

## СПОСІБ СТВОРЕННЯ ДИНАМІЧНО ЗМІНЮВАНОЇ СТРУКТУРИ МОДЕЛІ ТРУБОПРОВОДУ

*Перекрест А.Л., к.т.н., доцент, Лисенко О. Ю., магістр  
Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна  
E-mail: [visnik@polytech.poltava.ua](mailto:visnik@polytech.poltava.ua)*

У статті представлено підхід до реалізації структури, що динамічно змінюється, математичної моделі трубопроводної мережі у пакеті Matlab, яка дозволяє автоматично формувати її модель при послідовному з'єднанні блоків.

**Ключові слова:** модифікація структури моделі, насосна установка, трубопроводна мережа.

**Вступ.** Складні Simulink-моделі можуть складатися з однакових повторюваних підсистем, а також вміщувати блоки з різних бібліотек Simulink. Поведінка такої моделі залежить від кількості таких повторюваних блоків. Якщо при дослідженні моделі необхідно змінювати кількість повторюваних підсистем, то доводиться багато разів змінювати внутрішню структуру моделі, що призводить до значного збільшення об'єму робіт при створенні моделі об'єкту дослідження.

Для спрощення роботи зі складними моделями існує можливість автоматизувати зміну структур моделей зі складними зв'язками й повторюваними підсистемами шляхом оптимізації параметрів моделі. При цьому динамічно змінювані моделі Simulink складаються з підсистем двох видів. До першого виду відносяться моделі, які відрізняються на якісному рівні. До другого – моделі, які відрізняються лише на кількісному рівні підсистем [1].

**Мета роботи.** Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для створення моделей елементів насосного комплексу зі змінюваною структурою.

**Матеріал і результати дослідження.** У якості об'єкта дослідження прийнятий гідротранспортний комплекс, що включає насосну установку (НУ), трубопроводну мережу (ТМ) та споживач (СП) (рис. 1).

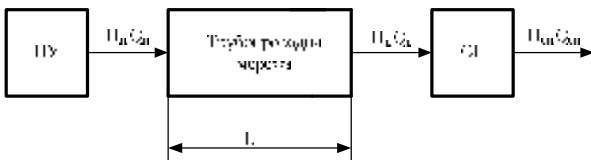


Рисунок 1 - Структурна схема гідротранспортної системи

ТМ представляє собою розгалужену трубопроводну систему довжиною L, кожна ділянка якої характеризується власними параметрами (довжиною, діаметром і т. ін.)

Динамічні процеси в трубопроводній мережі описуються відомими з гідравліки рівняннями розповсюдження хвиль тиску в трубопроводі [2]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H(t)}{\partial x} + \frac{1}{gS} \frac{\partial Q(t)}{\partial t} + \frac{\lambda}{d} \frac{1}{S^2} \frac{Q(t)|Q(t)|}{2g} &= 0; \\ \frac{\partial H(t)}{\partial t} + \frac{c^2}{gS} \frac{\partial Q(t)}{\partial x} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  – площа поперечного перерізу трубопровода, м<sup>2</sup>; d – діаметр трубопровода, м,  $\lambda$  – коефіцієнт опору трубопровода; c = 1450 м/с – швидкість розповсюдження звуку у воді.

Для розв'язання таких рівнянь застосовуються принцип електрогідравлічної аналогії та метод кінцевих елементів, при якому трубопроводна мережа як об'єкт з розподіленими параметрами представляється схемою заміщення з кінцевою кількістю інтервалів однакової довжини (рис. 2). При цьому на кожній з ділянок напір та витрата вважаються постійними [3].

Таке перетворення відповідає заміні довгої лінії ланцюговим з'єднанням n-ділянок (чотириполосників) трубопроводної мережі скінченної довжини.

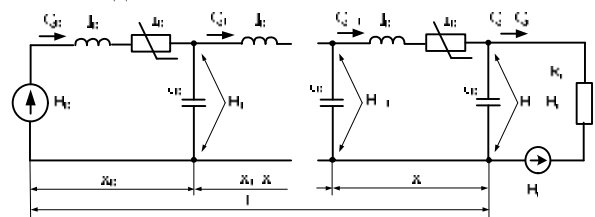


Рисунок 2 – Схема заміщення трубопроводної мережі

На рис. 2 прийняті позначення:

$H_0, Q_0, H_n, Q_n$  - напір і продуктивність на початку й в кінці мережі відповідно;

$R_{cn}, H_{cn}, Q_{cn}$  - гідравлічний опір, напір і витрата споживача відповідно;

$H_{ст}$  - статичний напір мережі;

$r_0, l_0, c_0$  - питомі параметри ТМ;

L - довжина трубопроводної мережі.

Для i-го чотириполосника рівняння напору й продуктивності матимуть вигляд:

$$\left. \begin{aligned} H_i - H_{i-1} + l_0 l_{\text{дн}} \frac{dQ_{i-1}}{dt} + r_0 l_{\text{дн}} Q_{i-1} |Q_{i-1}| &= 0; \\ \frac{dH_i}{dt} + c_0 \frac{1}{l_{\text{дн}}} (Q_i - Q_{i-1}) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $r_0 = \frac{\lambda}{S^2 d} \frac{1}{2g}$ ,  $c_0 = \frac{c^2}{Sg}$ ,  $l_0 = \frac{1}{Sg}$  - питомі параметри ділянки трубопроводу,  $c^5/m^2$ ;

$H_i, Q_i, H_{i-1}, Q_{i-1}$  - напір і продуктивність на виході та вході  $i$ -го чотириполюсника (ділянки мережі) відповідно.

Реалізація динамічно змінюваної структури моделі трубопровідної мережі відбувається у відповідності до вперше запропонованого алгоритму (рис. 3). На перших двох етапах необхідно відкрити модель і задати параметр кількості ділянок  $k$ .

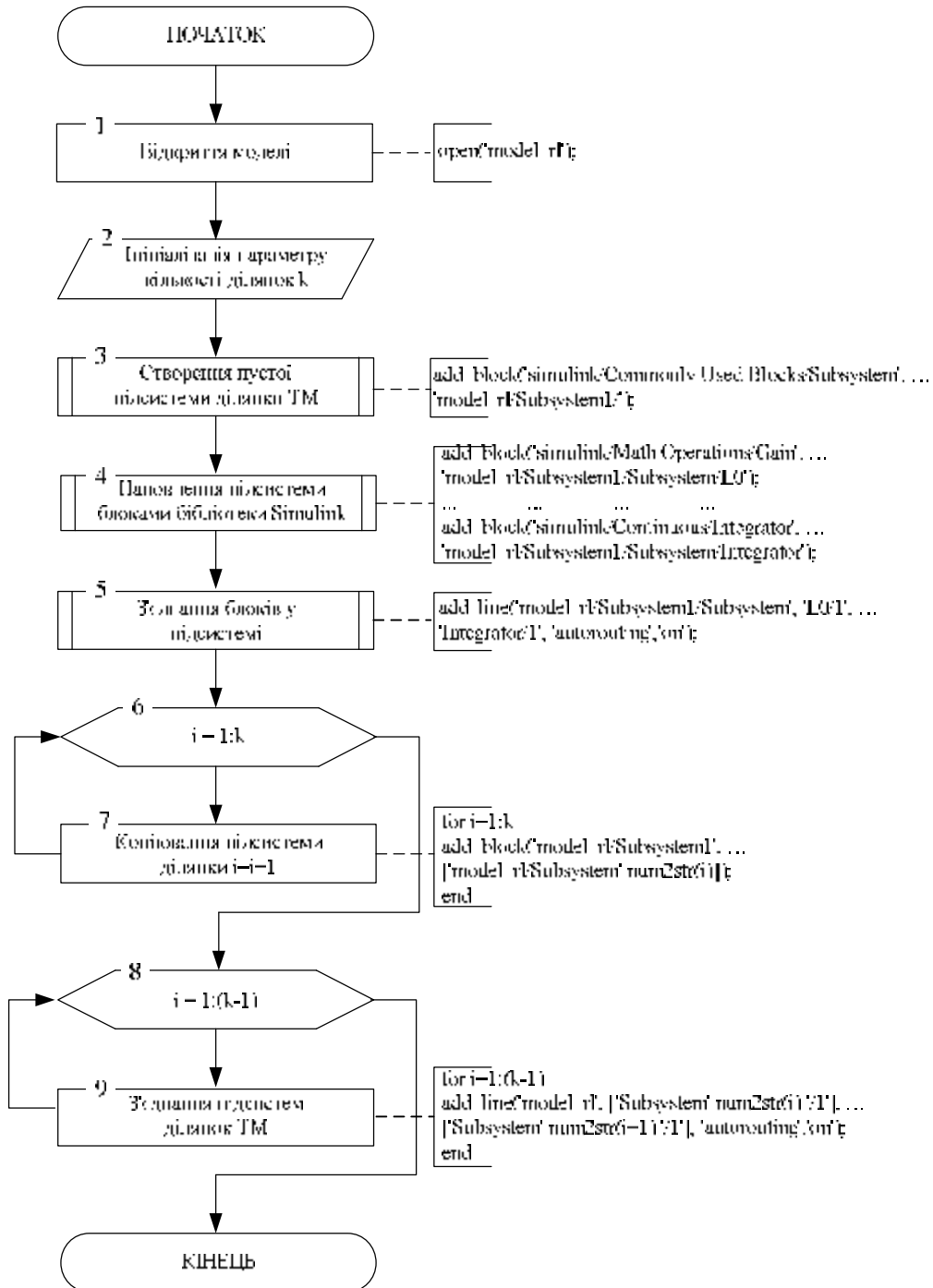


Рисунок 3 – Алгоритм модифікації структури моделі трубопровідної мережі

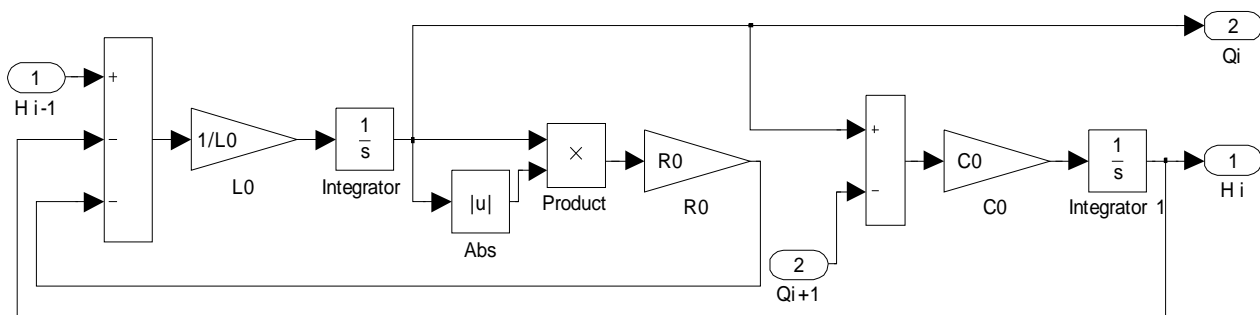


Рисунок 4 – Реалізація однієї ділянки трубопроводу в пакеті Matlab

Далі (етап 3) відкрита модель доповнюється новою пустою підсистемою однієї ділянки трубопроводу та створюється внутрішня структура відповідно до математичного опису однієї ділянки ТМ (етапи 4 та 5) за допомогою команди `add_block` [4]. При цьому кожному з внутрішніх блоків підсистеми присвоюються символічні значення параметрів трубопроводної мережі –  $R_0$ ,  $C_0$ ,  $L_0$  (рис. 4).

Для правильного розташування блоків використовується налаштування властивості 'Position'. За методом пониження ступеню похідної реалізується знаходження поточних величин продуктивності  $Q_i$  і напору  $H_i$  першого та другого рівнянь виразу 2 відповідно. При цьому входними величинами є напір попередньої  $H_{i-1}$  і продуктивність наступної  $Q_{i+1}$  ділянок трубопроводу. За написаним кодом у необхідному порядку з'єднуються відповідні блоки підсистеми.

Особливістю налаштування для більшості параметрів є необхідність їх перетворення у вигляді рядку командою `num2str`, оскільки початково всі значення мають цифровий формат.

На 6 етапі створена підсистема ділянки ТМ копіюється до тих пір, поки не виконається умова  $i=k$  (етап 7). Потім у необхідній послідовності відбувається з'єднання підсистем (етапи 8-9) за допомогою команди `add_line`. Дана функція може доповнювати модель сотнями підсистем ділянок ТМ.

Кількість рядків такого коду, що реалізує запропонований алгоритм, варіюється від 100 і більше.

Цей метод може використовуватися в різних моделях, де необхідно змінювати внутрішню структуру з однаковими елементами, але спочатку необхідно буде підлаштувати код під умови моделі.

При необхідності багаторазового запуску файлу програми при змінених параметрах виникає незручність у постійному редагуванні початкового тексту програми і повторному або черговому її запуску. При цьому важливо передбачити механізм керування змінними моделі, який би забезпечував зручний інтерфейс зв'язку між програмою й користувачем. Вирішення цих задач можуть бути реалізовані за допомогою технології графічного інтерфейсу користувача (GUI - Graphical User Interface) пакету прикладних програм Matlab [5].

У статті досліджена робота насосного комплексу з активним регульовальним пристроєм [6]. Для зручного аналізу роботи насосного комплексу (НК) при відпрацюванні фіксованих збурень розроблено програмний інтерфейс (рис. 5, 6).

Поточна реалізація має наступні функціональні можливості:

- введення параметрів насосної установки, трубопроводної мережі, споживача (рис. 7);
- введення номінальних параметрів насосної установки;
- візуалізація перехідних характеристик насосного комплексу.

Вибір кнопки «САП» включає активний регульовальний пристрій у технологічний контур насосного комплексу.

Кожна з кнопок меню (за винятком кнопок "Запуск моделі" та "Вихід") служить для виклику відповідного вікна програми. При натисненні кнопки "Вихід" програма закриється, а при натисненні кнопки "Запуск моделі" програма запустить модель на виконання (рис. 5, 6).

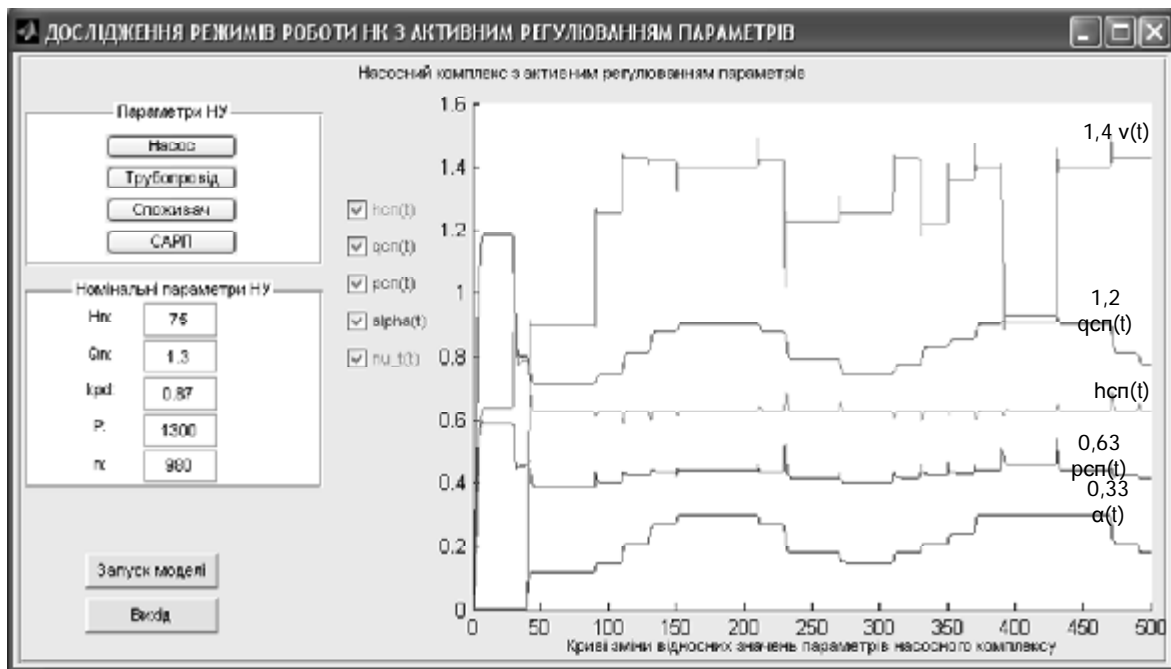


Рисунок 5 – Криві змін відносних значень параметрів гідротранспортного комплексу при 5 ділянках ТМ у замкнутій системі регулювання від часу при фіксованих збуреннях

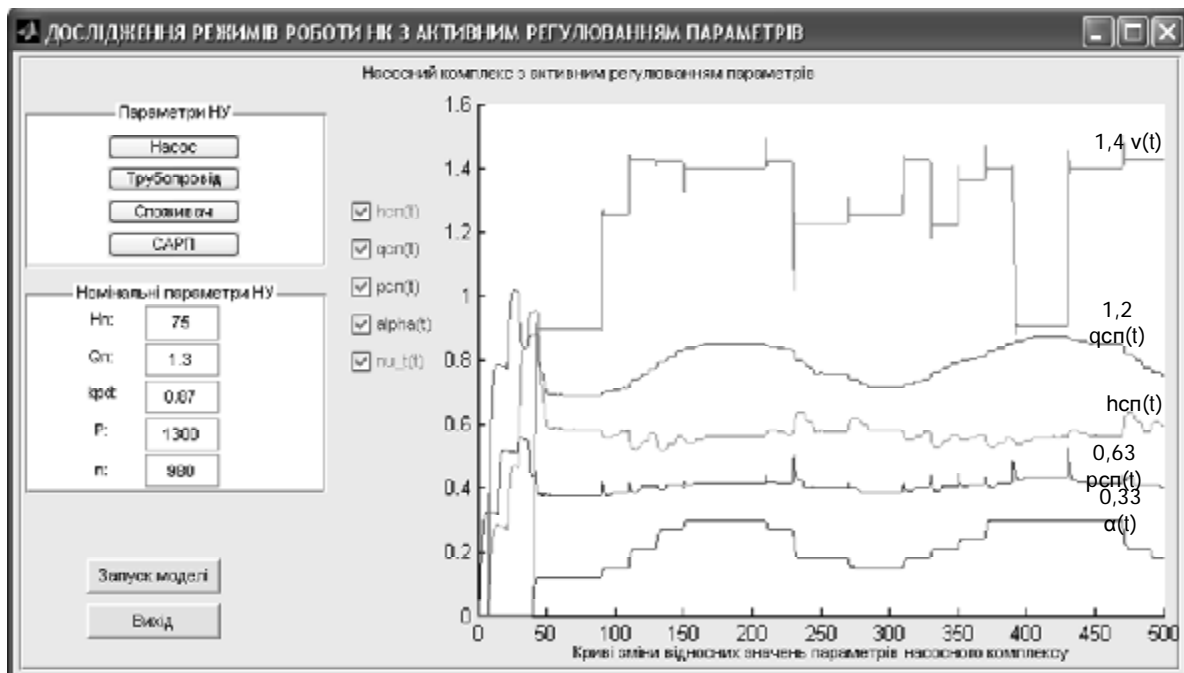


Рисунок 6 – Криві змін відносних значень параметрів гідротранспортного комплексу при 50 ділянках ТМ у замкнутій системі регулювання від часу при фіксованих збуреннях

Аналіз кривих, отриманих на моделі НУ з системою активного регулювання параметрів, показав, що при збільшенні кількості ділянок трубопровідної мережі з 5 до 50 збільшуються

постійні часу за напором та витратою, що свідчить про адекватність запропонованого способу автоматичної зміни структури моделі об'єкту дослідження.

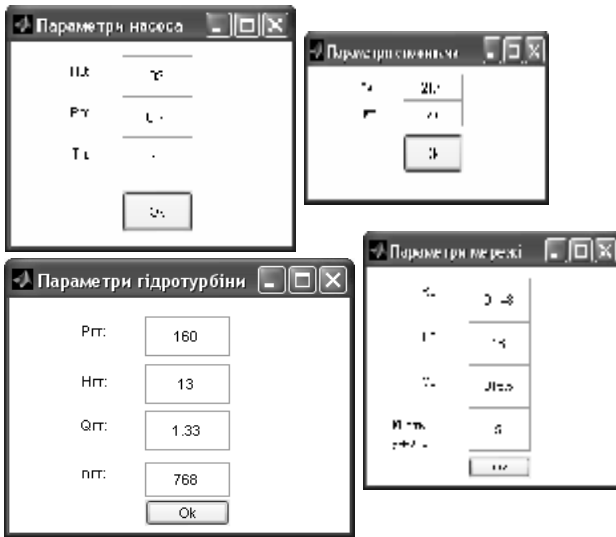


Рисунок 7 – Вікна для вводу параметрів НУ

**Висновки.** Таким чином, у роботі представлений спосіб створення динамічно змінюваної структури математичної моделі на прикладі трубопроводу з довільною кількістю послідовно ввімкнених ланок. Розроблений алгоритм може бути використаний для формування як різноманітних включень однакових блоків, так і для реалізації різноманітних блоків з математичним описом. Використання технології візуалізації Matlab GUI дозволяє наглядно аналізувати процеси в складних моделях об'єктів керування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лаптев А. А. Исследование моделей с изменяемой структурой / Лаптев А. А. // Exponenta Pro: Математика в приложениях. – 2003. - №4 /2003 (4). – С. 80-83
2. Чарный И. А. Неустойчившееся движение реальной жидкости в трубах / И. А. Чарный. – М. : Недра, 1975. – 295 с.
3. Чорний О. П. Моделювання електромеханічних систем / [О. П. Чорний , А. В. Луговой, Д. Й. Родькін та інш.]. – Кременчук: ЧП Щербатих, 2001. – 376 с.
4. Черных И. В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем / И. В. Черных. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 496 с.
5. Мартынов Н. Н. MATLAB 5.x. Вычисления, визуализация, программирование / Н. Н. Мартынов, А. П. Иванов. – М.:КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000. – 336 с.
6. Перекрест А. Л. Електромеханічна система активного регулювання параметрів насосних комплексів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Кременчуцький держ. політехнічний ун-т ім. Михайла Остроградського. — Кременчук, 2009. - 20 с.

## СПОСОБ СОЗДАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ ТРУБОПРОВОДА

*Перекрест А.Л., к.т.н., доцент, Лысенко О. Ю., магистр  
Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина  
E-mail: [visnik@polytech.poltava.ua](mailto:visnik@polytech.poltava.ua)*

В статье представлен подход к реализации динамически изменяющейся структуры, математической модели трубопроводной сети в пакете Matlab, которая позволяет автоматически формировать ее модель при последовательном соединении блоков.

**Ключевые слова:** модификация структуры модели, насосная установка, трубопроводная сеть.

## METHOD OF CREATION OF DINAMICALLY CHANGEABLE STRUCTURE OF MODEL OF PIPELINE

*Perekrest A.L., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Lisenko O., master  
Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi State University  
Pershotravneva St., 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine  
E-mail: [visnik@polytech.poltava.ua](mailto:visnik@polytech.poltava.ua)*

This article presents an approach to implementing dynamic mathematical model structure changing pipeline network in the package Matlab, which can automatically create its model in cascade units.

**Key words:** modification the model structure, hydrotransport system, conduit network.