych wartości strumienia gazu. Można to wytłumaczyć powstawaniem znacznie większych turbulencji cieczy w pobliżu otworu dyszy.



Rys. 4. Zależność czasu tworzenia się pęcherzy powietrza w zależności od natężenia przepływu powietrza dla dyszy: a) cylindrycznej; b) stożkowej

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie komputerowego systemu pomiarowego umożliwiło pomiar niestabilności procesu tworzenia się pęcherzyków. Wyniki badań wzbogaciły wiedzę na temat zjawisk niestacjonarnych w procesie formowania się pęcherzy gazowych.

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, wraz ze wzrostem strumienia powietrza czas tworzenia się pęcherzy maleje, lecz rośnie niestabilność procesu tworzenia się

pęcherzyków. Pojawiają się bifurkacje. Proces traci stabilność stopniowo aż do momentu pojawienia się chaosu. Wyniki badań pozwalają na wyznaczenie granicznych wartości strumienia gazu, przy których pojawiają się kolejne bifurkacje. Wartości te mogą posłużyć do określenia zakresu stosowalności modeli teoretycznych służących do symulowania procesu powstawania pęcherzyków gazu. Ponadto określenie zakresu, w jakim występuje chaos deterministyczny, umożliwi opracowanie modeli symulujących stany niestabilne z zachowaniem rozkładu wartości zbliżonym do wyników eksperymentu. Będzie to tematem kolejnych prac z tej dziedziny.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na „X Szkole–Konferencji Metrologia Wspomagana Komputerowo — MWK’2014”, Waplewo, 27-30 maja 2014.

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2014 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 14.07.2014 r.

#### LITERATURA

- [1] McCANN D.J., PRINCE R.G.H., *Regimes of bubbling at a submerged orifice*, Chem. Eng. Sci. 26(10), 1971, 1505-1512.
- [2] SANADA T., WATANABE M., FUKARZO T., KARIYASAKI A., *Behavior of a single coherent gass bubble chain and surrounding liquid jet flow structure*, Chemical Engineering Science, vol. 60, no. 17, 2005, 4886-4900.
- [3] ZHANG L., SHOJI M., *Aperiodic bubble formation fro a submerged orifice*, Chemical Engineering and Science, vol. 56, no. 18, 2001, 5371-5381.
- [4] MASDORF R., WYSZKOWSKI T., *Modelowanie zjawiska synchronizacji odrywających się pęcherzy gazowych z sąsiadujących dysz*, Acta Mechanica et Automatica, vol. 5, no. 1, 2011, 59-66.
- [5] SCHUSTER H.G., *Chaos Deterministyczny*, PWN, Warszawa, 1993.
- [6] TAMBE S.S., KULKRANT B.D., *Intermittency route to chaos in a periodically forced model reaction system*, Chemical Engineering Science, vol. 48, nr 15, 1993, 2817-2821.
- [7] VAN DEN BLEEK C.M., SCHOUTEN J.C., *Can Deterministic chaos create order in fluidized-bed scale-up*, Chemical Engineering Science, vol. 48, no. 13, 1993.
- [8] LACY C.E., SHEINTUCH M., DUKLER A.E., *Methods of Deterministic Chaos Applied to the Flow of Thin Wavy Films*, AIChE Jurnal, vol. 37, nr 4, 1991, 481-489.
- [9] BADAM V.K., BUWA V., DURST F., *Experimental investigations of regimes of bubble formation on submerged orifices under constant flow condition*, The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 85, June 2007, 257-267.
- [10] MOSDORF R., WYSZKOWSKI T., *Odrywanie się pęcherzy gazowych od krawędzi dysz. Badania Eksperymentalne i modelowanie*, Acta Mechanica et Automatica, vol. 4, no. 1, 2010.
- [11] VIVIANE S., PIASSI M., TUFALILE A., SARTORELLI J.C., *Period adding bifurcations and chaos in bubble column*, Chaos, vol. 14, no. 2, June 2004.
- [12] RZAŠA M.R., *Pomiar kształtu pęcherzy powietrza metodą optyczną*, Pomiar, Automatyka, Kontrola, 10, 2000.
- [13] RZAŠA M.R., *The measuring method for tests of horizontal two-phase gas-liquid flows, using optical and capacitance tomography*, Nuclear Engineering and Design, vol. 239, no. 4, 2009, DOI: 10.1016/j.nucengdes.2008.12.020.

E. PODGÓRNI, R.M. RZĄSA, E. ZIEMNICKA

**Measurement of the chaotic gas bubble formation using LabVIEW**

**Abstract.** The article presents the results of research on the prevalence of deterministic chaos during the formation of gas bubbles. In order to measure the time of the formation of gas bubbles a test bench was built. The research allowed us to determine the bifurcation diagrams for cylindrical and conical nozzles. Bifurcation occurs and it causes that we can see two points for the same gas stream. The system loses stability gradually until the appearance of chaos, i.e., the total instability of the system.

**Keywords:** deterministic chaos, bifurcation, bubbles