

Всеукраїнський

науково-технічний

журнал

**ПРОМИСЛОВА**  
**ІДРАВЛІКА І**  
**НЕВМАТИКА**

**3(25)**

**2009**

ISSN 1994-4691



9 771994 469005

## Редакційна колегія:

### Головний редактор:

к.т.н., проф. Серета Л.П. (м. Вінниця)

### Перший заступник головного редактора:

д.т.н., проф. Зайончковський Г.Й.,  
президент АС ПГП (НАУ, м. Київ)

### Заступники головного редактора:

д.т.н., проф. Стругинський В.Б. (м. Київ)

д.т.н., проф. Яхно О.М. (м. Київ)

к.т.н., проф. Іванов М.І. (м. Вінниця)

к.т.н., с.н.с. Бадах В.М. (м. Київ)

### Члени редакційної колегії:

д.т.н., проф. Анісімов В.Ф. (м. Вінниця)

д.т.н., проф. Гарькавий А.Д. (м. Вінниця)

д.т.н., проф. Лисогор В.М. (м. Вінниця)

д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д.

(м. Вінниця)

д.т.н., проф. Бочаров В.П. (м. Київ)

д.т.н., проф. Лур'є З.Я. (м. Харків)

д.т.н., проф. Нахайчук О.В. (м. Вінниця)

д.т.н., Паламарчук І.П. (м. Вінниця)

д.е.н., Калетник Г.М. (м. Вінниця)

### Секретаріат:

#### Відповідальний секретар:

к.т.н., доц. Переяславський О.М.

(м. Вінниця)

#### Заступники відповідального секретаря:

д.т.н., проф. Луговський О.Ф. (м. Київ)

к.т.н., доц. Верба І.І. (м. Київ)

#### Асоційовані члени редакційної колегії від регіонів України:

д.т.н., проф. Кузнєцов Ю.М. (м. Київ)

д.т.н., проф. Павленко І.І.

(м. Кіровоград)

д.т.н., проф. Сахно Ю.О. (м. Чернігів)

д.т.н., проф. Усов А.В. (м. Одеса)

д.т.н., проф. Батлук В.А. (м. Львів)

д.т.н., проф. Михайлов О.М.

(м. Донецьк)

д.т.н., проф. Мельничук П.П.

(м. Житомир)

д.т.н., проф. Ковальов В.Д.

(м. Краматорськ)

д.т.н., проф. Фінкельштейн З.Л.

(м. Алчевськ)

д.т.н., проф. Проволоцький О.Є.

(м. Дніпропетровськ)

к.т.н., проф. Євтушенко А.О. (м. Суми)

д.т.н., проф. Осенін Ю.І. (м. Луганськ)

д.т.н., проф. Скіяревський О.М.

(м. Санкт-Петербург, Росія)

д.т.н., проф. Панченко А.І.

(м. Мелітополь)

к.т.н. Кармугин Б.В. (м. Київ)

д.т.н. Трофімов В.А. (м. Київ)

к.т.н., доц. Жук В.М. (м. Львів)

# ПРОМИСЛОВА ГІДРАВЛІКА І ПНЕВМАТИКА

№3 (25)  
'2009

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Журнал засновано у березні 2003 р.

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 7033, видане  
Державним комітетом інформаційної політики,  
телебачення і радіомовлення України 7.03.2003 р.

Засновники: Вінницький державний аграрний університет,  
Асоціація спеціалістів промислової гідравліки і пневматики

Номер друкується згідно з рішенням Вченої ради ВДАУ (протокол №7 від 26.03.2009 р.)

Журнал рішенням президії ВАК України від 30 червня 2004 р. № 3-05/7 включено в перелік  
наукових фахових видань (бюлетень ВАК України, № 8, 2004 р.)

## З М І С Т

### Загальні питання промислової гідравліки і пневматики

А.Ю. Масікевич, М.В. Тащук, М.М. Дідик

Екологічна безпека та використання водних ресурсів Буковини.....3

В.П. Шапорев, А.А. Негадайлов, Є.М. Волинська, Л.Ю. Рибак

Аналіз підвищених рівнів забруднення атмосферного повітря м. Чернівці  
шкідливими речовинами та залежність їх концентрації від напрямків  
та швидкості повітряних потоків.....8

М.Г. Бойко, В.С. Коломієць, О.А. Геммерлінг

Визначення раціональних параметрів руйнування  
вугільного пласта імпульсним струменем рідини.....12

С.Д. Борул, І.А. Вінкле

Вплив складу дисперсійного середовища на фізико-хімічні характеристики  
водовугільного палива та умови його транспортування.....15

Т.С. Сліпенюк, О.Т. Сліпенюк

Вплив гідродинамічних факторів на процеси очищення водного середовища  
від тонкодисперсних зависів.....19

А.Г. Виноградов

Тепловий баланс крапель водяної завіси в умовах теплообміну  
з нагрітим повітрям поблизу осередку пожежі.....24

Я.Ю. Тевтуль, О.В. Нечипоренко, С. Гутт

Екологічні аспекти травлення міді та її сплавів.....27

### Прикладна гідромеханіка, гідромашини і гідропневмоагрегати

В.Н. Турик, В.В. Бабенко, В.А. Воскобойник, А.В. Воскобойник

Формирование вихрей гёртлера в вихревой камере.....31

О.М. Яхно, С.В. Стась, В.В. Зайвий, Д.В. Колесников

Особенности гидродинамического расчета щелевых насадок.....37

В.А. Батлук, М.В. Басов, В.Г. Макаруч, Р.Ю. Сукач

Залежність ефективності пиловловлення відцентрово-інерційних апаратів  
від конструкції бункера.....40

**Асоційовані зарубіжні члени редакційної колегії:**

д.т.н., проф. Попов Д.М.  
(м. Москва, Росія)  
д.т.н., проф. Єрмаков С.О.  
(м. Москва, Росія)  
д.т.н., проф. Іванов Г.М.  
(м. Москва, Росія)  
д.т.н., проф. Нагорний В.С.  
(м. Санкт-Петербург, Росія)  
д.т.н., проф. Чегодаєв Д.Є.  
(м. Самара, Росія)  
к.т.н., с.н.с. Малишев Є.А.  
(м. Москва, Росія)  
к.т.н., доц. Ащеулов О.В.  
(м. Санкт-Петербург, Росія)  
к.т.н., с.н.с. Колеватов Ю.В.  
(м. Новосибірськ, Росія)  
д.т.н., проф. Метлюк Н.Ф.  
(м. Мінськ, Республіка Білорусь)  
к.т.н., проф. Немировський І.А. (Ізраїль)  
д.т.н., проф. Врублевський А. (Польща)  
д.т.н., проф. Христов Х. (Болгарія)  
д.т.н., проф. Неделчева П. (Болгарія)

**Адреса редакції:**

21008, м. Вінниця  
вул. Сонячна, 3,  
Вінницький державний аграрний  
університет  
тел.: (0432) 57-42-27, 43-72-30  
e-mail: [jornai@vysau.org](mailto:jornai@vysau.org)



**ГЛОБУС-ПРЕС**

21021, м. Вінниця, 600-річчя, 15  
Свідоцтво про внесення до Державного  
реєстру ДК № 1077  
тел. (+38 0432) 67-58-92

E-mail: [globusp@svitonline.com](mailto:globusp@svitonline.com)

Технічний редактор О.А. Мельниченко  
Комп'ютерна верстка О.В. Ступак  
Коректор Є.Н. Гонта

Здано до набору 05.10.2009.  
Підписано до друку 06.12.2009.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура JOURNAL. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 21. Зак. № 09-41.  
Наклад 100 прим.

# З М І С Т

В.Р. Кулінченко, О.М. Деменюк, О.П. Ломейко <b>Рідинні гідрострумінні насоси. Будова, конструкція і принцип дії.....</b>	<b>44</b>
О.О. Шепеленко, А.О. Євтушенко, І.П. Каплун <b>Вдосконалення протічних частин насосів типу ЕЦВ .....</b>	<b>49</b>
С.О. Хованський <b>Робота динамічних насосів в умовах існування змінного в часі опору зовнішньої мережі .....</b>	<b>56</b>

## **Системи приводів. Технологія і обладнання машинобудівного виробництва. Мехатроніка**

О.Є. Ситніков, Г.Й. Зайончковський <b>Прогнозування ресурсних можливостей малогабаритних пневматичних кранів з електромагнітним приводом під час проектування.....</b>	<b>65</b>
А.В. Узунов <b>Циклично-модульний підхід в моделюванні многорежимних гидросистем.....</b>	<b>71</b>
З.Я. Лурье, И.Г. Лищенко, И.М. Федоренко <b>Динамические характеристики гидроагрегата с переменной нагрузкой и регулируемым приводящим электродвигателем насосной установки .....</b>	<b>77</b>
В.Б. Струтинский, М.А. Калмыков <b>Анализ математических моделей движения контейнера вибрационного станка.....</b>	<b>84</b>
Р.Д. Іскович-Лотоцький, Л.К. Поліщук, Р.П. Коцюбівський <b>Математичне моделювання динаміки пуску гідропривода конвеєра з об'ємним регулюванням швидкості.....</b>	<b>88</b>
І.В. Коц, В.В. Петрусь <b>Експериментальні дослідження гідроприводного мембранного насоса для перекачування високов'язких і агресивних рідин.....</b>	<b>92</b>
З.Л. Финкельштейн, А.Ю. Гусев <b>Пути повышения работоспособности гидравлических механизмов перемещения угольных комбайнов.....</b>	<b>98</b>

## РОБОТА ДИНАМІЧНИХ НАСОСІВ В УМОВАХ ІСНУВАННЯ ЗМІННОГО В ЧАСІ ОПОРУ ЗОВНІШНЬОЇ МЕРЕЖІ

### Вступ

При розгляді систем подачі та розподілу води значну увагу слід приділяти не тільки гідравлічним розрахункам стаціонарних режимів, а й неусталеним режимам роботи системи. Система подачі і розподілу води, до складу якої входять насосна станція, система розгалужених трубопроводів та споживачів, є єдиний взаємопов'язаний об'єкт. Зміна режимів роботи споживачів води викликає зміну роботи системи в цілому.

Під стаціонарним режимом роботи гідравлічної системи розуміють такий режим роботи, при якому конструктивні елементи системи за розглядуваний проміжок часу не змінюють гідравлічні характеристики. На відміну від стаціонарного в нестационарному режимі роботи характеристики елементів гідравлічної системи можуть змінюватися під впливом вхідних і вихідних параметрів, величини яких змінюються впродовж розглядуваного проміжку часу.

При роботі системи комунального водопостачання її параметри безперервно змінюються. Ці зміни пов'язані з включенням або відключенням окремих споживачів — зміною місцевих гідравлічних опорів у споживачів (регулюванні кранів, засувок), відключенням насосних агрегатів, аварійними ситуаціями, тощо. Тому поділ процесів на стаціонарні і нестационарні є умовним [1]. Під час перехідних процесів відбувається швидкий перехід з одного умовно стаціонарного стану до іншого. Це супроводжується значними відхиленнями параметрів від стаціонарних, що було підтверджено експериментально, у тому числі роботою [2].

### Актуальність роботи

У роботі [3] показано, що параметри свердловинного насоса пов'язані із параметрами гідравлічної мережі, причому робоча точка насоса залежить від зміни сумарного гідравлічного опору мережі так, що параметри насоса змінюються не тільки вздовж напірної характеристики, але й залежать від частоти обертання ротора насоса (змінюється величина ковзання електродвигуна). При цьому, звичайно, залежність потужності, споживаної насосом, також змінюється аналогічним чином. Оскільки потужність насоса залежить від частоти обертання ротора в кубі [4], то для аналізу ефективності використання насосного обладнання врахування нестационарних явищ є важливим.

### Аналіз попередніх досліджень

Теорію гідравлічного удару (теорія неусталеного руху рідини) з урахуванням пружних властивостей трубопро-

воду було закладено в [5]. Широко відомі в даній галузі роботи [1,6–8] та інші.

Розрахунок перехідних процесів у системах подачі та розподілу води пов'язаний в першу чергу з розв'язком задач про неусталений рух рідини в трубопроводах. При розрахунках перехідних процесів необхідно враховувати: втрати напору в трубопроводі на тертя і місцеві опори, пружність матеріалу стінок труби, стиснення рідини, присутність у воді нерозчиненого і розчиненого повітря, можливість виникнення кавітаційних розривів суцільності потоку, дію різноманітної арматури, встановленої на трубопроводах, а також насосних станцій та резервуарів.

Зазвичай з метою спрощення в технічних розрахунках неусталений рух рідини у гідравлічних системах вважають одномірним, тобто таким, що залежить лише від однієї просторової координати  $x$ , яка проходить уздовж осі трубопроводу.

Неусталений рух рідини в трубах вважають відомим у точці  $x$ , якщо швидкість  $u$ , тиск  $p$ , густину  $\rho$  і температуру  $T$  можна представити як функції просторової координати  $x$  і часу  $t$  [5–8]. У зв'язку з тим, що зміна температури для більшості рідин у процесі нестационарного руху в гідросистемах досить незначна, то можна не враховувати вплив температури на хід процесу. Крім того, зазвичай вважають, що рідина є баротропним середовищем, тобто таким, у якого густина є лише функцією тиску [6].

При вищезазначених припущеннях несталий рух рідини в трубопроводах може бути охарактеризовано двома параметрами ( $u, p$ ), що залежать від  $x$  і  $t$ . Зведення задач до знаходження двох невідомих змінних не впливає з яких-небудь загальних фізичних положень, а є наслідком припущень і допущень, які в ході побудови і налагодження математичної моделі повинні бути перевірені шляхом зіставлення з експериментальними даними.

У такій постановці несталий рух рідини в трубах може бути описано системою із двох рівнянь – кількості руху та нерозривності.

Рівняння кількості руху виражає відповідність між зовнішніми силами в напрямку осі  $x$ , прикладеними до одиниці об'єму рідини, що має густину  $\rho$ , а також силами інерції й опору (тертя), що діють на цю одиницю об'єму в будь-який момент часу [8]:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{u}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\lambda \cdot u \cdot |u|}{2 \cdot g \cdot d} = 0, \quad (1)$$

де  $h$  — напір;  $c$  — швидкість поширення хвилі;  $d$ ,  $z$  — діаметр і відмітка осі трубопроводу;  $\lambda$  — коефіцієнт гідравлічного опору тертя.

Рівняння нерозривності виражає закон збереження маси рідини та встановлює співвідношення між швидкістю рідини  $u$ , густиною  $\rho$ , просторовою координатою  $x$  і часом  $t$  [8]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} - u \cdot \frac{\partial z}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Отже нестационарні режими роботи гідравлічних мереж описуються системою квазілінійних рівнянь гіперболічного типу в частинних похідних [6], які в свою чергу розв'язуються трьома основними методами: графічно, аналітично та чисельно.

Аналіз існуючих методів розрахунку перехідних процесів в трубопроводах показав, що вони досягли адекватності описання нестационарних явищ. Таке положення зумовлено як розробкою чисельних алгоритмів вирішення задачі, так і постановкою та реалізацією коректних граничних та початкових умов.

У той же час аналізу нестационарних режимів роботи гідравлічних систем, до складу яких входять відцентрові насоси, що мають нелінійні характеристики та властивість самонастроювання на режим роботи гідравлічної мережі, дотепер не приділено достатньої уваги.

Вдосконалення розрахункових моделей для досліджуваної системи можна досягти шляхом доповнення математичної моделі використанням комплексної моделі насосного агрегату (установки) та додаткових граничних умов.

**Мета досліджень.** Розробка та реалізація математичної моделі простої гідравлічної мережі з відцентровим насосом у її складі.

#### Матеріали та результати досліджень

Складність розв'язання рівнянь неусталеного руху води в трубопроводах (навіть у простому одномірному випадку) полягає в їх нелінійності. При цьому розвинутий апарат аналітичних і графічних методів дозволяє вирішити обмежене коло задач.

Застосування ЕОМ дає можливість широкого використання чисельних методів для вирішення задач неусталеного руху води в напірних трубопроводах. У даний час для розв'язання таких задач найбільш популярними є чисельний розв'язок методом характеристик. Згідно нього розв'язок системи квазілінійних рівнянь гіперболічного типу в частинних похідних (1), (2), що описують неусталений процес руху води в трубопроводах, зводяться до рівнянь типу [7]:

$$\pm \frac{g}{c} \cdot \frac{dh}{dt} + \frac{du}{dt} + \frac{\lambda \cdot u \cdot |u|}{2 \cdot d} \pm \frac{g \cdot u}{c} \cdot \frac{dz}{dx} = 0. \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = u \pm c. \quad (4)$$

Для системи даних рівнянь визначені дві родини характеристик:

- пряма характеристика:

$$\frac{g}{c} \cdot \frac{dh}{dt} + \frac{du}{dt} + \frac{\lambda \cdot u \cdot |u|}{2 \cdot d} + \frac{g \cdot u}{c} \cdot \frac{dz}{dx} = 0. \quad (5)$$

$$\frac{dx}{dt} = u + c. \quad (6)$$

- зворотна характеристика:

$$-\frac{g}{c} \cdot \frac{dh}{dt} + \frac{du}{dt} + \frac{\lambda \cdot u \cdot |u|}{2 \cdot d} - \frac{g \cdot u}{c} \cdot \frac{dz}{dx} = 0. \quad (7)$$

$$\frac{dx}{dt} = u - c. \quad (8)$$

Таким чином система двох диференціальних рівнянь у частинних похідних (1), (2) еквівалентна системі чотирьох звичайних диференціальних рівнянь (5)—(8). Рівняння (5), (6) повинні виконуватись вздовж прямої характеристики, а (7), (8)— вздовж зворотної, отже в точці перетину характеристик  $P$  вони справедливі однаково (рис. 1).

Дискретизація розрахункової сітки виконується настільки детально ( $\Delta x \leq \varepsilon_x$ ,  $\Delta t \leq \varepsilon_t$ ), що відрізки характеристик  $RP$  і  $SP$  можна вважати прямими. Тоді для чисельного обчислення замінимо диференціальні рівняння алгебраїчними кінцево-різницевиими рівняннями першого порядку.

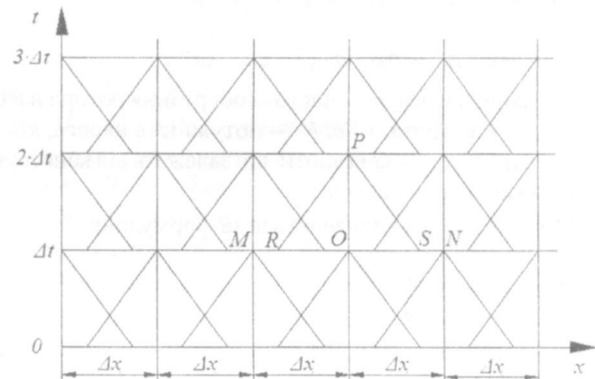


Рис. 1. Розрахункова схема до методу характеристик.

Вздовж  $RP$

$$\frac{g}{c} \cdot (h_P - h_R) + (u_P - u_R) + \frac{\lambda \cdot u_R \cdot |u_R| \cdot \Delta t}{2 \cdot d} = 0. \quad (9)$$

Вздовж  $SP$

$$\frac{g}{c} \cdot (h_P - h_S) + (u_P - u_S) + \frac{\lambda \cdot u_S \cdot |u_S| \cdot \Delta t}{2 \cdot d} = 0. \quad (10)$$

Визначаємо з рівняння (9) і (10) величину  $h_P$ , і, порівнюючи їх, визначаємо  $u_R$

$$u_P = \frac{g}{2 \cdot c} \cdot (h_R - h_S) + \frac{u_R + u_S}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda \cdot u_R \cdot |u_R| \cdot \Delta t}{2 \cdot d} + \frac{\lambda \cdot u_S \cdot |u_S| \cdot \Delta t}{2 \cdot d} \right).$$

Підставивши значення  $u_p$  в (7) або (8) визначимо  $u_p$

За даними [7] для забезпечення стійкості розв'язку слід використовувати критерії стійкості Куранта–Леві:

$$\Delta t = 0,95 \cdot \frac{\Delta x}{u + c}$$

Для розв'язання рівнянь, що описують неусталений рух води в трубопроводах, необхідно задати також початкові і граничні умови. Початкові умови на обох кінцях труби  $h(x, 0)$ ,  $u(x, 0)$  та  $h(L, 0)$ ,  $u(L, 0)$  до виникнення перехідного процесу отримують з опису попереднього усталеного руху води в трубопроводі або стартових умов. Граничні умови визначають поведінку функцій  $h(x, t)$  та  $u(x, t)$  у граничних вузлових точках.

Математична модель граничних умов, що визначаються насосом, містить рівняння напору і динаміки обертового руху насосного агрегата. Тобто вона ґрунтується на таких міркуваннях: напір насоса повністю витрачається на подолання гідравлічного опору мережі, у тому числі місцевих опорів; функціонального взаємозв'язку моментів насоса та електродвигуна.

Напірна характеристика динамічного насоса та його потужність можуть бути описаними наступними рівняннями [2]

$$H = a_H \cdot n^2 + b_H \cdot n \cdot Q + c_H \cdot Q^2,$$

$$N = a_N \cdot n^2 + b_N \cdot n \cdot Q + c_N \cdot Q^2,$$

де  $H$  — напір насоса;  $n$  — частота обертання ротора насоса,  $xc^{-1}$ ;  $Q$  — витрата,  $m^3/c$ ;  $N$  — потужність насоса,  $kBm$ ;  $a_H, b_H, c_H, a_N, b_N, c_N$  — константи, що залежать від конструктивного виконання насоса.

Момент насоса визначається за формулою:

$$M_H = \frac{N}{\omega} = \frac{30 \cdot N}{\pi \cdot n},$$

де  $\omega$  — кутова швидкість,  $c^{-1}$ .

Для привода насосів в основному використовуються асинхронні трифазні електродвигуни змінного струму. Відомо, що момент таких електродвигунів залежить від частоти обертання ротора електродвигуна і описується залежністю Клосса [9]:

$$M_{e\partial} = \frac{2M_{max}}{s/s_{кр} + s_{кр}/s},$$

де  $M_{e\partial}$ ,  $M_{max}$  — поточне та максимальне значення обертового моменту на вихідному валу двигуна;  $H \cdot m$ ;  $s, s_{кр}$  — поточне та критичне значення коефіцієнту ковзання.

Рівняння обертового руху ротора насосного агрегату записується у вигляді:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{e\partial} - M_H,$$

де  $I$  — момент інерції насоса і ротора електродвигуна,  $kg/m^2$ .

Отже граничними умовами, що визначаються насосом, є система рівнянь

$$a_H \cdot n^2 + b_H \cdot n \cdot Q + c_H \cdot Q^2 = \left( \lambda \cdot \frac{L}{d} + \xi \right) \cdot \frac{(Q/S)^2}{2 \cdot g},$$

$$\frac{\pi \cdot \Delta n}{30 \cdot \Delta t} = \frac{2 \cdot M_{max}}{s/s_{кр} + s_{кр}/s} +$$

$$\frac{30 \cdot (a_N \cdot n^2 + b_N \cdot n \cdot Q + c_N \cdot Q^2)}{\pi \cdot n}$$

У якості граничних умов на іншому кінці трубопроводу прийнято залежність зміни витрати води від часу.

Як приклад візьмемо розрахунок схеми водопостачання багатоповерхового будинку (будинок по вул. Ковпака 47, м. Суми, кількість зареєстрованих абонентів становить 937 чол.) Їй відповідає модель, яка складається з труби ( $d = 0,150 m$ ,  $L = 1100 m$ ), на лівому кінці якої знаходиться насос (K80-50-200), а на правому — умовний споживач води. Виміри витрати води перед будинком (у споживача) проводилися за допомогою ультразвукового портативного витратоміра — лічильника "ВЗЛЕТ-ПР" з реєстрацією даних витрат з інтервалом 1 секунда впродовж 1 доби (наведено у роботі [2]). Залежність споживання води від часу протягом 45 с (в 5 годин 42 хв — початок максимального розбору води) визначається як:

$$Q_{cp}(t) = 25 + 3.303012 \cdot t - 0.0682 \cdot t^2$$

Результати розрахунків неусталеного руху рідини представлені на рис. 2–4.

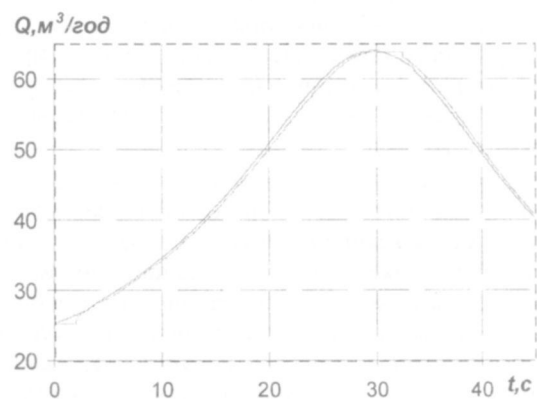


Рис. 2. Залежність витрати від часу при перехідному процесі (--- зміна витрати у споживачів; — зміна витрати насосного агрегату).

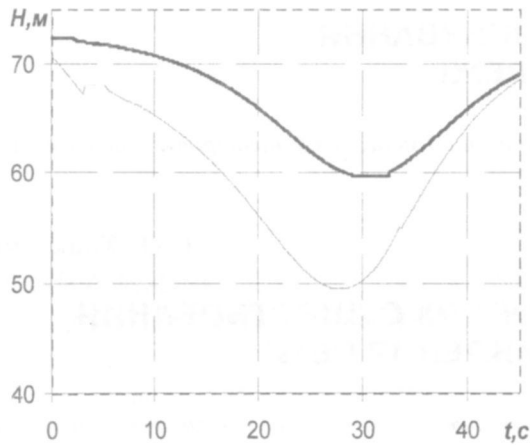


Рис. 3. Залежність тиску від часу при перехідному процесі  
(- - зміна тиску у споживача;  
— зміна напору насоса).

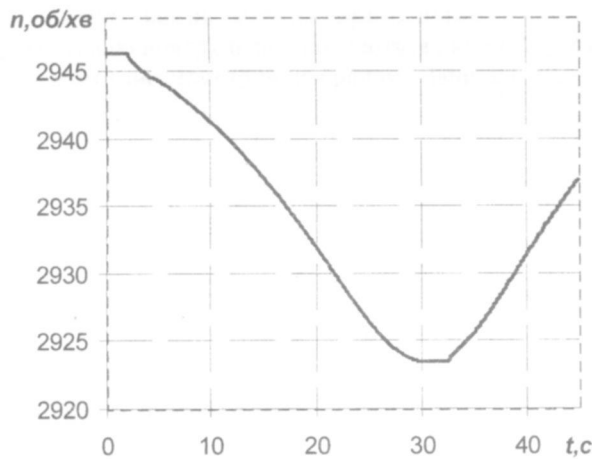


Рис. 4. Зміна частоти обертів насосного агрегату при перехідному процесі.

### Висновки

1. Розроблено математичну модель роботи відцентрового насоса на трубопровід, зі змінним в часі опором мережі.
2. Встановлено, що при нестационарному режимі роботи швидкість обертання змінюється в часі. Оскільки зміна потужності насосного агрегата залежить від зміни частоти обертання в кубі, то виявлені залежності дозволяють більш точно визначити ефективність роботи насоса у складі гідравлічної мережі.
3. Встановлено, що подача насоса практично відслідковує графік водоспоживання. З практичної точки зору її відставання в часі не суттєве.
4. Виявлено, що навіть при плавній зміні водоспоживання у трубопроводі можливі незначні гідравлічні удари.

### Література

1. Вишневикий К.П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи. — М.: Агропромиздат, 1986. — 135 с.
2. Євтушенко О.А., Неня В.Г., Сотник М.І., Хованський С.О. Визначення оптимального складу насосної станції // Вісник Кременчуцького державного університету. — 2008. — Вип. 4/2008 (51) частина 1. — С. 158—162.
3. Неня В.Г., Захарченко В.П. Зовнішнє проектування відцентрових насосів // Промислова гідравліка і пневматика. — 2008. — №1. — С. 71—74.
4. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. — М.: Машиностроение, 1977. — 228 с.
5. Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. — М.-Л.: Гостехиздат, 1949. — 103 с.
6. Чарний І.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. — М.: Надра, 1975. — 296 с.
7. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах: Пер. с англ. — М.: Энергоиздат, 1981. — 248 с.: ил.
8. Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. — Л.: Машиностроение, 1978. — 192 с.
9. Електротехніка / Под ред. Э.В. Кузнецова. — К.: Вища школа, 1987. — 600 с.

Надійшла 07.09.2009 р.

С.О. Хованський

## **РОБОТА ДИНАМІЧНИХ НАСОСІВ В УМОВАХ ІСНУВАННЯ ЗМІННОГО В ЧАСІ ОПОРУ ЗОВНІШНЬОЇ МЕРЕЖІ**

*Розроблено та реалізовано математичну модель простої гідравлічної мережі з відцентровим насосом в умовах змінного в часі опору мережі.*

С.О. Хованский

## **РАБОТА ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ВО ВРЕМЕНИ СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕТИ**

*Разработана и реализована математическая модель простой гидравлической сети с центробежным насосом в условиях переменного во времени сопротивления сети.*

## **WORK OF DYNAMIC PUMPS IN CONDITIONS OF EXISTENCE OF A RESISTANCE OF A NETWORK CHANGING IN TIME**

*This article was developed and implemented a simple mathematical model of hydraulic networks with centrifugal pump in a variable over time the resistance network.*