

UDC 519.876.5

Selepyna J., Ph.D. in Engineering  
Lyshuk V., Ph.D. in Engineering  
Yevsyk M., Ph.D. in Engineering  
Yakymchuk N.

Lutsk National Technical University / Ukraine

## THE CREATION OF SIMULATION MODEL OF CONTROL SYSTEM ON THE WATER-SUPPLY STATIONS WITH THE USE OF FUZZY LOGIC

### СТВОРЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМ ОБЛАДНАННЯМ СТАНЦІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

**Abstract:** The method of data processing of non-stationary hourly water-supply process by the pumping station using the wavelet transform was considered. The possibility of selection of the useful signal flow of water acceptable for using in automatic control systems was shown. This possibility is acceptable to the further use in the systems of automatic control. The model of control system of a pumping equipment with the use of fuzzy logic was created, allowing to provide sufficient quality of control process in the conditions when it is impossible to get analytical dependence of system initial parameters and in the conditions of impossibility directly to control quality of adjusting process.

**Keywords:** water resources, wavelet transforms, fuzzy logic systems, adaptive systems.

#### INTRODUCTION

The problem of quality of water supply is important for many cities of Ukraine. Use of outdated equipment of pumping stations, lack of effective control options, maintaining excessively high-pressure water outlet of the pump leads to excessive energy consumption and increasing the number of accidents in water supply, since most electricity consumed by the pump station is spent on pumping units. That is because the basic amount of electricity consumed by the pumping station is expended on pumping units. This is due to peculiarities of the system pump plumbing network - the system has a complex structure and large number of influencing parameters, most of which are random and do not apply the average characteristics of parameters as control signals of technological equipment.

#### PROBLEM STATEMENT

While planning of the automatic control systems in the pumping stations of water supply it is necessary simultaneously to solve two problems. They are quickly and fully respond to the changes of customers' needs and ensure energy efficient modes of executive

**Анотація:** Розглядається метод обробки даних нестационарного процесу погодинного водопостачання насосною станцією за допомогою вейвлет-перетворення. Показано можливість виділення корисного сигналу витрати води, прийнятного для подальшого використання в системах автоматичного управління. Створена модель управління насосним обладнанням з використанням апарату нечіткої логіки, що дозволить забезпечити достатню якість процесу управління в умовах, коли неможливо отримати аналітичну залежність вихідних параметрів системи від вхідних та в умовах неможливості безпосереднього контролю за критерієм якості регулювання.

**Ключові слова:** гідроресурси, вейвлет-перетворення, системи нечіткої логіки, адаптивні систем.

#### ВСТУП

Проблема якості регулювання водопостачанням важлива для багатьох міст України. Використання застарілого устаткування насосних станцій, відсутність ефективного контролю параметрів, підтримання надмірно високих тисків води на виході насоса призводить до надмірного споживання електроенергії та підвищення кількості аварійних ситуацій в мережах водопостачання, оскільки основна кількість електроенергії, спожитої насосною станцією, витрачається на насосні агрегати. Це пов'язано з особливостями системи насос-водопровідна мережа – система має складну структуру і велику кількість впливаючих параметрів, більшість з яких носить випадковий характер, що не дозволяє застосовувати усереднені характеристики параметрів в якості сигналів керування роботою технологічного обладнання.

#### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При проектування систем автоматичного управління насосними установками станцій водопостачання необхідно одночасно розв'язати два завдання: швидко і в повній мірі реагувати на мінливі потреби споживачів, та забезпечити енергоефективні

mechanisms. The quality of the process of water supply on condition of ensuring all customer needs is assessed by two parameters. These parameters are pressure and flow rate of water exiting at the station which is described as a non-stationary process that complicates the analysis and preparation of information for forming control actions in the control system because it does not allow averaging of random data process [8]. Taking into account such features of the planning system of effective automatic control system by a water supply with using of Wavelet transforms of technological parameters and methods of adaptive control based on fuzzy logic becomes an actual task.

#### LITERARY ANALYSIS

The water supply system, which is often complex and spreads over large areas, includes subsystems such as pumping stations, water tanks, wells, etc. [8]. In this respect there is a problem of system development for measuring, monitoring and control of pumping systems.

Globally, pumping and aeration processes account for 60 percent of energy used in water and wastewater management applications and represent the number one energy expense [7].

To reduce these losses, we need the latest technology to optimize systems – and to improve the monitoring and management of your most energy-intensive Processes [3,5].

Applying the principle of fuzzy regulation makes possible to use for managing information of qualitative nature that cannot be formalized in the implementation of traditional regulation laws [1,6].

#### MAIN ARTICLE

Today, the most common systems of the management of pumping station control system are the systems of stabilization of the pressure on the instantaneous values of process parameters. They have several disadvantages – require frequent switching of pump units, which causes the appearance of uncompensated water hammer in a network gives the possibility to track the emergence of emergencies of breaks of pipelines, which leads to excessive water consumption.

Using a value of the water charges as an initial parameter will allow avoiding these defects and will open wide possibilities for prognostication of data of water consumption that will affect the operation of pumping stations of the first and second lifting. The analysis of experimental data of hourly consumption of the pumping station shows that they must be examined as a casual process with the presence of peaks of water consumption in the morning and in the evening time, and decline of expense level at night. In addition, data differ for summer and winter seasons, due to the increase of water volume for functioning of the heating system in winter period [6,7].

For processing of experimental data we used the

режими роботи виконавчих механізмів. Якість процесу водопостачання при умові забезпечення всіх потреб споживачів оцінюється за двома параметрами – тиск і витрата води на виході станції, що описуються як нестационарний процес, що ускладнює аналіз і підготовку інформації для формування керуючих впливів в системі управління, оскільки не дозволяє здійснювати усереднення випадкових даних процесу [8]. Враховуючи такі особливості системи проектування ефективної автоматичної системи управління водопостачанням з використанням вейвлет-перетворення технологічних параметрів та методів адаптивного керування на основі нечіткої логіки виступає актуальною задачею.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Системи водопостачання, що відносяться до складних систем, займають великі площі, включають в себе багато підсистем, таких як насосні станції, резервуари збереження води, свердловини, тощо [8]. В зв'язку з цим виникає проблема розробки систем для вимірювання, контролю та управління насосними системами.

У глобальному масштабі на процес перекачування та аерації води припадає 60% споживаної електроенергії, що використовується в системах водопостачання та водовідведення, що займає перше місце серед енергетичних втрат [7].

Щоб зменшити ці втрати, нам потрібні найновіші технології для оптимізації систем, а також для покращення моніторингу та керування найбільш енергоємними процесами [3, 5].

Застосування нечіткого принципу регулювання дає можливість використовувати для керування інформацію якісного характеру, яку не можливо формалізувати при реалізації традиційних законів регулювання [1,6].

#### ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

На сьогодні найбільш поширеними системами управління насосними станціями є системи стабілізації тиску по миттєвих значеннях технологічних параметрів, що мають ряд недоліків – вимагає частих перемикань насосних агрегатів, що викликає появу некомпенсованих гідроударів в мережі, не дає можливості відслідковувати появу аварійних ситуацій проривів трубопроводів, що приводить до надлишкових витрат води.

Використання в якості вихідного параметру даних про значення витрати води дозволяє уникнути цих недоліків та відкриває широкі можливості для прогнозування даних водоспоживання, що впливатиме на роботу насосних станцій і першого і другого підйому. Аналіз експериментальних даних щогодинного споживання насосної станції показує, що вони повинні розглядатись як випадковий процес з наявністю піків водоспоживання в ранковий і вечірний час, та зниження рівня витрати вночі. Крім того дані відрізняються для літнього і зимового сезонів, за рахунок збільшення об'єму води для функціонування системи опалення в зимовий період [6,7].

Для обробки експериментальних даних використали пакет перетворень Wavelet Toolbox

wavelet analysis of data in the form of expansion pack Complex Wavelet Toolbox software Matlab. It includes tools for learning, creating and using wavelets and wavelet transforms in command mode, and with the help of special tools with graphic user interface (GUI). This package gives wide opportunities to the analysis of transients, allows reducing existent conformities and trends of signal, makes noise isolation [2, 4]. Using Discrete Haar Wavelet transformation for the experimental data-outs of water expense in the pumping station we got the decoupling of signal, as a set of wave components that is characterized by the low-frequency approximation coefficients and high-frequency specifying coefficients. Amount of levels of wavelet transforms is  $m=5$ .

Based on this information, it is possible to highlight the trend of the signal cleaned from accidental emissions and noise through the removal of high frequency components of the signal spectrum. The signal quality allows it to be used as an input parameter to control performance of the pump unit.

програмного комплексу Matlab, що має доступні інструменти для вивчення, створення і використання вейвлетів і вейвлет-перетворень, як в командному режимі, і з допомогою спеціальних інструментів з графічним інтерфейсом користувача (GUI). Даний пакет дає широкі можливості аналізу нестационарних процесів, дозволяє виявити існуючі закономірності, тренди сигналу, очистити від випадкових шумів, тощо [2, 4]. Використавши вейвлет-перетворення Хаара для експериментальних даних витрати води на виході насосної станції другого підйому ми отримали декомпозицію сигналу, як набір хвильових компонентів, які характеризуються низькочастотними коефіцієнтами апроксимації і високочастотними коефіцієнтами деталізації. Кількість рівнів вейвлет-розкладу  $m=5$ .

На підставі цієї інформації, можна виділити тренд сигналу, очищений від випадкових викидів і шумів за допомогою видалення високочастотних складових зі спектру сигналу. Якість сигналу дозволяє використати його як вхідний параметр регулятора продуктивності насосного агрегату.

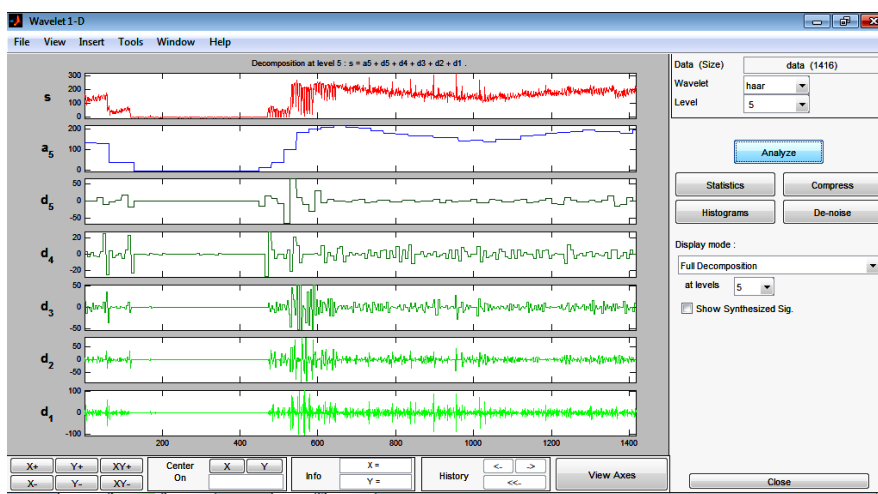
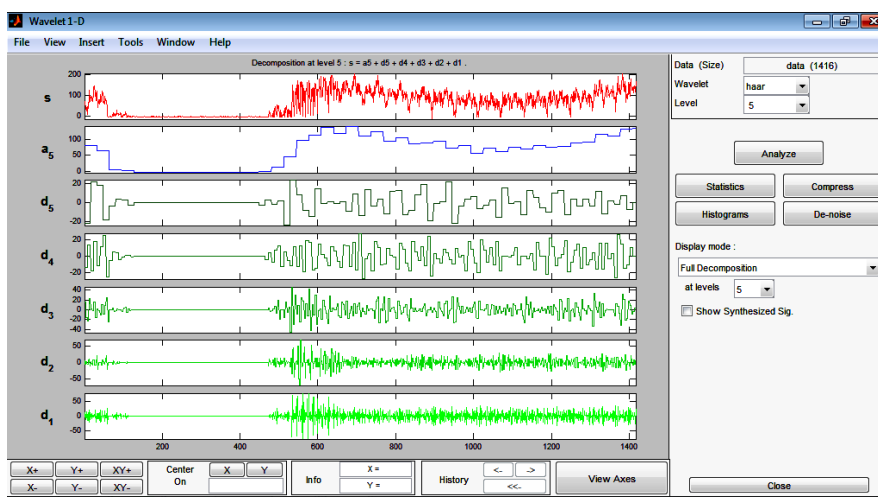


Fig. 1. Hourly trend of water consumption during summer and winter / Графіки вейвлет-перетворення щогодинних значень водоспоживання протягом літа (червень - липень), та зими (грудень - січень).

Considerable length of the pipelines system and large volume of water in the plumbing network predetermines the considerable inertia of system pump - water supply network, which means that even the appearance of sudden significant deviations from the average water system responds to them with some delay.

Therefore for the prediction of water supply in real time it is expedient to use two parameters - obtained trend of water consumption for a specific period (summer or winter), which is an averaged prognosis and magnitude of rate of change of the cost. In our case, when it is necessary to describe the behaviour of a complex system that is characterized by a plurality of random parameters and requires an adaptive approach to change the input signal it is advisable to consider using control systems based on fuzzy logic [5].

The method of fuzzy control process makes possible to form an optimal set of commands for support of necessary water supply to customers according to the criteria the smallest energy consumption. Fuzzy controller provides higher quality scores transients in comparison with classical regulators [3]. To the great advantages of fuzzy control should include its focus on digital implementation. Systems of this kind have enough great flexibility and good quality of the transition process - the minimum time with minimum overshoot regulation.

The performance, which should ensure the pump station is determined by the previous value of water consumption, obtained using the wavelet transform taking into account the consumption data in real time.

The input of the fuzzy controller receives three signals, the first - difference of consumption between the current value of the water consumption and the value of the corresponding point of the diurnal trend of water supply, takes the linguistic values "very low", "low", "medium", "high" and "very high". Accordingly, the greater the difference in water consumption at a given time, the greater must be the pump flow. The second linguistic variable is defined as "the rate of change of consumption", which is also expressed by the linguistic values "very low", "low", "medium", "high" and "very high". Higher the rate of change of water use requires an increase in the power output of the pump unit.

When the water flow created by the pump unit is approaching to the corresponding rate of change of consumption expenditures in the network will decrease and the productivity of pumping station will reduce. The change in the consumption is a combined signal, which is supplied to the frequency converter. It will be marked with the following terms: "very low", "low", "moderately low," "below average," "average", "above average," "moderately high," "high" and "very high" (Table 1).

Значна протяжність системи трубопроводів і великий об'єм води, що знаходиться в мережі зумовлює значну інерційність системи насос – водопровідна мережа, це означає що навіть при появі значних раптових відхилень від середнього рівня водоспоживання система реагуватиме на них з деяким запізненням. Тому доцільно для прогнозування рівня подачі води в реальному часі користуватись двома параметрами – отриманим трендом водоспоживання за конкретний період (літо чи зима), який виступає усередненою оцінкою прогнозу та величиною швидкості зміни витрати. В нашому випадку, коли необхідно описати поведінку складної системи, що характеризується множиною випадкових параметрів, і вимагає адаптивного підходу до змін вхідного сигналу доцільно розглянути можливість використання систем управління на основі нечіткої логіки [5].

Метод нечіткого управління процесами дає можливість формування оптимального набору команд для забезпечення необхідної подачі води до споживачів згідно критерію найменшого енергоспоживання. Нечіткий контролер виявляється малочутливим до випадкових збурень (викидів та аварійних ситуацій) та забезпечує вищу якість перехідних процесів в порівнянні з класичними регуляторами [3]. Системи цього виду володіють великою гнучкістю і мінімальним часом регулювання.

Продуктивність, яку повинна забезпечити насосна станція, визначається по попередньому значенню витрати води, отриманої з використанням вейвлет – перетворення із врахуванням даних про витрату в реальному часі.

На вхід нечіткого контролера поступають три сигнали, перший - різниця витрати між поточним значенням витрати води і значенням відповідної точки добового тренду водопостачання, що приймає лінгвістичні значення "дуже низька", "низька", "середня", "висока" і "дуже висока". Відповідно, що більшою буде різниця витрати води на даний момент часу, то більшою має бути подача насоса. Друга лінгвістична змінна визначається як "швидкість зміни витрати", яка також виражається лінгвістичними значеннями "дуже низька", "низька", "середня", "висока" і "дуже висока". Вища швидкість зміни водоспоживання вимагає збільшення потужності роботи насосного агрегату.

Коли потік води, створений одним насосом, наближається до відповідної норми, то зміна витрати води в мережі зменшиться і продуктивність насосної станції знизиться. Зміна витрати - об'єднаний сигнал, який поступає до перетворювача частоти. Він буде позначений наступними термінами: "дуже низька", "низька", "помірно низька", "нижче середньої величини," "середня величина", "вище за середню величину," "помірно висока", "висока" і "дуже висока" (Таблиця 1).

Table 1

The relationship between the variables of fuzzy control system / Значення лінгвістичних змінних контролера нечіткої логіки

Rate of change of consumption / Зміна витрати	Difference of water consumption / Різниця витрати				
	Very low / дуже низька	Low / низька	Average / середня	High / висока	Very High / дуже висока
Very low / дуже низька	Very low / дуже низька	Low / низька	Moderately low / помірно низька	Below average / нижче середньої	Average / середня
Low / низька	Low / Низька	Moderately low / помірно низька	Below average / нижче середньої	Average / середня	Above average / вище за середню
Average / середня	Moderately low / помірно низька	Below average / нижче середньої	Average / середня	Above average / вище за середню	Moderately high / помірно висока
High / висока	Below average / нижче середньої	Average / середня	Above average / вище за середню	High / висока	High / висока
Very High / дуже висока	Average / Середня	Above average / вище за середню	Moderately high / помірно висока	High / висока	Very High / дуже висока

In case of a sharp pressure decreasing in the urban water supply network, while ensuring flow rates calculated according to consumption rates, emerges the signal of an emergency, i.e. rupture of pipelines.

Using the fuzzy logic module in Matlab environment was designed fuzzy controller for controlling of the pumping unit. The names of input variables giving them names *zmina-vytraty* (consumption change), *shvydkist-zminy* (the consumption change rate) and *tysk* (pressure), and output variables describing their signal (signal) and *sygnal-avarii* (alarm signal). Using the editor functions was described number of variables: the variables *zmina-vytraty* and *shvydkist-zminy* of five terms are triangular in shape and variable *tysk* described in three terms. Using the database editor Ruleeditor we formulated the working rules of a fuzzy controller.

Figure 2 shows the visualization window of fuzzy inference. In the "Input" are specified values of input variables for the logical conclusion.

Based on the data of the fuzzy logic controller was implemented simulation of a control system of work of pump station. Model of the main control system is shown in Fig. 3. The input parameters of the control system are current consumption, the pressure in the network, and the signal of the selected season (summer or winter). Output parameters: control signal for the frequency converter, signal emergency pressure during potential emergencies and previous consumption, processed using the wavelet transform for comparison with the current level of water consumption.

У випадку різкого зменшення тиску в міській мережі, при подачі витрати води обрахованої згідно з нормами споживання, з'являється сигнал появи аварійної ситуації, пориву трубопроводів.

Користуючись модулем нечіткої логіки в середовищі Matlab спроектований нечіткий контролер керування насосним агрегатом. Назви вхідних змінних: *zmina-vytraty* (зміна витрати), *shvydkist-zminy* (швидкість зміни витрати) і *tysk* (тиск), і вихідні змінні: *sygnal* (сигнал) і *sygnal-avarii* (тривожний сигнал). За допомогою редактора функцій було описано ряди змінних: змінні *zmina-vytraty* і *shvydkist-zminy* у вигляді п'яти термів трикутної форми і змінна *tysk* описана трьома термами. Користуючись редактором бази даних Ruleeditor, були сформульовані правила роботи нечіткого регулятора.

Рис 2. показує вікно візуалізації нечіткого виведення. У колонці "Input" вказані ваги вхідних змінних для отримання логічного результату.

Ґрунтуючись на даних роботи контролера нечіткої логіки здійснено моделювання системи управління роботою насосної станції. Модель головної системи контролю показана на рис. 3. Вхідні параметри контрольної системи – поточна витрата, тиск в мережі, і сигнал обраного сезону року (літо або зима). Вихідні параметри: керування сигналом для перетворювача частоти, сигнал аварійного тиску при потенційних аварійних ситуаціях і попереднє споживання, оброблене за допомогою вейвлет-перетворення для порівняння з поточним рівнем водоспоживання.

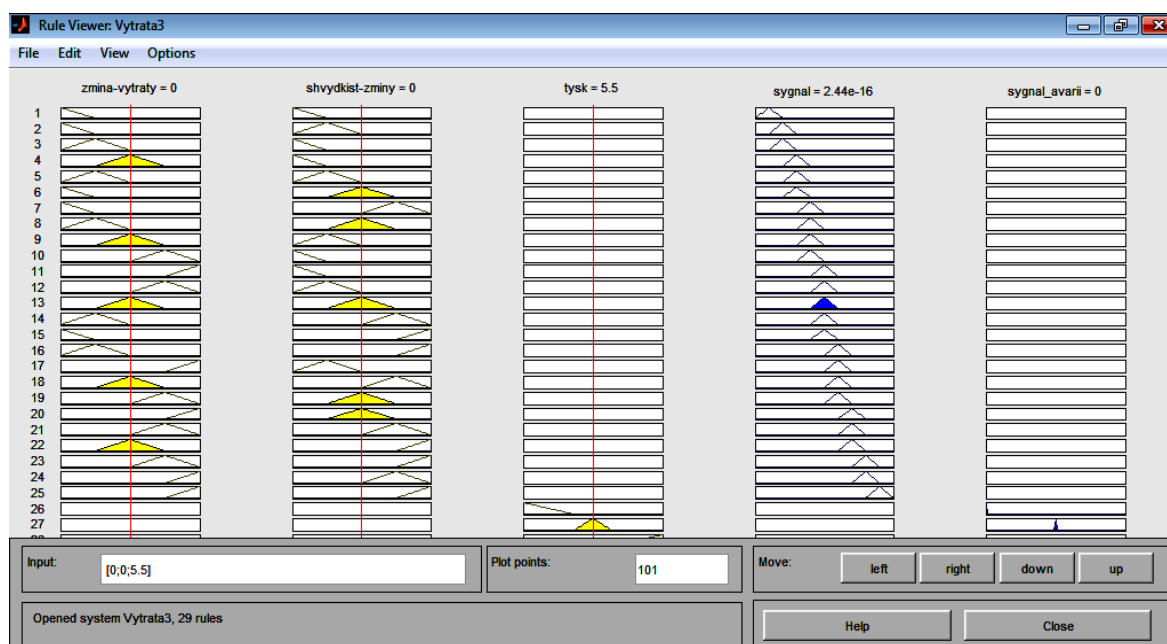


Fig. 2. Visualization of fuzzy logic conclusion in RuleViewer *authors'* / Візуалізація правил взаємодії змінних нечіткого контролера, авторська розробка.

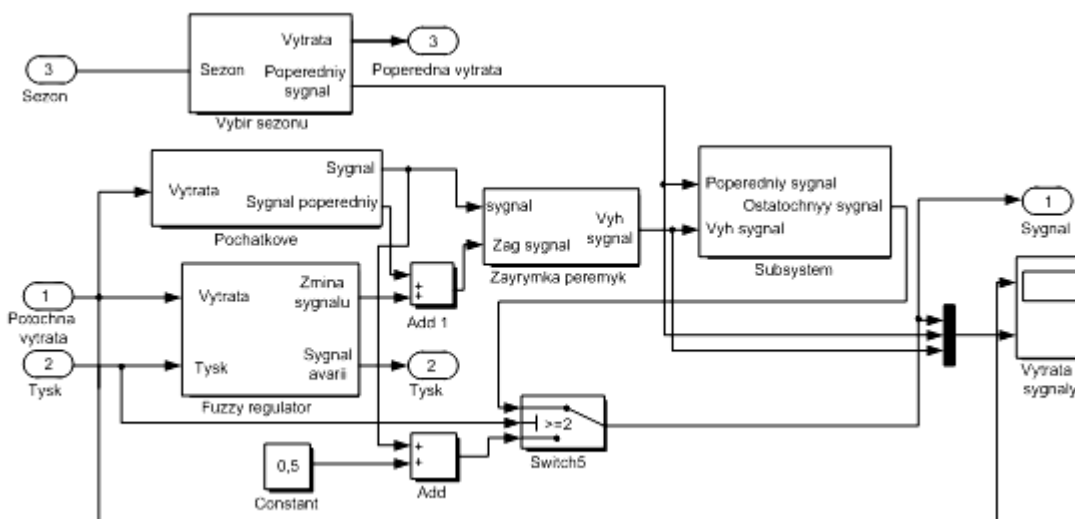


Fig. 3. Main control system, *authors'* / Головна система контролю, авторська розробка

The elements created by the system:

A subsystem named «Potochna vytrata» (Current consumption) was created. Current consumption is specified by blocks Ramp, simulator of time and 1-D Lookup Table, where each value of time corresponds to a specific value of water consumption.

Subsystem «Vybir sezonu» (Choice of season) is as following: depending on the selected signal Sezon sends corresponding value of water consumption, which was obtained by wavelet transformation (1 - for winter, 2 - for the summer). The output parameters of the conversion are the provisional values of water consumption (Poperedniy signal).

The subsystem "Fuzzy regulator", is a simulation of a fuzzy controller. The input parameters of the controller are: change consumption received from the previous

Елементи створеної системи:

Підсистема «Potochna vytrata» (Поточна витрата). Поточна витрата моделюється за допомогою блоків «джерело лінійно-змінного впливу» Ramp, симулятора часу і блоку задання функції в вигляді таблиці 1-D Lookup Table, де кожне значення часу відповідає специфічному рівню водокористування.

Підсистема «Vybir sezonu» працює наступним чином: залежно від вибраного сезону передає відповідне значення сигналу водокористування, яке надається для вейвлет перетворення (1 - для зими, 2 - для літа). Вихідні параметри перетворення є попередніми значеннями витрати води (Poperedniy signal).

Підсистема «Fuzzy regulator», є симулятором нечіткого контролера. Вхідними параметрами

subsystem, the difference between current consumption and consumption over the previous period, the rate of change of consumption. According to the described rules, the changes of signal of gain numeric values ( $\pm 16\text{mA}$ ). The output signal respectively received in the following cases: if the pressure is low ( $<4\text{ ATM}$ ), we get (- 1), with a normal value (4 ... 7 ATM.) - we get 0, with a high value ( $> 7\text{ ATM}$ ) - (+1). In the case of reduction in pressure below the level required for the normal supply signal to the frequency converter in real time is increased by 0.5 mA, which will increase the pressure to the desired value.

Subsystem «Pochatkove» (initial) publishes preliminary control signal, which is based on the value of the current water consumption.

Subsystem «Zatrymka peremyk» is designed to eliminate the decline of the output signal to 0 at the initial time.

Analysis of modeling of automatic control system of fuzzy control confirms the high quality of the process of daily water supply, which is adjusted according to the needs customers.

контролера є: зміна споживання, що надходить від попередньої підсистеми, різниця між поточною витратою і витратою за попередній час, швидкість зміни витрати. Відповідно до описаних правил, зміни сигналу набувають числових значень ( $\pm 16\text{mA}$ ). Вихідний сигнал отримуємо відповідно до випадку: якщо тиск низький ( $<4\text{ атм}$ ), отримуємо (- 1), при нормальному значенні (4 ... 7 атм.) - отримуємо 0, при високому значенні ( $> 7\text{ атм}$ ) - (+1). У випадку зниження в тиску нижче рівня, який необхідний для нормального водопостачання сигнал до перетворювача частоти в реальному часі підвищується на 0.5 mA, що збільшить тиск в мережі до необхідного значення.

Підсистема «Pochatkove» видає покроково попередній контрольний сигнал, який базується на значення поточної витрати води.

Підсистема «Zatrymka peremyk» проектується, щоб виключити зниження вихідного сигналу до 0 в початковий час.

Аналіз моделювання автоматичної контрольної системи з нечітким керуванням підтверджує високу якість процесу щоденного водопостачання, що коригується відповідно до потреб споживачів.

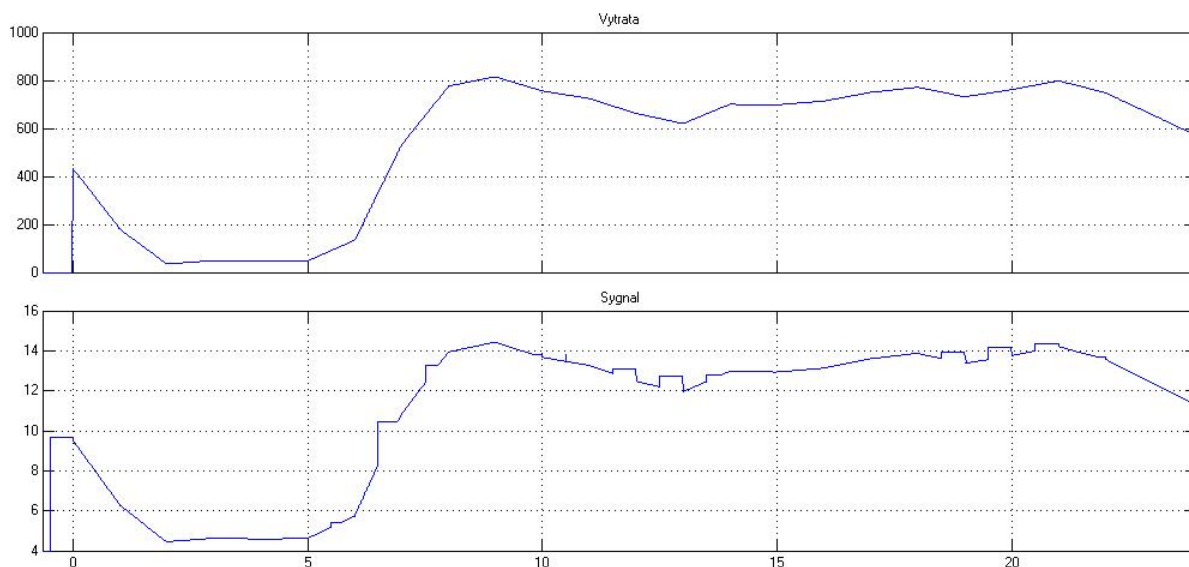


Fig. 4. Graphs of current water flow and the final control signal / *Графіки витрати води і остаточного контрольного сигналу*

## CONCLUSIONS

Using data of hourly water consumption for a pumping station of the water supply of the city we carried out a wavelet transform of the signal of the water flow to obtain the trend of water supply, basing on which was designed fuzzy control system of the pumping unit. This system will ensure an adequate quality management process in the conditions when you cannot directly monitor the quality criterion and evaluation occurs on an indirect indicator of water pressure in the network. The system allows you to signal the occurrence of extraordinary or emergency situations as well as smooth adjustment of equipment operation with rational use of energy and water resources.

## ВИСНОВКИ

Використовуючи дані погодинної витрати води на насосній станції водопостачання міста здійснили вейвлет-перетворення сигналу витрати води для отримання тренду водопостачання, на основі якого спроектована модель нечіткої системи управління насосним агрегатом. Така система дозволить забезпечити достатню якість процесу управління в умовах, коли неможливий безпосередній контроль за критерієм якості і оцінка відбувається по непрямому показнику – тиску води в мережі. Система дозволяє сигналізувати про появу надзвичайних чи аварійних ситуацій а також плавне регулювання роботи обладнання з раціональним використанням

**REFERENCES**

- [1] Baer, P., Novak, S., & Winkler, R. (2017). *Introduction to fuzzy logic and systems of fuzzy control*. Retrieved from <http://softlab.od.ua/algo/neuro/fuzzy-intro/>
- [2] Burnaev, E.V. (2007). *Application of wavelet transformation for analysis of signals*. Teaching-methodical aid. Moscow: MFTI.
- [3] Dementev, A. (2017). *Optimization of control pump room waterworks*. Retrieved from <http://10.3.2.1/articles/pumps/pumps.html>
- [4] Kiselev, A. (2006) *Applications of wavelet analysis*. Retrieved from <https://basegroup.ru/community/articles/wavelet-applications>
- [5] Kolesnikov, A.A. (2000). *Modern applied control theory: New Classes of regulators of technical systems. Part III*. Taganrog: Taganrog Publishing House.
- [6] Yakymchuk, N.M., & Voievoda, V.V. (2013). *Automatization of water supply*. VI International Scientific Conference IIRTK, Kyiv.
- [7] Yakymchuk, N.M. (2013). *The development of water supply objects automatic control systems*. All-Ukrainian scientific conference "Modern problems of mathematical modeling and computational methods", Rivne,
- [8] Constructions of modern pumps (2006). *Basics of automation of pumping stations*. Retrieved from <http://nasosinfo.ru/node/64>

**БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ**

- [1] Баер П. Введение в нечеткую логику и системы нечеткого управления / Баер П., Новак С., Винклер Р. [Электронный ресурс]. <http://softlab.od.ua/algo/neuro/fuzzy-intro/>
- [2] Бурнаев Е.В. Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов: Учебно-методическое пособие. М.: МФТИ, 2007. 138 с.
- [3] Дементьев А. Оптимизация управления насосным отделением водопроводной станции. [Электронный ресурс]. <http://10.3.2.1/articles/pumps/pumps.html>.
- [4] Киселев А. Приложения вейвлет-анализа. [Электронный ресурс]. <https://basegroup.ru/community/articles/wavelet-applications>
- [5] Современная прикладная теория управления: Новые классы регуляторов технических систем. Ч 3. / Под ред.. А.А. Колесникова. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 656с.
- [6] Якимчук Н.М. Автоматизация процессу водопостачання / Якимчук Н.М., Воєвода В.В // Тези VI міжнародної науково-технічної конференції ІІРТК-2013, Київ, НАУ. С.208-211.
- [7] Якимчук Н.М. Розробка системи автоматичного управління об'єктами водопостачання. Всеукраїнська наукова конференція «Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів». Рівне, 2013. С. 167-168.
- [8] Основы автоматизации насосных станций. [Электронный ресурс]. <http://nasosinfo.ru/node/64>