

PIOTR WESOŁOWSKI

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Stanowisko do badania procesu mieszania w skali technicznej

Charakterystyka gabarytowa stanowiska

Stanowisko do badania procesu mieszania w układach jedno- i wielofazowych w technicznej skali zbudowano w *Zakładzie Inżynierii Procesowej, Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej*, wykorzystując wcześniejsze doświadczenie własne, nabyte podczas projektowania i budowy stanowisk w skali laboratoryjnej [1].

Na etapie projektu stanowiska w skali technicznej (Rys. 1), zapewniono możliwość płynnej zmiany wysokości zawieszenia mieszadła nad dnem zbiornika w zakresie $0 \leq h$ [m] $\leq 1,5$ (regulacja elektryczna) oraz pochylania wału względem osi aparatu w zakresie $0 \leq \alpha$ [°] ≤ 30 (regulacja ręczna). Stanowisko, umożliwia prowadzenie doświadczeń w mieszalnikach o różnych inwariantach geometrycznych przy różnorodnych sposobach wprowadzenia mieszadła przez pokrywę aparatu (centrycznie i ekscentrycznie oraz osiowo i nieosiowo). Średnica największego zbiornika, w którym można realizować

proces mieszania, przy osiowym usytuowaniu wału mieszadła (Rys. 2), wynosi $D = 0,900$ m. W przypadku standardowego napełnienia mieszalnika do wysokości $H = D$, możliwe jest zatem prowadzenie badań w układzie o objętości $V = 0,573$ m³, a przy $H = 1,5 D$, $V = 0,860$ m³. W przypadku prostopadłościennych zbiorników maksymalne objętości, przy identycznych napełnienia, wynoszą 0,729 i 1,094 m³.

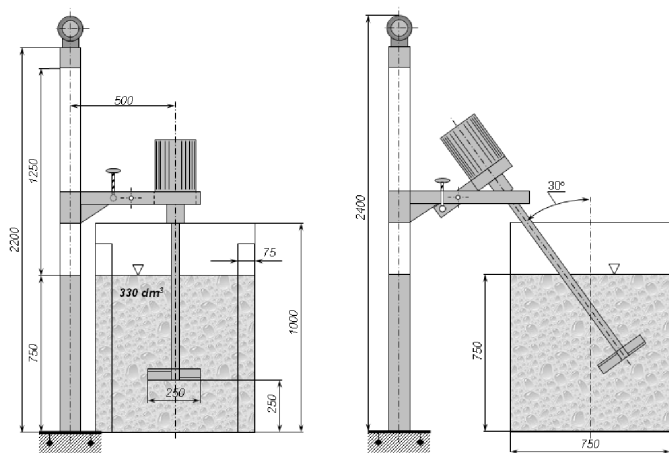
Zakresy zmienności parametrów operacyjnych

Projektując stanowisko przeprowadzono obliczenia, które dla możliwych do zastosowania w praktyce średnic wysokoobrotowych mieszadeł, przy określonym kroku zmienności częstości obrotów symulowały przewidywany zakres zmienności liczby Reynoldsa oraz spodziewanego momentu obrotowego na wale mieszadła. Wyniki obliczeń zaprezentowano na rys. 3. Podczas symulacji zakres zmienności częstości obrotów mieszadła ograniczono do wartości $n_{max} = 15$ s⁻¹. Wcześniejsze doświadczenia własne wskazywały, że przy wyższych częstościach obrotów wywoływana w układzie burzliwość wymagałaby zbyt dużego nadkładu wysokości zbiornika, który uniemożliwiłby utratę mieszanego medium. Ponadto, naturalną konsekwencją zadania w praktyce, częstości obrotów wyższych od założonej wartości krytycznej, w przypadku zastosowanego wału o średnicy 30 mm, było by wystąpienie niepożądanych drgań giętych, które z całą pewnością doprowadziłyby do jego bezpowrotnej destrukcji.

Rezultaty symulacji uzyskane dla standardowej turbiny Rushtona, pracującej w wodzie o temperaturze 20°C, które pokazano na rys. 3a, wskazują, że dla wszystkich możliwych realnie do osiągnięcia punktów pomiarowych, liczba Reynoldsa przekracza wartości $Re = 10000$, co zapewnia burzliwość konieczną do wytworzenia wysoko zdyspergowanych układów wielofazowych. Wykorzystując fakt, iż w zakresie burzliwym liczba Newtona nie zależy od liczby Reynoldsa na zasadzie analogii wykreślono mapę zmienności momentu obrotowego w przewidywanym zakresie pracy stanowiska, którą pokazano na rys. 3b. Wyniki obliczeń, które zilustrowano na rys. 3, wykorzystano nie tylko przy doborze silnika i sterującego nim falownika, lecz przede wszystkim podczas projektowania rozwiązania konstrukcyjnego oryginalnego, zatapialnego momentomierza rdzeniowego, w który wyposażone będzie stanowisko. Momentomierz umieszczony zostanie wewnątrz drążonego wału w bezpośrednim sąsiedztwie piasty mieszadła, tak by możliwa była jednoznaczna ocena mocy przekazywanej łopatkom mieszadła.

Oprogramowanie kontrolne

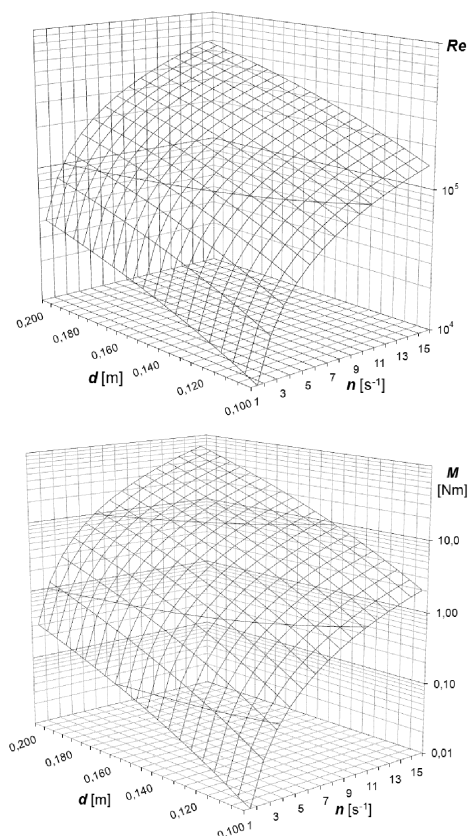
Zasadniczym elementem stanowiska jest silnik indukcyjny z obcym układem chłodzenia (typ: SHK L-04) o mocy $P = 1,5$ kW, sterowany falownikiem częstotliwości (typ: Vari-



Rys. 1. Rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska do badania procesu mieszania w skali technicznej

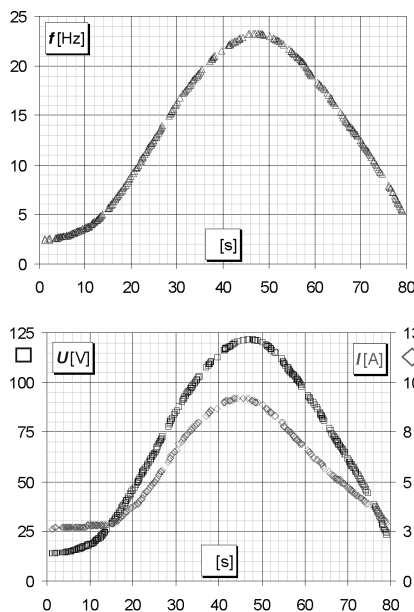


Rys. 2. Widok stanowiska do badania procesu mieszania w skali technicznej



Rys. 3. Liczba Reynoldsa i moment obrotowy w zależności od średnicy i częstości obrotów mieszadła

speed V7), który zapewnia możliwość płynnej zmiany częstości obrotów mieszadła w zakresie $0 \leq n$ [s^{-1}] $\leq 23,5$. Praca falownika kontrolowana jest *on-line* za pomocą oprogramowania CX-Drive firmy OMRON. Program CX-Drive, będący integralną częścią pakietu CX-One, umożliwia płynną zmianę i rejestrację w czasie rzeczywistym podstawowych wielkości elektrycznych wpływających na pracę silnika. Są to: częstotliwość (Output Frequency, Hz), natężenie (Output Current, A) i napięcie (Output Voltage, V) prądu. Fragment okna głównego programu, w chwili monitorowania stałości wspomnianych parametrów pokazano na rys. 4. Program CX-Drive umożliwia jednoczesne rejestrowanie 8 z 20 dostępnych parametrów, w tym między innymi wyjściową moc (Output Power, W) oraz moment obrotowy na wale silnika (Torque Monitor, %) liczony względem wartości znamionowej.



Rys. 5. Ilustracja zadanej zmienności podstawowych wielkości elektrycznych podczas testu rozruchowego stanowiska

Wyniki testu rozruchowego

Wstępny test rozruchowy, podczas którego założono osiągnięcie połowy zakresu zmienności podstawowych parametrów operacyjnych przeprowadzono dla standardowej turbiny Rushtona o średnicy $d = 0,200$ m. Badania wykonano w płaskodennym zbiorniku ($D = 0,575$ m) z czterema przegrodami o szerokości $B = 0,1 D$. Jako medium zastosowano wodę wodociągową o temperaturze $18^\circ C$, która wypełniała zbiornik do wysokości $H = D$. Uzyskane rezultaty pokazano na rys. 5.

Podczas rozruchu stanowiska testowano zachowanie się rejestratora podczas szybkiej, cyklicznej zmiany częstotliwości prądu zadawanej za pomocą falownika, która występuje przy uruchamianiu i zatrzymywaniu układu napędowego. Konsekwencją użycia falownika była jednoczesna zmiana zarówno napięcia, jak i natężenia prądu (Rys. 5b). Podczas zmiany podstawowych wielkości elektrycznych możliwe było prześledzenie ich stabilności w zadawanych zakresach zmienności.

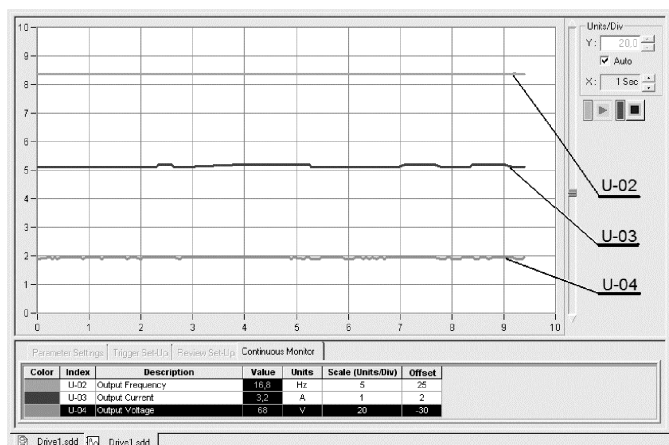
Oznaczenia

- d – średnica mieszadła, [m]
- f – częstotliwość prądu, [Hz]
- h – wysokość zawieszenia mieszadła, [m]
- n – częstość obrotów mieszadła, [s^{-1}]
- B – szerokość przegrody w mieszalniku, [m]
- D – średnica zbiornika, [m]
- H – wysokość mieszanego układu, [m]
- I – natężenie prądu, [A]
- M – moment obrotowy, [Nm]
- P – moc mieszania, [W]
- U – napięcie prądu, [V]
- V – objętość mieszanego układu, [m^3]
- α – kąt pochylenia wału mieszadła, [$^\circ$]
- τ – czas mieszania, [s]

LITERATURA

1. P. Wesolowski: Inż. Ap. Chem. 41, nr 4s, 141 (2002).

Praca wykonana w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej (32-117/08-BW).



Rys. 4. Fragment okna głównego programu CX-Drive, w chwili rejestracji wybranych parametrów