

Kalibracja przepływomierzy

Przepływomierze, jak niemal każde urządzenie pomiarowe, muszą być kalibrowane. Ponieważ osiągi przepływomierzy pogarszają się z upływem czasu, przyrządy te muszą być kalibrowane w celu zapewnienia niezbadnego poziomu wiarygodności wyników przeprowadzanych badań.



DLACZEGO NALEŻY KALIBROWAĆ PRZEPŁYWOMIERZE?

Istnieje kilka przyczyn niewykalibrowania przepływomierza. Pierwszą z nich są fizyczne modyfikacje, które mogą wystąpić w wyniku korozji lub zabrudzenia w procesie. Druga wynika z faktu, że części wewnętrzne ulegają powolnej degradacji, która ostatecznie ma wpływ na wydajność i dokładność przepływomierza. Przepływomierz może również podlegać uderzeniom mechanicznym lub pneumatycznym wynikającym ze zmian procesu, niewłaściwej instalacji lub wadliwej inicjalizacji lub procedury.



KALIBRACJA PODSTAWY

Kalibracja jest to zestaw operacji, które ustalają, w określonych warunkach, zależność między wartościami wielkości wskazywanych przez przyrząd pomiarowy lub system pomiarowy, a odpowiadającymi im wartościami realizowanymi przez normy. Ważne jest, aby na początku rozpoznać definicję „kalibracji” i zauważyć, że „porównanie” dotyczy tylko warunków w czasie kalibracji. Celem kalibracji jest zwiększenie wiarygodności odczytu uzyskanego z użytkowanego przepływomierza. Normy pomiaru przepływu opierają się na porównaniu z ilością płynu przepływającego (przepływ chwilowy) lub z przepływem sumarycznym (zużycie).

Wzorce mogą opierać się na pomiarze masy lub objętości. Wymaganą wielkość masy lub objętości można obliczyć ze zmierzonej wielkości, na podstawie znajomości gęstości płynu na przepływomierzu testowym. Normy mogą być statyczne lub dynamiczne, a wybór ten jest dokonywany na podstawie danych wyjściowych i końcowego zastosowania przepływomierza. Niektóre przepływomierze są używane do pomiaru ilości i mają krótki czas odpowiedzi; inne są przeznaczone do pomiaru natężenia przepływu i mają długi czas odpowiedzi. Kalibracja przepływomierza powinna obejmować znaczny zakres natężenia przepływu dla przepływomierza i ustalić wydajność w tym zakresie.

„Wzorzec” kalibracji przepływu powinien jak najdokładniej odwzorowywać warunki, w jakich przepływomierz będzie używany. Pełna replikacja jest niemożliwa, a kluczem do sukcesu jest bycie tak blisko, jak to możliwe; oraz rozpoznanie charakteru i wydajności testowanego typu przepływomierza. Czynniki, które mają największy wpływ to: lepkość płynu, efekty instalacji spowodowane

zagięciami i złączkami, temperatura i ciśnienie. Norma powinna również mieć określoną identyfikowalność i niepewność wybraną tak, aby odpowiadała oczekiwaniom końcowego pomiaru.

Wybór standardu musi również uwzględniać dynamikę przepływomierza oraz charakter i rozdzielczość wyjścia. Ponieważ kalibracja jest porównaniem, wielkość zmierzona przez normę musi odpowiadać wielkości zmierzonej przez przepływomierz i musi uwzględniać rozdzielczość przepływomierza. Przepływomierz używany do pomiaru bardzo dużych ilości płynu, przez długi czas może nie mieć rozdzielczości odpowiedniej do pomiaru mniejszych ilości mierzonych przez normę.

Wynik kalibracji przepływomierza zwykle zapewnia dwie powiązane liczby: jedną związaną z natężeniem przepływu, a drugą jako wskaźnik wydajności. Szybkość przepływu będzie wyrażona jako masa na jednostkę czasu, objętość na jednostkę czasu, liczba Reynoldsa lub jakakolwiek inna miara związana z natężeniem przepływu. Wskaźnik wydajności wiąże oczekiwaną wydajność miernika ze zmierzoną wydajnością. Przykładami wskaźników wydajności są współczynnik K, błąd i współczynnik miernika.



JAK KALIBROWAĆ PRZEPŁYWOMIERZE?

Urządzenia do pomiaru przepływu można kalibrować trzema metodami. Pierwszą z nich jest kalibracja na mokro przy użyciu rzeczywistego przepływu płynu. Drugą metodą jest kontrola wymiarów fizycznych i wykorzystanie szczytów empirycznych odnoszących natężenie przepływu do tych wymiarów. Ostatnią techniką jest kalibracja na sucho z wykorzystaniem symulacji przepływu, za pomocą środków elektronicznych lub mechanicznych.

Powszechne jest dokonywanie pomiarów przy użyciu kombinacji kilku przyrządów działających razem. Właściwe jest również kalibrowanie różnych części takiego systemu różnymi metodami. W przypadku przepływomierza z przetwornikiem i wskaźnikiem, powszechną praktyką jest kalibracja na mokro przepływomierza i odrębna kalibracja na sucho przetwornika i wskaźnika. Często można dodatkowo podzielić sam przepływomierz na zwilżoną część (element generujący sygnał przepływu) i przetwornik (część zapewniająca przetwarzanie sygnału).

Ileokroć oddzielnie kalibruje się części systemu, należy zachować odpowiednie proporcje dokładności dla każdej kalibracji i obliczyć ogólną dokładność systemu za pomocą opisanej wcześniej metody.



SEBASTIAN BAJOREK

Absolwent Politechniki Śląskiej, Wydziału Mechaniczno-Technologicznego. W Introlu pracuje od 2013 roku, obecnie na stanowisku menedżera produktu w dziale pomiarów przepływu. Specjalizuje się w pomiarach zwężkowych, przepływomierzach termicznych i wirowych.

Tel: 32 789 00 98



„Celem kalibracji jest zwiększenie wiarygodności odczytu uzyskanego z użytkowanego przepływowomierza.



KALIBRACJA NA MOKRO

Kalibracja na mokro wykorzystująca rzeczywisty przepływ płynu, zwykle zapewnia najwyższą dokładność kalibracji przepływowomierza i znajduje zastosowanie tam, gdzie dokładność jest głównym kryterium. Precyzyjne przepływowomierze zwykle są kalibrowane na mokro w momencie produkcji. Po dłuższym stosowaniu użytkownik często je serwisuje, demontuje z instalacji i ponownie kalibruje. Jeśli wymagany jest przepływowomierz do celów rozliczeniowych lub innych celów księgowych, można chcieć uzyskać kalibrację po odbiorze i po adiustacji. Otrzymane wyniki pozwalają ocenić jaka niepewność pomiarowa mogła wystąpić w mierniku podczas użytkowania, przed ponowną kalibracją. Jeśli ten błąd jest duży, należy ocenić wpływ błędu na poprzednie pomiary i ustalić, czy potrzebne są dodatkowe działania.



PRZEPŁYWOMIERZE WZORCOWE

Być może najczęstszą metodą kalibracji na mokro jest porównanie wyjścia testowanego



Rysunek 1
Stanowisko kalibracyjne przepływowomierzy



Rysunek 2
Mobilne stanowisko kalibracyjne przepływowomierzy

przepływowomierza z jednym lub więcej przepływowomierzami, które zostały certyfikowane zgodnie ze standardami wysokiej dokładności, znanymi jako przepływowomierze wzorcowe. W tym celu można zbudować małe stanowisko porównawcze mierników głównych, przy niższych kosztach niż inne metody kalibracji na mokro. Jeśli układ jest właściwie zaprojektowany i utrzymywany, jest w stanie kalibrować przepływowomierze z tolerancją odczytu $\pm 1\%$ lub mniej.



WAGA, STANDARDY OBJĘTOŚCI

Trzy metody kalibracji znajdują zastosowanie, gdy zbiornik wagowy lub objętościowy jest standaryzowany. W metodzie kalibracji statycznej przepływ rozpoczyna się szybko, aby rozpocząć test, utrzymuje się na stałym poziomie podczas testu, a następnie wyłącza się po zakończeniu testu. Porównuje się zsumowany odczyt z przepływowomierza z zebraną masą lub objętością i oblicza wydajność przepływowomierza. System statyczny działa najlepiej z przepływowomierzami, które mają minimalną czułość na niskie natężenia przepływu. Nie daje on jednak optymalnych wyników w przypadku wysokowydajnych, cyfrowych mierników wyjściowych, takich jak przepływowomierze wirowe. Wynika to z błędów uzyskiwanych podczas krótkich okresów niskiego przepływu na początku i na końcu testu. Z tego powodu pomiary statyczne nie są już w powszechnym użyciu.

Wzorzec masy lub objętości może być również używany w trybie całkowicie dynamicznym. W tej metodzie przepływ jest ustalany na stałym poziomie przed rozpoczęciem testu. Odczyt przepływowomierza i początkowa masa lub objętość są odczytywane jednocześnie, aby rozpocząć test i, ponownie, po żądanym okresie zbierania, aby test zakończyć.



HYBRYDOWY, DYNAMICZNY START-STOP

Hybrydowe, dynamiczne systemy start-stop, statyczne systemy odczytu masy i objętości zapewniają zazwyczaj dokładniejsze kalibracje, niż systemy czysto statyczne lub dynamiczne. W takich systemach uzyskuje się żądaną prędkość przepływu testowego, gdy przepływ jest kierowany poza wzorce przepływu masowego lub objętościowego. Rozpoczynamy przebieg testowy, kierując przepływ do wzorca i zakańczamy go, kierując go z systemu. Sygnał przepływu, który powinien być cyfrowy, jest włączany i wyłączany przez zmianę kierunku. Należy odczytywać masę lub objętość po odpowiednim czasie ustalania i porównać z odczytem sumarycznym przepływowomierza.

Kluczem do dynamicznego systemu odczytu start-stop jest konstrukcja zaworu odcinającego przepływ – włączającego i wyłączającego przepływ, który mieści się w standardzie określonym przez normy. W dobrze zaprojektowanym systemie, rzeczywisty czas przekierowania jest znacznie krótszy niż czas pomiaru, a wzorzec przepły-

wu przez rozdzielacz jest niezależny od natężenia przepływu. W tych warunkach czynnikiem ograniczającym niepewność systemu jest podstawowa dokładność i rozdzielczość wzorców masy lub objętości. Ostrożnie można zredukować błędy do mniej niż 0,1% odczytu w warunkach laboratoryjnych. Ze względu na ich rozmiar i koszt, niewiele systemów kalibracyjnych tego typu znajduje zastosowanie w terenie.



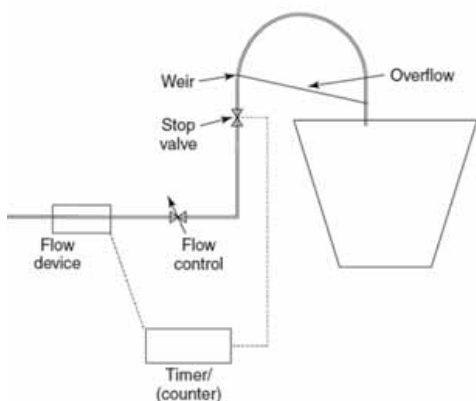
KALIBRACJA GRAWIMETRYCZNA PRZEPŁYWOMIERZY

Przepływomierze można kalibrować grawimetrycznie poprzez ważenie ilości cieczy zebranej w naczyniu. Naczynie waży się i odnotowuje wagę (w powietrzu) zebranego płynu. Ponieważ ilość płynu musi być wyrażona jako masa, ciężar należy skorygować o efekt wyporu powietrza. Waga jest kalibrowana przy użyciu odważników o umownej gęstości 8000 kg/m^3 , a zbierany płyn będzie miał znacząco różną gęstość, napór powietrza na zbiornik będzie miał istotny wpływ. Aby określić objętość, masę dzieli się przez gęstość wyznaczoną na przepływomierzu. Gęstość można zmierzyć za pomocą densytometru, ale częściej oblicza się ją na podstawie znajomości właściwości płynu oraz pomiarów temperatury i ciśnienia na mierniku testowym.



METODA STARTU I METY – STATYCZNA

Ta metoda jest generalnie preferowana w przypadku przepływomierzy, które są używane do pomiaru ilości cieczy, zwłaszcza przepływomierzy dla ilości partii. Wymagane natężenie przepływu jest ustalane w zbiorniku. Przepływ jest następnie zatrzymywany za pomocą szybko działającego zaworu, pojemnik jest opróżniany, a zawór spustowy zamykany. Przepływ zostaje wznowiony, pojemnik napełniony, a przepływ zostaje zatrzymany. Odnotowuje się wagę cieczy wraz z czasem potrzebnym do napełnienia zbiornika. Odnotowywany jest również odczyt z przepływomierza. Podczas napełniania odnotowuje



Rysunek 3

Schemat zastosowania metody startu i mety – opcja statyczna

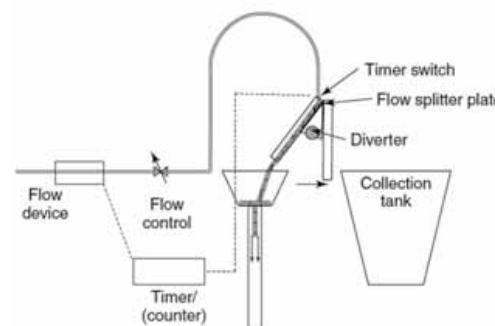
się z kolei także temperaturę i ciśnienie cieczy na przepływomierzu.



METODA STARTU I METY – DYNAMICZNA

Jest ona czasami nazywana metodą rozdzielającą. W tej metodzie przepływ przez przepływomierz nie jest zatrzymywany, ale przepływ jest kierowany między powrotem do zasilania, a zbiornikiem zbiorczym. Przetłącznik na mechanizmie rozdzielającym uruchamia i zatrzymuje licznik czasu, który odmierza czas napełniania miarki pobranej i licznik sumuje impulsy z urządzenia testowego. W tej metodzie kluczem do precyzyjnego pomiaru jest dokładne oddzielenie płynu wchodzącego do zbiornika i płynu powracającego do źródła. Metoda ta jest stosowana głównie w przypadku przepływomierzy z długimi czasami odpowiedzi i tam, gdzie natężenie przepływu jest głównym pomiarem, a nie zmierzoną ilością (zużyciem).

Głównym źródłem niepewności dla obu metod kalibracji grawimetrycznej jest błąd synchronizacji. W przypadku metody startu zatrzymanego jest to



Rysunek 4

Schemat zastosowania metody startu i mety – opcja dynamiczna

spowodowane czasem odpowiedzi przepływomierza i zmieniającym się przepływem na każdym końcu badania. W przypadku metod z rozdzielaczem jest to wprowadzane przez niewyzwalanie w środku hydraulicznym strumienia cieczy.



KLUCZOWA KALIBRACJA

Metod kalibracji przepływomierzy jest kilka. Wybór zależy przede wszystkim od typu przepływomierza i medium, a także od wymaganej dokładności pomiaru. Ważne przy tym jest to, że niektóre przepływomierze mogą być kalibrowane raz (przez producenta) i nie wymagają rekalkibracji przy normalnej pracy (po serwisowaniu może dojść do sytuacji, że należy dokonać kalibracji powtórnej). Inne typy przepływomierzy wymagają okresowych kalibracji powtórnych, gdyż z uwagi na metodę działania, konstrukcję i warunki w jakich pracują, ulegają rozkalibrowaniu i dostarczają niewiarygodnych wyników. Co niemniej istotne, niektóre przepływomierze można rekalkibrować w miejscu instalacji, mając odpowiedni sprzęt, inne kalibruje się (a raczej wzorcuje) w akredytowanych laboratoriach.

„Kalibracja na mokro wykorzystująca rzeczywisty przepływ płynu, zwykle zapewnia najwyższą dokładność kalibracji przepływomierza.”