

40697/57



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 38868

Kl. 42 n, 11/50

Inż. mgr Henryk Działik

Warszawa, Polska

Model elektryczny nieustalonego ruchu cieczy w otwartych łóżyskach

Patent trwa od dnia 7 grudnia 1954 r.

Nieustalony ruch cieczy w otwartych łóżyskach, np. ruch wody w rzece, może być opisany przez równania różniczkowe o pochodnych cząstkowych. Rozwiązywanie tych równań na drodze matematycznej wymaga ogromnego nakładu pracy tym większego, im większa jest wymagana dokładność. Ponieważ w wielu dziedzinach techniki zachodzi potrzeba rozwiązywania trudnych równań różniczkowych stosuje się w ostatnich czasach coraz częściej modelowanie elektryczne wielkości fizycznych w różnych układach elektrycznych, z których powszechnie znany jest tzw. „mózg elektryczny”, przeznaczony do rozwiązywania różnych problemów techniki. Uniwersalny charakter maszyn matematycznych tego rodzaju pociąga za sobą bardzo skomplikowaną i kosztowną budowę oraz trudne odczytywanie wyników podawanych systemem umownych znaków.

Przykładem maszyn matematycznych specjalnie przystosowanych do jednego rodzaju zagadnień może być analizator sieciowy do badań

stanów nieustalonych w sieciach wysokiego napięcia.

Przedmiot wynalazku dotyczy urządzenia elektrycznego, przystosowanego specjalnie do rozwiązywania równań różniczkowych, opisujących nieustalony ruch wody w rzece. Urządzenie stanowi łańcuch czwórników, w których elementy np. oporniki i silniki są dobrane odpowiednio do parametrów rzeki, np. profilu dna, tak iż każdy czwórnik reprezentuje pewien jej odcinek, np. odcinek rzeki o długości 10 km. Wielkości elektryczne, występujące w poszczególnych czwórnikach, np. prądy, napięcia, moce, ilości elektryczności, odpowiadają różnym wielkościom hydrotechnicznym, np. przepływowi, stanom wody, przekrojom czynnym rzeki. Przy rozwiązywaniu zagadnień hydrotechnicznych należy ustawić odpowiednie wielkości elektryczne na modelu, co odpowiada zadaniu warunków brzegowych i początkowych przy rozwiązywaniu równań różniczkowych. Po uruchomieniu modelu przeprowadza się ciągłe lub dorywcze pomiary

odpowiednich wielkości elektrycznych za pomocą mierników, włączonych w tych punktach modelu, które odpowiadają w naturze wybranym miejscowościom i odczytuje się jako wielkości hydrotechniczne w odpowiednio wybranej skali czasowej. W ten sposób przebieg każdego zjawiska na rzece, np. przebieg fali powodziowej, można zbadać w sposób ciągły i bardzo dokładny pod względem ilościowym i jakościowym w ciągu kilkunastu minut, wynik zaś może być samoczynnie zarejestrowany w postaci wykresów za pomocą aparatów piszących. Ponieważ każda większa inwestycja budownictwa wodnego jest bardzo kosztowna i odpowiedzialna ze względu na nieobliczalne skutki katastrofalnych powodzi, konieczne jest dokładne zbadanie wielu wariantów przed powzięciem najwłaściwszej decyzji co do rozmiarów, rozmieszczenia i kolejności budowy urządzeń hydrotechnicznych. Model elektryczny według wynalazku umożliwia przestudiowanie licznych wariantów w bardzo krótkim czasie, może więc przynieść znaczne oszczędności w gospodarce narodowej przez skrócenie czasu projektowania i zwiększenie pewności działania urządzeń hydrotechnicznych.

Model elektryczny według wynalazku pozwoli na zbadanie ilościowe i jakościowe następujących zagadnień:

- 1) przebieg i transformację fali powodziowej wzdłuż całej rzeki przy dowolnych założeniach początkowych stanów na rzece i jej dopływach;
- 2) cofkę na dopływach;
- 3) wpływ różnych zbiorników na przebieg fali powodziowej oraz ich znaczenie dla gospodarki wodnej sezonowej i rocznej;
- 4) przebieg fali katastrofalnej w razie zniszczenia którejkolwiek zapory wodnej;
- 5) optymalne wykorzystanie rzeki dla energetyki.

Na załączonym rysunku przedstawiono przykład wykonania wynalazku, przy czym fig. 1 przedstawia schemat kilku członów łańcucha czwórników, fig. 2 zaś — model elektryczny Wisły wraz z jej dopływami.

Model elektryczny według wynalazku jest przystosowany do rozwiązywania następujących równań różniczkowych Saint-Venanta:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial s} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$i - \partial h = \frac{n u^2}{h^{1/3}} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\alpha u}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial s} \quad (2)$$

gdzie q oznacza przepływ, u — szybkość średnią wody, ω — przekrój czynny rzeki, h — głębokość strumienia.

Wielkości te występują w równaniu jako funkcje odległości s przekroju czynnego od przekroju początkowego i funkcje czasu t , liczonego od przyjętej chwili początkowej.

Współczynniki stałe w tych równaniach oznaczają: i — nachylenie powierzchni cieczy przy ruchu ustalonym, n — współczynnik chropowatości łóżyska, $\alpha \approx 1,1$ — współczynnik nierównomierności pola szybkości, g — przyspieszenie ziemskie.

Ponadto wielkości zmienne występujące w tych równaniach są związane dodatkowo dwiema następującymi zależnościami:

$$q = u \omega \quad (3)$$

$$\omega = \varphi(h) \quad (4)$$

Układ równań 1 — 4 jest pełny i teoretycznie pozwala na jednoznaczne rozwiązanie przy zadanych warunkach początkowych i brzegowych. Rozwiązaniem byłyby funkcje, dające zależności którejkolwiek z wielkości zmiennych q , u , ω , lub h od zmiennych niezależnych s i t .

Dla poznania ruchu falowego najważniejsze byłyby funkcje określające przepływ q i rzędną z , czyli $q = f_1(s, t)$ oraz $z = f_2(s, t)$.

Znalezienie takiej funkcji, np. $z = f(s, t)$, przedstawiającej nieustalone stany wody (np. falę powodziową) na całej długości rzeki i w całym okresie czasu występowania zjawiska nie jest możliwe w dzisiejszym stanie wiedzy. W zagadnieniach praktycznych trzeba zadowolić się rozwiązaniami przybliżonymi, do których prowadzi droga długich i żmudnych obliczeń, przy wprowadzeniu mniejszych lub większych uproszczeń do równań podstawowych i pogodzeniu się z góry z wynikającymi stąd niedokładnościami. Uproszczeniem takim jest najczęściej pominięcie w równaniu dynamicznym (2) sił tarcia lub sił bezwładności, jak również założenie pryzmatycznego kształtu koryta rzeki.

Zasada budowy modelu polega na zestawieniu takiego układu elektrycznego, w którym przebieg określonej wielkości elektrycznej, np. prądu lub napięcia, byłby opisany za pomocą równań o tej samej postaci co równania różniczkowe dla ruchu wody w rzece.

Układ zawiera liczniki amperogodzin połączone różnicowo w ten sposób, że każdy licznik mierzy różnicę liczb amperogodzin z dwóch sąsiednich obwodów. Szybkość obrotowa jest proporcjonalna do różnicy prądów sąsiednich obwodów. Bierze się pod uwagę odcinek ds modelu, w którym obwody są tak gęsto rozmieszczone,

że można uważać, iż poszczególne parametry są rozłożone wzdłuż odcinka w sposób ciągły. Na przestrzeni odcinka ds przyrost amperogodzin na wszystkich licznikach tego odcinka wyniesie w czasie dt :

$$\left[i - \left(i + \frac{\partial i}{\partial s} ds \right) \right] dt = - \frac{\partial i}{\partial s} ds \cdot dt$$

Przyrost ogólnego kąta liczników na całym odcinku ds , wyniesie ψds , jeżeli oznaczmy przez ψ średnie rozłożenie jednostkowe tego kąta na odcinku, a w czasie dt cały przyrost wyniesie

$$\frac{\partial}{\partial t} (\psi ds) \cdot dt$$

W licznikach amperogodzin zachodzi ścisła proporcjonalność między liczbą amperogodzin przepuszczonych przez liczniki i kątem ich obrotu. Dobierając odpowiednią kierunki prądów i współczynniki proporcjonalności, można napisać równanie, które po skróceniu przez $ds \cdot dt$ i przyjęciu współczynnika proporcjonalności $k = 1$ jest identyczne z pierwszym równaniem Saint-Venanta (tzw. równaniem ciągłości):

$$\frac{\partial i}{\partial s} + \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$$

Należy więc przyjąć, że prąd i w modelu jest proporcjonalny do przepływu q w rzece o kąt obrotu ψ licznika jest proporcjonalny do przekroju czynnego ω w rzece. W modelu elektrycznym jest odtworzone również drugie równanie (tzw. dynamiczne), lecz podane w postaci całkowej, a mianowicie $q = f(\omega)$. Postać matematyczna tego równania nie jest znana, lecz można je łatwo otrzymać w postaci tabelarycznej lub graficznej z pomiarów stanu i przepływu wody w różnych przekrojach rzeki, tzn. z krzywych konsumpcyjnych $z = f(q)$, opracowanych na podstawie wieloletnich obserwacji z uwzględnieniem przekroju $\omega = f(q)$. Mając te funkcje, można sporządzać oporniki, zmienne których przewodność byłaby proporcjonalna do przekroju czynnego ω rzeki tak, aby przy stałym napięciu prąd płynący przez cewkę licznika był proporcjonalny do przepływu q . Oporniki takie stosunkowo łatwo można wykonać przez nawinięcie drutu na płytce, ukształtowanej odpowiednio do krzywej konsumpcyjnej. Ponadto należy dobrać doświadczalnie odpowiednie momenty bezwładności ruchomych części liczników.

Model elektryczny według wynalazku składa się z wielu członów czwórnikowych (fig. 1), z których każdy odpowiada pewnemu przyjętemu odcinkowi rzeki, np. 10 km. Każdy człon zawiera mechanizm licznikowy, rejestrujący amperogodzin. Konstrukcja liczników nie musi być przy tym przystosowana do prądu stałego, gdyż liczniki mogą być typu indukcyjnego na prąd zmienny i przy stałym napięciu oraz stałym współczynniku mocy mogą rejestrować pewne umowne „amperogodziny skuteczne”. Układ napędowy licznika składa się z cewek napięciowych, zasilanych ze wspólnego źródła prądu i z cewek prądowych, zasilanych z innego źródła. Napięcia obu źródeł są stabilizowane i przesunięte względem siebie o 90° . Cewki napięciowe nie są uwidocznione na schemacie. Każdy licznik posiada dwie cewki prądowe, ustawione w ten sposób względem cewek napięciowych, by ich momenty, działające na tarczę, były skierowane przeciw sobie. W ten sposób przy równości prądów w obu cewkach tarcze licznikowe będą nieruchome, gdy zaś prądy nie są równe tarcza licznika będzie obracać się w jedną lub drugą stronę w zależności od tego, który prąd jest większy. Na osi licznika zamiast zwykłego ślimaka do liczydła jest wykonany gwint śrubowy, na którym jest prowadzona nakrętka stanowiąca suwak opornika. Nakrętka może być dwudzielna w celu łatwego ustawienia w dowolnym miejscu gwintu. Do nakrętki jest przymocowany suwak opornika, nawinięty na krzywece, ukształtowanej odpowiednio do krzywej konsumpcyjnej danego odcinka rzeki.

Działanie modelu jest opisane poniżej. Gdy bieg rzeki jest ustalony to opory dynamiczne i przepływy we wszystkich przekrojach są równe. W modelu elektrycznym są równe wszystkie prądy $i_0 = i_1 = i_2 = \dots$ (c), a więc muszą być równe nastawione oporności wszystkich oporników. Wszystkie liczniki są nieruchome. Chcąc zbadać ruch nieustalony, należy zmienić za pomocą opornika na początku modelu prąd i_0 , co odpowiadać będzie zjawieniu się fali w górnym biegu rzeki. Pod wpływem różnicy prądów $i_0 - i_1$ zacznie obracać się tarcza pierwszego licznika wskutek czego przesunie się suwak opornika r_1 , co z kolei spowoduje zwiększenie przewodności i zwiększenie prądu i_1 . Jeżeli i_0 pozostaje bez zmiany to różnica $i_0 - i_1$ będzie maleć do zera i po upływie pewnego czasu, zależnego od tzw. stałej licznika, prąd i_1 zrówna się z prądem i_0 , bieg licznika zaś zostanie wstrzymany. Oczywiście to samo, lecz z odpowiednim opóźnieniem będzie się odbywać kolejno we

wszystkich pozostałych licznikach aż do ostatniego i kiedy prąd ostatniego licznika będzie równy prądowi pierwszego — cały ruch ustanie. Będzie to oznaczało, że w rzece ustaliły się nowe, większe przepływy i wyższe stany. Jeżeli teraz zmniejszyć prąd wejściowy i_0 tak, iż $i_0 < i_1$, to liczniki kolejno od pierwszego do ostatniego zaczną obracać się w przeciwnych kierunkach, niż przed tym, dopóki nie nastąpi ponowne ustalenie się mniejszych przepływów i niższych stanów w całym modelu. Jeżeli opornik r_0 będzie zmieniany w sposób ciągły, np. za pomocą mechanizmu zegarowego i odpowiedniej krzywki tak, by prąd i_0 był odwzorowaniem zadanej fali powodziowej w górnym biegu przy pewnych z góry ustalonych stanach wody w całym dolnym biegu rzeki, to model odtworzy dokładnie przebieg fali powodziowej i jej stopniową transformację w całym dolnym biegu rzeki. W odpowiednio wybranym członie modelu można włączyć przyrządy pomiarowe i ewentualnie rejestrujące, które podadzą i wykreślą dla danej miejscowości wszystkie wielkości charakterystyczne fali powodziowej, jak stany wody, przepływy lub średnie szybkości wody.

W pewnych członach można zastąpić oporniki, charakteryzujące odcinek naturalnego koryta rzeki, opornikami, odtwarzającymi zbiorniki, zbudowane w danych miejscowościach, przy czym połączenia elektryczne z następnymi członami dolnego biegu byłyby dokonane samoczynnie dopiero po osiągnięciu przez opornik pewnej wartości oporności, co odpowiadałoby działaniu przelewów. Można również przewidzieć oporniki, włączane ręcznie, co odpowiadałoby otwieraniu zasuw jazu. Model może więc odtworzyć również przebieg fali powodziowej z uwzględnieniem wpływu retencji zbiorników.

Niektóre człony posiadają liczniki z dodatkową cewką prądową. Do cewek dodatkowych przyłącza się modele, odtwarzające dopływy rzeki głównej.

Na fig. 2 przedstawiono przykład modelu Wisły wraz z głównymi dopływami. Całony zakreskowane odpowiadają projektowanym zbiornikom na rzece głównej i dopływach. Model ten pozwala na przestudiowanie niestabilnego ruchu wody przy wszelkich założeniach przepływów od źródeł aż do ujścia. Jeżeli np. stan powodziowy wystąpi w górnej Wiśle i na Sanie, w Pilicy natomiast będzie stan niski, to model wykaże również stopniowe podnoszenie się stanu wody w Pilicy, tj. cofkę na dopływie, gdyż w uzwojeniu, sprzęgającym model Pilicy z modelem Wisły, popłynie większy prąd niż w licznikach Pilicy, wskutek czego liczniki Pilicy zaczną biec w przeciwną stronę.

Udział drobnych dopływów, parowania wody, nasiąkliwości gruntu i odprowadzeń na meliorację w ogólnym bilansie wody może być również stosunkowo łatwo uwzględniony w modelu przez wstawienie na poszczególnych członach niewielkich boczników tak, aby prąd wyjściowy jednego członu nie był ściśle równy prądowi wejściowemu drugiego członu.

Model elektryczny według wynalazku może być połączony z modelem świetlnym, w którym badane zjawisko na rzece, np. fala powodziowa, może być odtworzone w sposób poglądowy na ekranie.

Zastrzeżenia patentowe

1. Model elektryczny niestabilnego ruchu cieczy w otwartych łożyskach, np. w rzece, znamieny tym, że zawiera łańcuch czwórników, z których każdy przedstawia pewien odcinek łożyska, tak iż parametrom i wielkościom hydrotechnicznym odcinka łożyska odpowiadają parametry i wielkości elektryczne czwórnika.
2. Model według zastrz. 1, znamieny tym, że czwórniki są aktywne.
3. Model według zastrz. 1 i 2, znamieny tym, że czwórniki zawierają silniki elektryczne o uzwojeniach przeciwsobnych oraz zmienne oporniki funkcyjne, napędzane przez te silniki i regulujące prąd w ich uzwojeniach.
4. Model według zastrz. 1 — 3, znamieny tym, że czwórniki są zasilane prądem stałym lub zmiennym o napięciu stabilizowanym.
5. Model według zastrz. 3, znamieny tym, że silniki mają postać liczników rejestrujących amperogodziny rzeczywiste lub umowne, bądź watogodziny, odpowiadające w pewnej skali ilości wody na danym odcinku rzeki.
6. Model według zastrz. 3, znamieny tym, że silniki są połączone różnicowo w ten sposób, iż odtwarzają równanie różniczkowe Saint-Venanta, określające prawo ciągłości cieczy.
7. Model według zastrz. 3, znamieny tym, że opornik funkcyjny w czwórniku posiada oporność, zmienianą odpowiednio do zdjętej z natury lub obliczonej zależności funkcyjnej przepływu wody od przekroju czynnego rzeki.
8. Model według zastrz. 1 — 7, znamieny tym, że części ruchome w czwórniku mają moment bezwładności, dobrany odpowiednio do

członów inercyjnych w równaniu dynamicznym Saint-Venanta.

9. Model według zastrz. 1 — 8, znamieny tym, że silniki w niektórych czwórnikach posiadają dodatkowe uzwojenie różnicowe, służące do połączenia głównego łańcucha czwórników, reprezentującego rzekę główną, z bocznymi łańcuchami czwórników, reprezentującymi dopływy.
10. Model według zastrz. 1 — 9, znamieny tym, że stała licznikowa silników licznikowych jest dobrana odpowiednio do żądanej skali czasowej modelu.
11. Model według zastrz. 1, znamieny tym, że wszystkie lub tylko niektóre czwórniki są zaopatrzone w przyrządy pomiarowe i ewentualnie rejestrujące, które podają wartości wielkości elektrycznych przemianowane ewentualnie od razu na wielkości hydrotechniczne.
12. Model według zastrz. 1 — 11, znamieny tym, że obwody uzwojeń silników są zaopatrzone w boczniki lub odgałęzienia, przedstawiające udział w bilansie wody takich dodatkowych czynników, jak drobne dopływy lub ubytek wody na parowanie i melioracje.
13. Model według zastrz. 1 — 12, znamieny tym, że niektóre człony czwórnikowe posia-

dają oporniki zmienne, przedstawiające zbiorniki wodne, przy czym połączenie elektryczne tych członów z członami następnymi jest dokonywane samoczynnie dopiero po osiągnięciu pewnej wartości oporności, co odpowiada w naturze całkowitemu napełnieniu zbiornika i przelewaniu się wody przez przelewy, lub też ręcznie, co odpowiada w naturze otwieraniu zasuw jazu.

14. Model według zastrz. 1 — 13, znamieny tym, że na początku łańcucha jest włączony element regulacyjny stały lub zmienny, np. opornik o oporności, odpowiadającej wartości początkowej przepływu w górnym biegu rzeki lub dopływu, przy czym opornik ten może być nastawiany ręcznie lub samoczynnie odpowiednio do zadanego hydrografu dobowego, dekadowego lub rocznego.
15. Model według zastrz. 1 — 14, znamieny tym, że poszczególne człony łańcucha czwórników są połączone elektrycznie z modelem świetlnym, który odtwarza w sposób poglądowy przebieg fali wzdłuż rzeki.
16. Model według zastrz. 1 — 15, znamieny tym, że posiada regulację napięcia cewek prądowych i napięciowych, służącą do zmiany skali czasu.

Inż. mgr Henryk Działlik

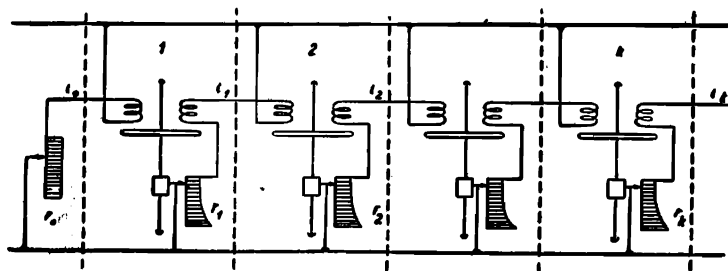


Fig.1

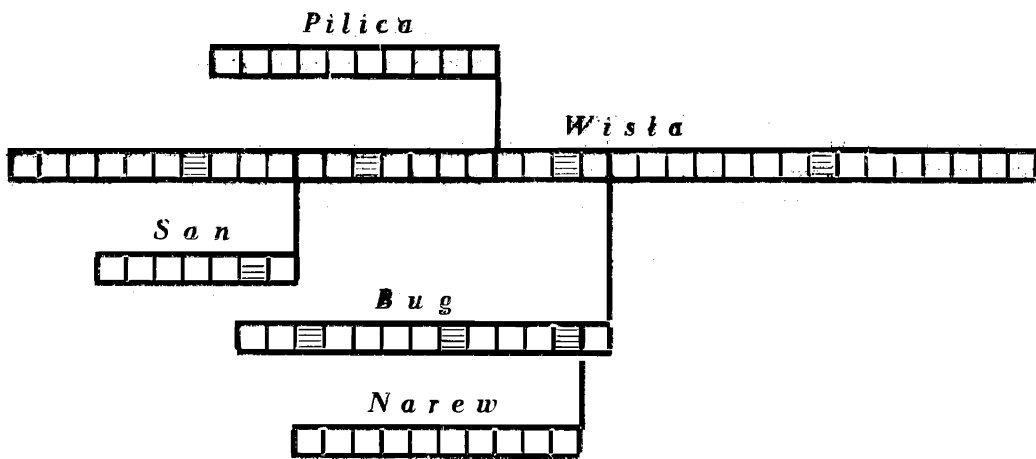


Fig. 2