

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

83-84

WARSZAWA - POZNAŃ 1983

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA—EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WŁODZIMIERZ PROSNAK · KAZIMIERZ STELLER
ROBERT SZEWAŁSKI (PRZEWODNICZĄCY - CHAIRMAN) · JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA—EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1983

Printed in Poland

ISBN 83-01-04553-1
ISBN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340+90 egz.	Oddano do składania 17 VI 1982 r.
Ark. wyd. 21,5. Ark. druk. 16,75+1 wkl.	Podpisano do druku 22 IV 1983 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w maju 1983 r.
Nr zam. 489/184.	E-9/215. Cena zł 200,—

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

HYDROFORUM

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

na temat

PROBLEMY ROZWOJU HYDRAULICZNYCH MASZYN WIROWYCH ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM POTRZEB ENERGETYKI

Porąbka-Kozubnik, 20 - 23, września 1980 r.

*

HYDROFORUM

SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE

on

DEVELOPMENT PROBLEMS OF HYDRAULIC TURBOMACHINES WITH SPECIAL ACCOUNT OF THE NEEDS OF POWER ENGINEERING

Porąbka-Kozubnik, September 20 - 23, 1980

*

ГИДРОФОРУМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ МАШИН С ОСОБЫМ УЧЕТОМ НУЖД ЭНЕРГЕТИКИ

Поромбка-Козубник, 20 - 23 сентября 1980 г.

OLIVÉR FÜZY, LÁSZLÓ KULLMANN

Budapest*

Vereinfachte Modelle grosser Netzwerke für die Simulation von Drucktransienten

Ziel der Arbeit ist vernünftige Vereinfachungen für die Simulationsmodelle von Drucktransienten in komplizierten Rohrnetzen zu finden. Eine Druckwelle kann vom Punkt der Störung bis zum Punkt der Beobachtung verschiedene Wege einlaufen. Die Druckschwankungen im beobachteten Punkt werden durch die Zahl der verschiedenen Wege bestimmt. Für die Untersuchung des Einflusses der Struktur des Rohrnetzes auf dessen dynamisches Verhalten wurde eine digitale Simulation verwendet.

Einleitung

Die systematische Untersuchung einer Serie von Rohrnetzen wurde in der Arbeit [1] dargestellt. Es folgten weitere Untersuchungen, die teilweise auf der Arbeit eines Diplomanden des Lehrstuhles — des Herrn S. Éliás — beruhen. Die digitalen Rechnungen wurden mit einem, an anderen Stellen [2 - 4] beschriebenen Simulationsprogramm — das an unserem Lehrstuhl entwickelt worden ist — durchgeführt. Es bieten sich weitere Ideen für eine Vereinfachung des Simulationsmodelles an.

Eine mögliche Vereinfachung wäre das Ersetzen der partiellen Differentialgleichungen, die die Strömung im elastischen Rohr beschreiben mit gewöhnlichen Differentialgleichungen, d.h. das Verwenden eines inkompressiblen Flüssigkeitsmodells. Unsere Untersuchungen zeigen eindeutig, dass diese Vereinfachung zu unbefriedigenden Ergebnissen führt, wie es auf Abb. 1 zu sehen ist. Die Druckverläufe nach einer sprunghaften Druckerhöhung im Punkt A des Netzes sind für das kompressible und inkompressible Modell in einer dimensionslosen Darstellung verglichen. Dabei ist p das Verhältnis des momentanen Druckes zum Endwert und t die physikalische Zeit zur charakteristischen Zeit. Wir nennen $2L/w$ eine charakteristische Zeit. Die Wellengeschwindigkeit wurde mit w bezeichnet.

Eine andere Vereinfachung ist, dass man die Zahl der Röhre, die in Betracht genommen sind, reduziert. Wir können keine, mathematisch begründeten Formeln geben, die über die Wirkung solcher Vernachlässigungen aussagen. Es ist aber überaus eindeutig, dass man die Druckverläufe in entsprechenden Punkten verschiedener komplizierten Netze nach dem Grad derer Kompliziertheit einordnen kann. Folgendes kann also vorgeschlagen

* Lehrstuhl für Hydraulische Maschinen, Technische Universität, Budapest.

werden. Man simuliere das untersuchte Netz mittels eines Modells, das möglichst wenige Vernachlässigungen gegenüber dem tatsächlichen Netz enthält und an die Speicherkapazität des zur Verfügung stehenden Rechenautomaten angepasst ist.

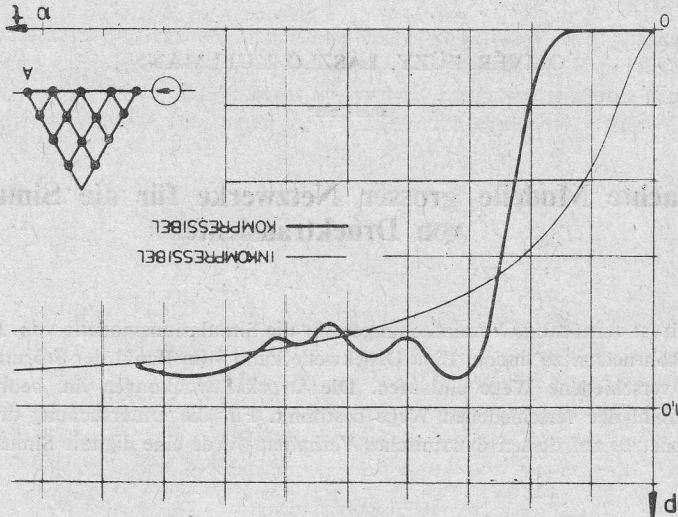


Abb. 1

Man wähle Modellnetze, die Vereinfachungen verschiedenen Grades gegenüber dem Grundmodell enthalten. Man vergleiche die Ergebnisse der Simulation, d.h. den zeitlichen Verlauf des Druckes in ausgewählten Punkten des Netzes. Es ist zu erwarten, dass man so auf den Druckverlauf im realen Netz auch quantitativ extrapolieren kann.

Rechenbeispiele

1. Als erstes Beispiel sei eine Serie von Netzen untersucht, die in Abb. 2 dargestellt sind. Die verschiedenen Netze wurden folgendermassen konstruiert

- Der stationäre Förderstrom ist gleich in allen Netzen.
- Die stationäre Flüssigkeitsgeschwindigkeit liegt zwischen 1 m/s und 1,5 m/s in allen Röhren.

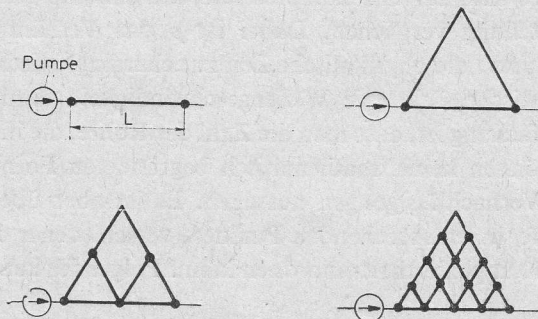


Abb. 2

- Das Netz besitzt eine Symmetrie-Ebene welche den Ein- und Ausstrom-Knotenpunkt trennt.
- Die Pumpe hat die gleiche Charakteristik mit dem selben Betriebspunkt für alle Netze.
- Der Reibungskoeffizient ist gleich in allen Röhren.
- Die Druckwellengeschwindigkeit ist gleich entlang allen Röhren.

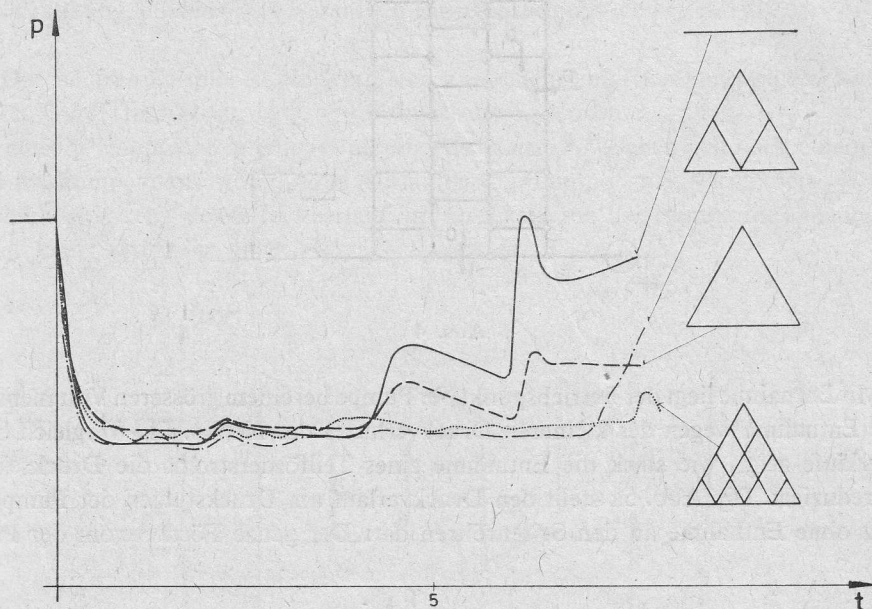


Abb. 3

Der Rohrdurchmesser kann von diesen Annahmen berechnet werden, er ist nicht gleich für die Röhre der verschiedenen Netze. Der totale Druckverlust in den verschiedenen Netzen weicht ab, aber die Abweichung ist gering.

Der Druckverlauf im Punkt am Druckstutzen der Pumpe nach einem Stromausfall ist in Abb. 3 dargestellt. Die mit einander verglichenen Druckverläufe zeigen eindeutig, dass es eine Regelmässigkeit existiert. Die erste wesentliche Druckerhöhung nach der – für alle Netze gleiche – Depression zeigt wann die Rückschlagklappe schliesst. Je komplizierter das Netz ist, desto später folgt der Schlag der Klappe dem Stromausfall. Von der Grösse und Dauer der Depressionwelle sollen die Abmessungen eines eventuellen Windkessels abhängen. Es ist also auch für die Praxis bestimmend, dass sich diese wesentlichen Parameter nach der Modellgüte einordnen lassen.

2. Das zweite Beispiel kann als Modell eines realen Netzes der Wasserversorgung einer Stadt angenommen werden.

Das Netz ist in Abb. 4 dargestellt. Das Hauptrohr, welches die Pumpe mit dem 65 m hohen Wasserturm verbindet hat einen Durchmesser von 1,4 m (Wandstärke ist 28 mm und die Rauigkeit 1 mm) alle andere Röhre haben einen Durchmesser von 0,7 m (Wand-

stärke ist 14 mm, Rauigkeit ist 0,5 mm). Dieses System wurde auf zwei Betriebsständen untersucht, als die Pumpe nur in den Wasserturm fördert und als 40% des geförderten Volumenstromes an vier Punkten abgenommen wird. (Die abgenommenen Volumenströme liegen zwischen 0,157 und 0,243 m³/s). Der stationäre Förderstrom der Pumpe ist etwa

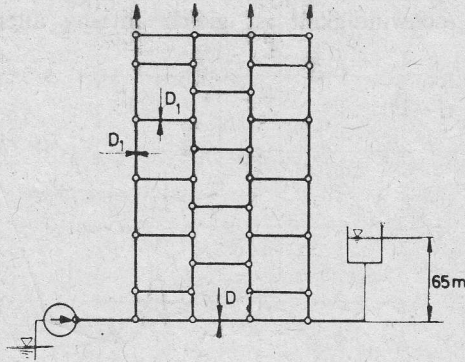


Abb. 4

2 m³/s. Mit Entnahme liegt der Betriebspunkt der Pumpe bei einem grösseren Volumenstrom als ohne Entnahme wegen des kleineren Druckverlustes des Netzes. Ein Vergleich beider Druckverläufe zeigt, wie stark die Entnahme eines Teilförderstroms die Druckschwankungen reduziert. Die Abb. 5a stellt den Druckverlauf am Druckstutzen der Pumpe für das Netz ohne Entnahme an den Seitenröhren dar. Der ganze Förderstrom der Pumpe

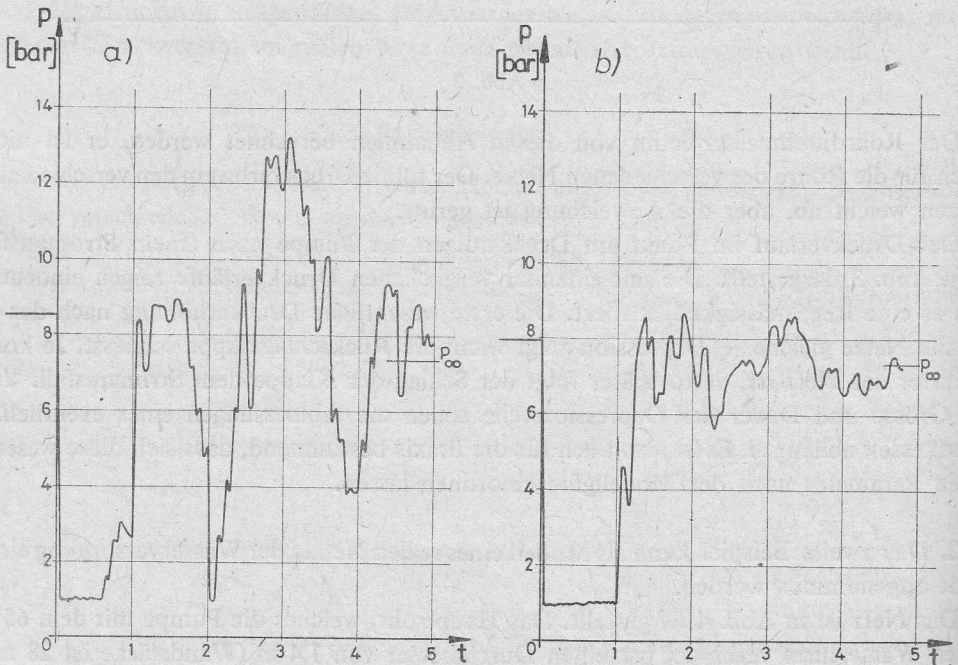


Abb. 5

fiesst durch das Netz. Nach einem Stromausfall vermindern sich der Förderstrom und der Druck. Darauf folgen abwechselnd Druckerhöhungen und Druckverminderingen mit der durch die charakteristische Zeit bestimmten Grundfrequenz. Die Amplitude dieser Druckschwankungen liegt in der Grösseordnung des stationären neuen Endwertes. Die Amplitude nimmt mit der Zeit wegen der Reibung ab. Der in diesem Beispiel gezeigte Fall entspricht etwa dem kompliziertesten Netz, welches in Abb. 2 dargestellt wurde.

In Abb. 5b — für den Fall wo $Q \neq 0$ ist — folgt der ersten Druckverminderung auch eine Schwankung, die aber eine wesentlich geringere Amplitude hat.

3. Das nächste Beispiel ist ein Vergleich zwischen einfachen verzweigten Netzen im Fall von Durchfluss $Q=0$, bzw. $Q \neq 0$ durch die Seitenröhre.

Es gibt im Hauptrohr in jedem Fall einen Förderstrom, welcher sich nach einem Stromausfall im Pumpenhaus wegen dem Auslaufen der Pumpe stark vermindert.

Abbildung 6 zeigt den Druckverlauf am Druckstutzen der Pumpe im einfachen Fall, wenn es kein Seitenrohr gibt.

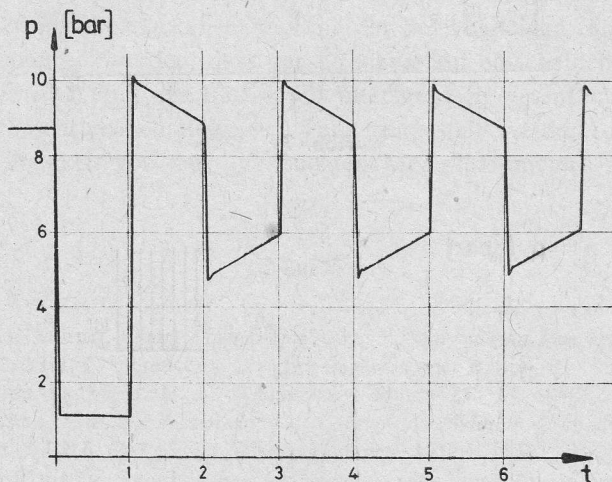


Abb. 6

Tabelle 1

Zahl der Seitenröhre		1	4	9
		$p_{\max}$ (bar)		
Kurze Seitenröhre	$Q=0$	12,8	14,2	14,7
	$Q \neq 0$	9,8	9,3	7,65
Seitenröhre mittlerer Länge	$Q=0$	13,7	15,3	16,2
	$Q \neq 0$	9,62	8,85	7,56
Lange Seitenröhre	$Q=0$	11,2	13,8	13,8
	$Q \neq 0$	9,6	8,6	7,2

Danach wurden Systeme mit 1, 4 und 9 Seitenröhre untersucht. Die Länge der Seitenröhre war in einem System immer die selbe, aber es wurden verschiedene Netze mit der selben Zahl, aber verschiedener Länge der Seitenröhre simuliert. Tabelle 1 gibt die

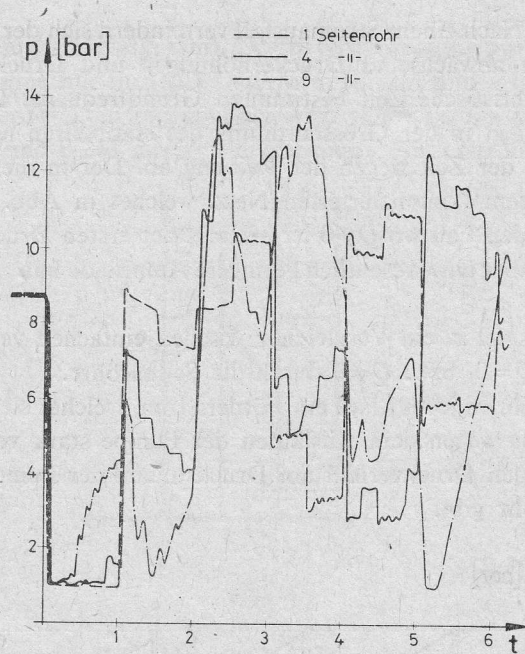


Abb. 7

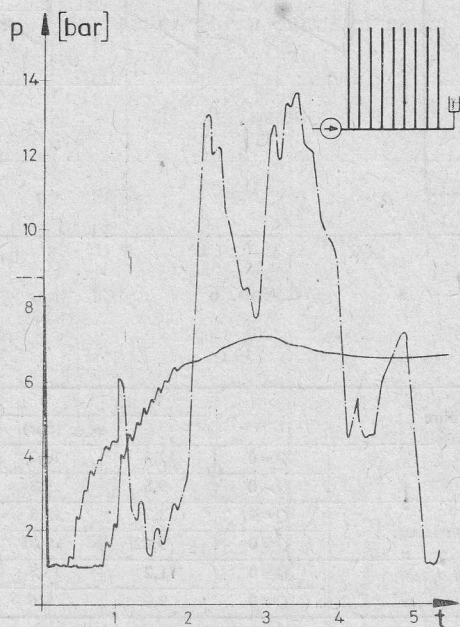


Abb. 8

Druckmaxima für die verschiedenen Netze an. In einer Reihe der Tabelle ist die Länge, in einer Kolonne die Zahl der Seitenröhre konstant. Die Tabelle enthält Werte für Netze mit $Q=0$, bzw. $Q \neq 0$.

In Abb. 7 sind die Druckverläufe für Netze mit langen Seitenröhren verglichen. Die Zahl der Seitenröhre, wie erwähnt, ändert sich, sie ist 1, 4, bzw. 9.

Die letzte Abb. 8 zeigt die Differenz der Druckverläufe für die beiden Fälle $Q=0$, bzw. $Q=0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ Entnahme an den 9 Seitenröhren. Der sehr starke Verminderungseffekt der Entnahme auf die Druckamplitude ist deutlich zu erkennen.

Zusammenfassung

Bei einem Netz mit vielen geschlossenen Wegen verursacht die Interferenz der Druckwellen, die verschiedene Wege einlaufen, eine Dämpfung der Schwingungen im ganzen. Dies bedeutet aber nicht, dass es keine einzelnen hohen Druckspitzen gibt.

Bei einem verzweigten Netz kann ohne weiteres behauptet werden, dass eine Entnahme eines Teilförderstroms zur starken Dämpfung der Schwingungen führt. Ohne Entnahme dagegen muss behauptet werden, dass der Druckverlauf entscheidend von der Zahl der Verzweigungen abhängt und das Bild durch Interferenzen wesentlich gestört wird.

In allen hier beschriebenen Beispielen kann festgestellt werden, dass sich die Druckverläufe in Abhängigkeit von den untersuchten Modellparametern stetig ändern.

Literatur

- [1] O. Füzy, L. Kullmann, *Limits of simplification of strongly looped pipe networks in waterhammer analysis*. Proc. 3rd Int. Conference on Pressure Surges. Paper B5, pp. 87 - 96. Organized by BHRA Fluid Engineering, Cranfield, U. K. (Canterbury: March 25 - 27, 1980).
- [2] O. Füzy, *Analysis of hydraulic systems by means of digital simulation*. Proc. 6th Conference on Fluid Machinery. pp. 413-416. Akadémiai Kiadó, Budapest 1979.
- [3] O. Füzy, L. Kullmann, *Rapid method for calculating the liquid flow in a pipe network*. Proc. 6th Conference on Fluid Machinery pp. 417 - 424. Akadémiai Kiadó, Budapest 1979.
- [4] O. Füzy, *Der Einfluss des Luftgehaltes bei der Simulation von Transient-Erscheinungen in einer Rohr-strecke*. HYDROFORUM '80, Trans. IF-FM, no. 83 - 84, 1983.

Uproszczone modele wielkich sieci rurociągów do symulacji niestacjonarnych przebiegów ciśnienia

Streszczenie

Celem tej pracy jest znalezienie racjonalnych uproszczeń modeli symulacji niestacjonarnych przebiegów ciśnienia w skomplikowanych sieciach rurociągów. Fala ciśnieniowa może się rozprzestrzeniać różnymi drogami od źródła zaburzenia do punktu obserwacji. Oscylacje ciśnienia w punkcie obserwacji są określone przez liczbę tych dróg. Zastosowano symulację cyfrową do zbadania wpływu struktury sieci na jej dynamiczne zachowanie się.

Simplified Models of Large Pipe Networks for Simulation of Pressure Transients

Summary

The aim of the paper is to find reasonable simplifications of the simulation models of pressure transients in complicated networks. The pressure wave can propagate along various ways from the source of disturbance to the point of observation. The pressure oscillations at the point of observation are determined by the number of these ways. A digital simulation has been used to investigate the influence of the network structure on its dynamical performance.

Упрощенные модели больших сетей трубопроводов для симуляции нестационарных ходов давления

Резюме

Целью этой работы являлась находка рациональных упрощений модели симуляции нестационарных ходов давления в komplицированных сетях трубопроводов. Волна давления может распространяться по различным путям от источника возбуждения до точки наблюдения. Осцилляции давления в точке наблюдения определяются числом этих путей. Применялась численная симуляция для исследования влияния структуры сети на ее динамическое поведение.