

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **218470**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **391629**

(51) Int.Cl.

**G01M 3/28 (2006.01)**

**F17D 5/02 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **25.06.2010**

---

(54) **Sposób wykrywania wycieków w sieci dystrybucji do transportu cieczy**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**02.01.2012 BUP 01/12**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.12.2014 WUP 12/14**

(73) Uprawniony z patentu:

**ADAPTRONICA SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ  
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Łomianki, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**PRZEMYSŁAW KOŁAKOWSKI, Nieporęt, PL  
DAMIAN SALA, Kielce, PL  
JAN HOLNICKI-SZULC, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Anna Bełz**

---

**PL 218470 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykrywania wycieków w sieci dystrybucyjnej do transportu cieczy.

Znany jest, z opublikowanego japońskiego opisu patentowego nr JP2004205477, sposób lokalizacji wycieku w sieci przesyłowej cieczy, który obejmuje etapy okresowego pomiaru ciśnienia płynu w przewodzie sieci poprzez poszczególne czujniki umieszczone w wielu punktach pomiaru wzdłuż przewodu w miejscach rozgałęzień. Miejsce wycieku określa się wyznaczając punkt przecięcia krzywych wzrostu ciśnienia przed miejscem wycieku i spadku ciśnienia za miejscem wycieku.

Inna metoda lokalizacji wycieków w sieci przesyłowej jest przedstawiona w opisie patentowym nr US 2005246112. Wykrycia wycieku według tego sposobu dokonuje się badając różnicę czasu przejścia fali dźwiękowej w cieczy dla dwóch sensorów umieszczonych na wejściu i wyjściu rurociągu. Jest to zasadniczo metoda lokalna oparta na zjawiskach akustycznych. Dotyczy pojedynczego rurociągu z możliwością rozszerzenia na sieć dystrybucyjną do transportu cieczy. Korzysta się z matematycznego opisu przepływu cieczy w rurociągu i definiuje tzw. współczynnik wycieku dla dwóch stanów tj. stabilnego oraz niestabilnego, które modelują odpowiednio brak wycieku lub jego wystąpienie. Na podstawie bieżących odczytów z górnego i dolnego sensora dokonuje się analizy aktualnego przepływu wykorzystując deterministyczną teorię stabilności Lapunowa i lokalizuje ewentualny wyciek w czasie rzeczywistym. Wymagane jest aby sensory mierzyły ciśnienie, prędkość przepływu oraz temperaturę cieczy.

Zgodnie z wynalazkiem instaluje się w wybranych punktach sieci przesyłowej, zwłaszcza blisko punktów zasadniczych rozbiórów cieczy, czujniki ciśnienia i w z góry założonych okresach dobowego zasilania i zużycia cieczy dokonuje się pomiarów ciśnienia. Korzystnie pomiarów dokonuje się jednocześnie zamykając i otwierając zasuwę na wejściu do sieci przesyłowej, co powoduje powstanie przepływu nieustalonego, to jest zmiennego w czasie. Następnie, na podstawie pomiarów, kalibruje się model hydrauliczny sieci, na podstawie którego tworzy się zbiór wewnętrznych relacji w postaci macierzy wpływu, która jest podstawą algorytmu obliczeniowego w Metodzie Dystorsji Wirtualnych. Po określeniu stanu referencyjnego sieci bez wycieków dokonuje się okresowych kontrolnych pomiarów ciśnienia w punktach pomiaru, po czym posługując się procedurami optymalizacji wyznacza się, przez rozwiązanie zadania odwrotnego, zmianę parametrów w stosunku do stanu referencyjnego i modeluje się tę zmianę przy wykorzystaniu dystorsji wirtualnych, które określają miejsce oraz intensywność ewentualnego wycieku.

W odmianie wynalazku, gdy pomiary są przeprowadzane przy przepływie ustalonym, a odchyłka od referencyjnego stanu przekroczy co najmniej 10%, uruchamia się akwizycję danych z pomiarów ciśnienia w wybranych uprzednio punktach, po czym określa się miejsce wycieku podobnie jak w przypadku okresowych kontrolnych pomiarów.

Sposób pozwala na globalną analizę całej sieci przy użyciu minimalnej liczby czujników ciśnienia, które nie muszą być instalowane w każdej gałęzi, a jedynie w wybranych punktach. W porównaniu z innymi metodami monitorowania sieci i identyfikacji wycieków, zaproponowana metoda ogarnia całą monitorowaną sieć dystrybucyjną, dzięki wykorzystaniu Metody Dystorsji Wirtualnych i utworzeniu macierzy wpływu dla wykalibrowanego modelu hydraulicznego sieci. W sposobie według wynalazku analizuje się problem globalnie. Podejścia lokalne do zagadnienia wykrywania wycieku nie wymagają modelu hydraulicznego, natomiast nie są w stanie ogarnąć całego systemu, a jedynie pewną wybraną, najczęściej niewielką, jego część. Proponowaną metodą według wynalazku analizuje się zaburzenia przepływu w sieci na skutek wycieku.

Szczególnie korzystna jest wersja wynalazku dla przepływu nieustalonego, w którym instaluje się czujniki tylko w nielicznych, wybranych gałęziach sieci. W wyniku rozwiązania odwrotnego problemu identyfikacji, sformułowanego przy pomocy Metody Dystorsji Wirtualnych, otrzymuje się miejsce i intensywność ewentualnego wycieku, gdziekolwiek by się on w sieci pojawił. W wersji wynalazku dla przepływu ustalonego wymagany jest jeden czujnik w każdej gałęzi sieci. Nie jest potrzebna natomiast zasuwę sterująca.

**P r z y k ł a d I.**

Sieć wodociągowa składająca się z sześciu oczek zamkniętych, w tym 18 gałęzi połączonych w 13 węzłach została wyposażona w przepływomierz zainstalowany na wejściu, informujący o poziomie zasilania oraz w cztery czujniki ciśnienia. Węzeł zasilający posiada zasuwę sterującą wartością podawanego ciśnienia. Jako stan referencyjny przyjęto wskazania czujników ciśnienia i przepływomie-

rza dla pewnej kontrolowanej zmiany ciśnienia wywołanej działaniem zasuw sterującej i powodującej przepływ nieustalony w sieci. Następnie przy pomocy zasuw dokonano, takiej samej jak przy definiowaniu stanu referencyjnego, kontrolowanej zmiany ciśnienia tak, aby porównać aktualny stan pracy sieci ze stanem referencyjnym. Po uruchomieniu zasuw sterującej rejestrowano zmienne w czasie ciśnienia w czujnikach w czasie 10 minut, równo podzielonym na momenty próbkowania co 30 sekund, to jest do czasu kiedy graniczny spadek ciśnienia został zarejestrowany przez każdy z czujników. Na podstawie kontrolnych pomiarów ciśnienia, dla sieci bez wycieków, kalibruje się model hydrauliczny, na podstawie którego tworzy się macierz wpływu, stanowiącą podstawę algorytmu obliczeniowego w Metodzie Dystorsji Wirtualnych. Następnie definiuje się funkcję celu, która jest (sformułowana jako średnia kwadratowa różnicy) miarą różnicy pomiędzy aktualnie zmierzonymi a referencyjnymi wartościami ciśnień. Korzystając z procedur optymalizacji gradientowej rozwiązuje się zadanie odwrotne to jest na podstawie zmierzonych historii (przebiegów w czasie) ciśnień tak dopasowuje się parametry referencyjnego modelu hydraulicznego, aby jego odpowiedź była jak najbliższa zarejestrowanym pomiarom. W trakcie symulacji numerycznej opartej na Metodzie Dystorsji Wirtualnych to dopasowanie modelu do pomiarów zapewniają dystorsje wirtualne, które są zmiennymi decyzyjnymi w zadaniu optymalizacji i modelują wpływ modyfikacji parametrów na dynamiczną odpowiedź sieci.

Ich wygenerowanie przez algorytm identyfikacji interpretuje się jako zaistnienie w danym miejscu sieci wycieku o danej intensywności.

Opisany sposób monitorowania sieci dystrybucyjnej został zobrazowany dodatkowo na rysunku, na fig. 1.

Przykład II.

Sieć wodociągowa składająca się z sześciu oczek zamkniętych, w tym 18 gałęzi połączonych w 13 węzłach została wyposażona w 18 czujników ciśnienia, zintegrowanych z elektronicznym zespołem teletransmisji zainstalowanych w hydrantach, znajdujących się w każdej gałęzi sieci. Wyznaczono stany referencyjne odpowiadające przepływowi ustalonemu, mierzone co cztery godziny 6 razy w ciągu doby. Na podstawie kontrolnych pomiarów ciśnienia kalibruje się model hydrauliczny, na podstawie którego tworzy się macierz wpływu, stanowiącą podstawę algorytmu obliczeniowego w Metodzie Dystorsji Wirtualnych. Ustalono, że minimalna odchyłka od stanu referencyjnego, która powoduje, że uruchamia się procedurę wykrycia wycieku wynosi 11% ciśnienia na poszczególnych punktach pomiarowych. Codziennie, w uprzednio ustalonych godzinach, przeprowadza się statyczne pomiary ciśnienia, które są rejestrowane i przesyłane do centrum obliczeniowego. Na podstawie 18-tu pomiarów z czujników dokonuje się analizy mającej na celu wykrycie ewentualnej odchyłki od stanu referencyjnego. W celach testowych w gałęzi nr 5 otwarto zawór wywołując sztuczny wyciek o intensywności 50 litrów/min. Przyrządy pomiarowe zarejestrowały spadki ciśnienia w kilku sąsiednich gałęziach sieci o wartościach 20-30% w stosunku do ciśnień referencyjnych. W związku z przekroczeniem progowej wartości 11% w pewnym obszarze sieci, uruchomiono procedurę identyfikacji wycieku zgodnie z procedurą opisaną w przykładzie I i zlokalizowano sztucznie wywołany wyciek o intensywności 50 litrów/min. w gałęzi nr 5, demonstrując skuteczność metody.

Opisany sposób monitorowania sieci dystrybucyjnej został zobrazowany dodatkowo na rysunku, na fig. 2.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wykrywania wycieków w sieci dystrybucji do transportu cieczy, z wykorzystaniem przepływomierza zainstalowanego na wejściu do sieci i czujników ciśnienia, zainstalowanych w gałęziach sieci, od których sygnały przekazuje się do serwera dokonującego analizy, na podstawie której określa się miejsce nadmiernego wycieku cieczy, **znamienny tym**, że na podstawie pomiarów ciśnienia dokonanych w wybranych punktach sieci dystrybucyjnej i założonych okresach dobowego zasilania i zużycia cieczy przeprowadzanych w trakcie przepływu, korzystnie nieustalonego, kalibruje się model hydrauliczny sieci, przy pomocy którego następnie tworzy się zbiór wewnętrznych relacji w postaci macierzy wpływu, która jest podstawą algorytmu obliczeniowego w Metodzie Dystorsji Wirtualnych i po określeniu stanu referencyjnego sieci bez wycieków, dla danego okresu zasilania i zużycia wody, dokonuje się okresowych kontrolnych pomiarów ciśnienia w sieci, po czym, posiłkując się procedurami optymalizacji, wyznacza się, przez rozwiązanie zadania odwrotnego, zmianę parametrów

w stosunku do stanu referencyjnego i modeluje się tę zmianę przy wykorzystaniu dystorsji wirtualnych, które określają miejsce ewentualnego wycieku oraz jego intensywność.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przepływ nieustalony w trakcie okresowych pomiarów ciśnienia osiąga się poprzez zamykanie i otwieranie zasuw sterującej, usytuowanej na wejściu do sieci dystrybucyjnej.

3. Sposób wykrywania wycieków w sieci dystrybucji do transportu cieczy, z wykorzystaniem czujników ciśnienia, zainstalowanych w gałęziach sieci, od których sygnały przekazuje się do serwera zarządzającego dokonującego analizy, na podstawie której określa się miejsce nadmiernego wycieku cieczy, **znamienny tym**, że na podstawie pomiarów ciśnienia dokonanych w wybranych punktach sieci dystrybucyjnej i założonych okresach dobowego zasilania i zużycia cieczy przeprowadzanych w trakcie przepływu ustalonego, kalibruje się model hydrauliczny sieci, przy pomocy którego następnie tworzy się zbiór wewnętrznych relacji w postaci macierzy wpływu, która jest podstawą algorytmu obliczeniowego w Metodzie Dystorsji Wirtualnych i po określeniu stanu referencyjnego sieci bez wycieków, dla danego okresu zasilania i zużycia cieczy, ustala się wielkość odchyłki, po zaistnieniu której uruchamia się akwizycję danych z pomiarów ciśnienia w wybranych uprzednio punktach sieci, po czym, posługując się procedurami optymalizacji, wyznacza się, poprzez rozwiązanie zadania odwrotnego, zmianę parametrów w stosunku do stanu referencyjnego i modeluje się tę zmianę przy wykorzystaniu dystorsji wirtualnych, które określają miejsce wycieku oraz jego intensywność.

4. Sposób według zastrz. 3, **znamienny tym**, że odchyłka, po wystąpieniu której następuje wyznaczenie zmiany parametrów, wynosi co najmniej 10% zmiany ciśnienia na jednej z gałęzi sieci.

Rysunki

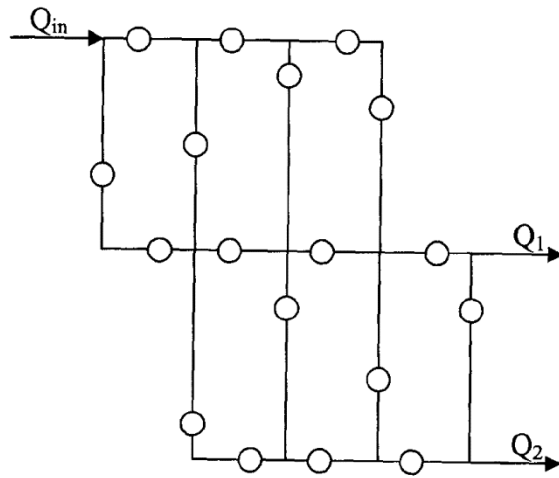


Fig.1

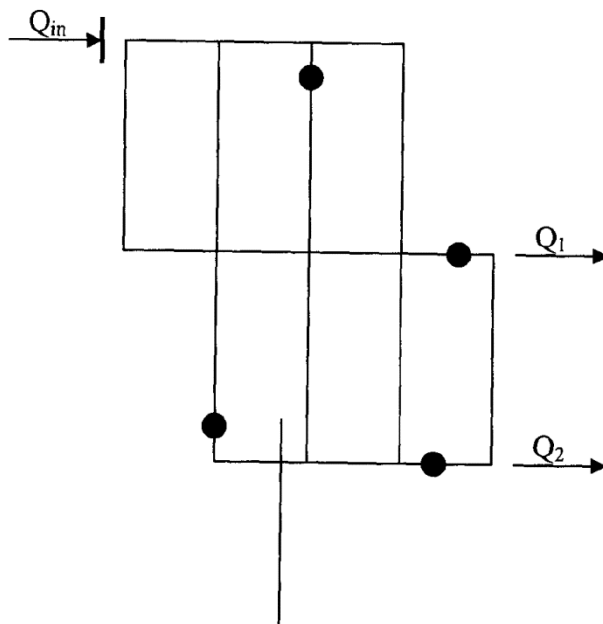


Fig. 2

