

# РОЗРОБКА МОДЕЛІ БАГАТОСТУПІНЧАТОЇ ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ З ТЕХНОЛОГІЧНОЮ СХЕМОЮ "НАСОС В НАСОС"

Бессараб В.І., Федюн Р.В.

Кафедра АТ, ДонНТУ

bvi@fcita.dn.ua

## **Abstract**

*Bessarab V.I., Fedyun R.V. Building model of a many-staged water drainage installation with the technological schema "the pump in the pump". The questions building model of a many-staged water-drainage installation as multivariable multi-dimensional dynamic system are lighted in a paper. The pattern of model for three-stage drainage is reduced. The simulation of dynamic processes in a water-drainage installation is executed.*

## **Вступ**

В останні десятиліття у вугільній промисловості України одержала інтенсивний розвиток тенденція освоєння усе більш глибоких горизонтів шахт [8,9]. Поглиблення гірничих робіт, що веде до збільшення висоти водопідйому, призводить до виникнення проблеми водовідливу з глибоких шахт. Головний водовідлив глибоких шахт може бути реалізований по різних технологічних схемах [5,8]: прямий водовідлив з горизонту безпосередньо на поверхню; ступінчатий водовідлив з водозбірниками на проміжних горизонтах; ступінчатий водовідлив послідовно з'єднаними насосами, розташованими на різних горизонтах - "насос в насос". Перспективною є схема ступінчатого водовідливу по схемі "насос в насос" [1]. Капітальні й експлуатаційні витрати по схемі "насос в насос" менші, ніж витрати по схемі з проміжними водозбірниками. Негативною стороною цієї технологічної схеми водовідливу є жорсткий гідравлічний зв'язок між насосами різних горизонтів. У зв'язку з цим зміни режиму роботи насосів одного горизонту впливають на роботу насосів іншого горизонту. Крім того, робота такої технологічної установки характеризується великою кількістю вхідних та вихідних величин. Тому багатоступінчата водовідливна установка зі схемою роботи "насос в насос" виступає як багатомірний, багатозв'язний, динамічний об'єкт автоматизації.

Існуючі розробки в галузі математичного моделювання шахтних водовідливних установок розглядають в якості об'єкта або одноступінчату водовідливну установку, або схему ступінчатого водовідливу з проміжними водозбірниками [7,10,11]. Питання моделювання роботи

запропонованої технологічної схеми водовідливу не достатньо представлені у вітчизняній та зарубіжній літературі. Тому для дослідження особливостей роботи такого об'єкта в різних перехідних режимах необхідно розробити динамічну модель багатоступінчастої водовідливної установки, яка би відтворювала фізичну суть процесів та враховувала взаємовплив і взаємозв'язок ступіней водовідливу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- отримати математичний опис нестационарного руху рідини в трубопроводах кожної ступені;
- розробити математичну модель насосної установки як граничних умов трубопроводу;
- встановити особливості взаємозв'язку між ступіннями;
- оцінити адекватність отриманої моделі.
- виконати моделювання динамічних процесів в триступінчатій водовідливній установці.

В якості базового об'єкта прийнята триступінчата водовідливна установка. Така кількість ступіней є мінімально необхідною для повного опису характеристик і властивостей об'єктів даного класу та дозволяє отримати теоретичні викладки і результати, що цілком характеризують особливості систем управління багатоступінчатими водовідливними установками, і можуть бути легко узагальнені для водовідливів з більшою кількістю ступіней.

### **Модель трубопроводу**

Модель триступінчатої водовідливної установки складається з моделей трьох ступіней, кожна з яких у свою чергу складається з моделі трубопроводу і моделі граничних умов.

Нестационарний рух рідини в трубопроводі описується наступною системою диференціальних рівнянь у частинних похідних [2,6]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda}{2gS^2} Q^2 + \sin \alpha; \\ -\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{c^2}{gS} \frac{\partial Q}{\partial x}, \end{cases} \quad (1)$$

у межах  $0 \leq x \leq L$  у часі  $0 \leq t < \infty$  при початкових умовах

$$\left. \begin{aligned} H(x,0) &= (L-x)(\sin \alpha + i) \\ Q(x,0) &= const \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

і граничних умов

$$\left. \begin{aligned} H(L, t) &= 0 \\ Q(0, t) &= (Q_H, \omega) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де  $H, Q$  – напір (тиск) і продуктивність в даній точці трубопроводу;  $L, d, S, \lambda$  – довжина, внутрішній діаметр, площа поперечного розрізу і коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу;  $x, t$  – координати простору і часу;  $g$  – прискорення сили ваги;  $\alpha$  – кут нахилу трубопроводу до горизонту;  $i$  – гідравлічний ухил;  $c$  – швидкість поширення ударної хвилі;  $\omega$  – кутова частота обертання ротора насосного агрегату.

Рішення диференціальних рівнянь у частинних похідних (1) є загальною методологією одержання динамічних характеристик будь-яких трубопроводів, але здебільшого відлякує практиків через труднощі їхнього інтегрування і громіздкості отриманих результатів [2,3]. Модель нестационарного руху рідини в трубопроводі в частинних похідних дає результати, що складно використовувати для синтезу систем управління. Необхідно здійснити перехід від моделі трубопроводу з розподіленими параметрами до моделі із зосередженими параметрами.

Аналіз існуючих розробок по даному питанню показав, що для застосовуваних на шахтних водовідливах трубопроводах (при існуючих довжинах і діаметрах) можна здійснити перехід до моделі трубопроводу з зосередженими параметрами [2,3].

З огляду на сказане, динамічні процеси в трубопроводі ступіні водовідливу будемо одержувати, використовуючи типові чотириполюсники, які описують нестационарний рух рідини в трубопроводі [2,3]. Система диференціальних рівнянь (1) шляхом спрощень і перетворень приводиться до системи рівнянь в операторній формі Лапласа. Динаміка зміни продуктивності і тиску на початку і наприкінці трубопроводу ступіні може бути описана наступним співвідношенням [2,3]:

$$\begin{aligned} Q_2(p) &= W_{Q_2Q_1}(p)Q_1(p) - W_{Q_2P_1}(p)P_1(p), \\ P_2(p) &= -W_{P_2Q_1}(p)Q_1(p) + W_{P_2P_1}(p)P_1(p), \end{aligned} \quad (4)$$

де  $P_1(p), Q_1(p), P_2(p), Q_2(p)$  – тиск і витрата на початку і кінці трубопроводу відповідно;  $W(p)$  – динамічні співвідношення (передатні функції) по відповідних каналах (канал взаємозв'язку визначається індексом).

Розглядаючи на кожному кінці ступені одну з величин  $Q(t)$  чи  $P(t)$  як залежну від іншої, можна відбити фізику взаємного впливу тиску і витрати на кінцях трубопроводу й установити характер взаємних зв'язків між динамічними характеристиками окремих ступіней у загальній моделі багатоступінчастої водовідливної установки.

Використовуючи вираз (4) як базовий, можна шляхом аналітичних перетворень одержати структуру моделі ступіні багатоступінчастого

водовідливу при різних комбінаціях вхідних і вихідних перемінних. Структурна схема моделі трубопроводу ступіні водовідливу приведена на рис. 1.

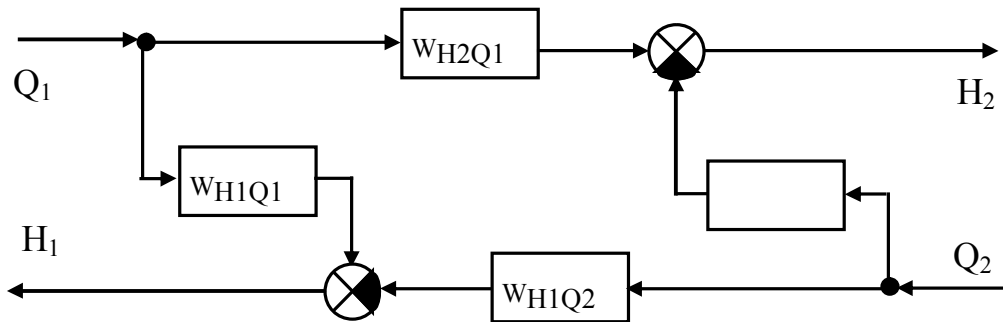


Рисунок 1- Структурна схема моделі трубопроводу водовідливу

Передатні властивості трубопроводу по відповідних каналах взаємозв'язку описуються аперіодичними ланками першого порядку [3,6]. Параметри передатних функцій трубопроводу визначаються згідно рекомендацій [3,6].

### **Модель граничних умов трубопроводу**

На динамічні властивості трубопроводу впливають граничні умови (3). Граничні умови трубопроводу визначаються характеристиками насосної установки. Функціональна схема типового насосного агрегату головної водовідливної установки приведена на рис.2 [5].

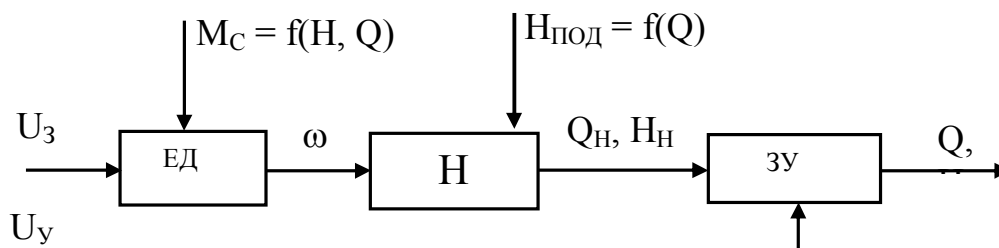


Рисунок 2 – Функціональна схема насосного агрегата

Для водовідливу гірничих підприємств є характерним наступний склад насосної установки (рис.2): асинхронний приводний електродвигун (ЕД), відцентровий секційний насос (Н), засувка, що управляє продуктивністю (ЗУ).

Структура моделі граничних умов залежить від застосовуваного способу управління режимами роботи водовідливної установки. Існує три способи зміни робочого режиму водовідливної установки гірничого

підприємства [4,5]: зміною частоти обертання приводного електродвигуна за допомогою тиристорних перетворювачів частоти; зміною характеристики мережі за допомогою засувки, що управляє; підведенням повітря в усмоктувальну систему насоса. Кожен спосіб регулювання має як свої переваги, так і недоліки.

Регулювання зміною частоти обертання ротора має наступні переваги: універсальність (можливість досягнення подач насосів як менших, так і більших номінальної), економічність. До недоліків варто віднести: сильно обмежена в умовах вугільних шахт можливість регулювання у бік зниження подач через можливу втрату стійкості робочого режиму; висока вартість пристроїв для зміни частоти обертання. Цей спосіб регулювання, незважаючи на всі його переваги, дуже рідко застосовується для умов гірничих підприємств.

Багато досліджень присвячено регулюванню робочих параметрів насоса підведенням повітря в його усмоктувальну систему. Відношення дослідників до даного способу регулювання неоднозначно. На початкових стадіях досліджень цей спосіб вважався перспективним і економічним: низька витрата енергії на регулювання, відносно велика глибина регулювання по подачі. Однак подальші дослідження показали, що підсоси і влучення повітря у всмоктувальну камеру насоса негативно позначається на його роботі. Недоліки цього способу регулювання: можливість регулювання тільки на зниження подачі, можливість зриву роботи насоса при великій витраті повітря, складна система управління. Підсмоктування повітря викликають різке погіршення акустичних і вібраційних характеристик, пульсації напору, продуктивності, потужності, тиску на вході. Особливо негативне влучення повітря впливає на довговічність і надійність гідравлічного розвантажувального пристрою. З огляду на всі ці фактори, варто визнати спосіб регулювання впуском повітря неприпустимим для водовідливу вугільних шахт.

Найбільш придатним способом управління водовідливною установкою являється зміна характеристики мережі за допомогою засувки, що встановлюється на нагнітальному трубопроводі. Переваги цього способу регулювання такі: простота, надійність, відсутність необхідності в дорогому устаткуванні. Крім цього, кожна головна водовідливна установка шахти обладнана такою засувкою, що дозволяє знизити витрати на автоматизацію. Недоліком цього способу є збільшення енерговитрат на відкачку води.

При розробці моделі граничних умов врахована можливість застосування двох способів управління – зміна характеристики мережі за допомогою засувки на трубопроводі нагнітання та зміна частоти обертання приводного електродвигуна.

Аналіз особливостей функціонування насосної установки як граничних умов для трубопроводу дозволяє одержати структурну схему формування граничних умов, що приведена на рис.3.

Ця схема (рис.3) дозволяє сформувати модель граничних умов для дослідження динамічних процесів у багатоступінчатих водовідливних установках.

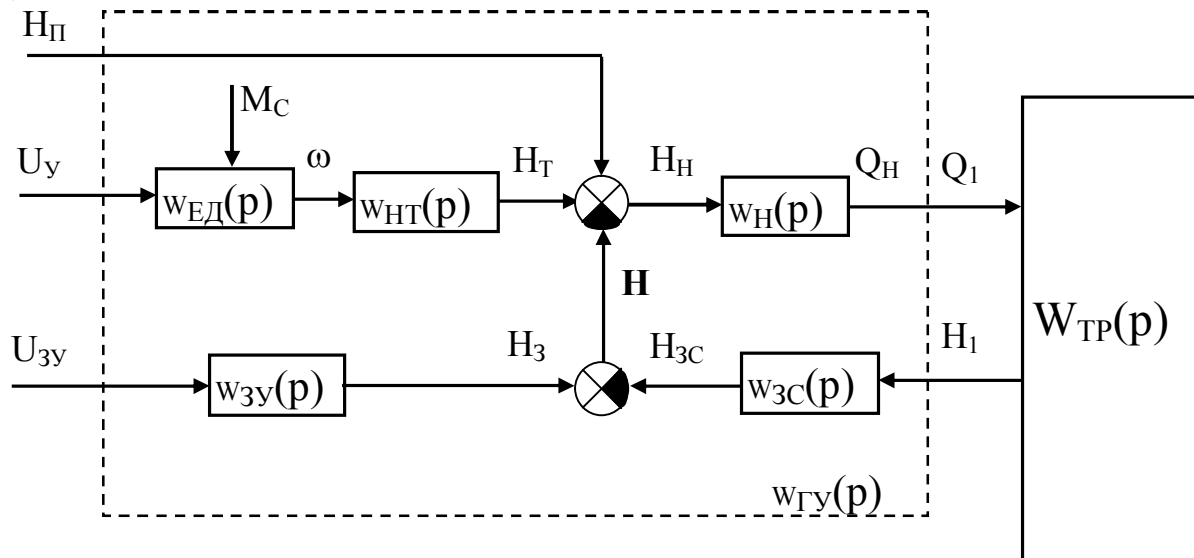


Рисунок 3.– Структура моделі граничних умов

Управляючий вплив  $U_{3Y}$  (спосіб управління – дроселювання нагнітального трубопроводу засувкою) подається на вхід ланки  $W_{3Y}(p)$ , що описує властивості засувки. Елемент моделі  $W_{3C}(p)$  вплив напірного трубопроводу на динаміку насоса і являє собою внутрішній гідравлічний зворотний зв'язок. Ланка  $W_{ED}(p)$  описує електромеханічні властивості приводного електродвигуна. На вході електродвигуна - управляючий вплив  $U_y$  (спосіб управління – зміна частоти обертання приводного електродвигуна), який визначається параметрами напруги живлення. На виході даної ланки утворюється частота обертання вала двигуна  $\omega$ , яка визначає напір насоса. Крім цього, на електродвигун діє збурювання у виді статичного моменту  $M_C$ , який створюється насосом. Елемент  $W_{NT}(p)$  виражає динамічні властивості насоса в режимі холостого ходу. Робочий режим насосної установки визначається з урахуванням впливу напірного трубопроводу і засувки. Напірний трубопровід є навантаженням насоса і впливає на насос через напір  $H_1$  у його початковому перерізі. Напір  $H_1$  через гідравлічний зворотний зв'язок впливає на теоретичний напір насоса  $H_T$ , з урахуванням утрат напору в засувці  $H_3$ . У результаті цього утворюється реальний напір насосної установки  $H_H$ . Елемент  $W_H(p)$  відображає динаміку гідравлічних процесів у насосній установці і здійснює перетворення напору насоса  $H_H$  у його подачу  $Q_H$ . Крім цього, на вхід даної ланки робить вплив підпор, який є збурюванням на вході насоса  $H_{П}$ . подача у вхідному перерізі трубопроводу  $Q_1$  дорівнює подачі насоса  $Q_H$

(при відсутності добору води на зрошення  $Q_{зр}$ ). Таким чином, модель граничних умов, приведена на рис. 3 відображає динамічні процеси в насосній установці, взаємний вплив динамічних процесів у трубопроводі, насосній установці і засувці що управляє а також задовольняє прийнятим способам управління та структурній схемі моделі трубопроводу.

### Модель триступінчатої водовідливної установки

Модель триступінчатої водовідливної установки можна отримати з'єднанням моделей ступіней, які в свою чергу одержані на основі моделей трубопроводу (рис. 1) та граничних умов (рис. 3). Структурна схема моделі триступінчатої водовідливної установки приведена на рис. 4.

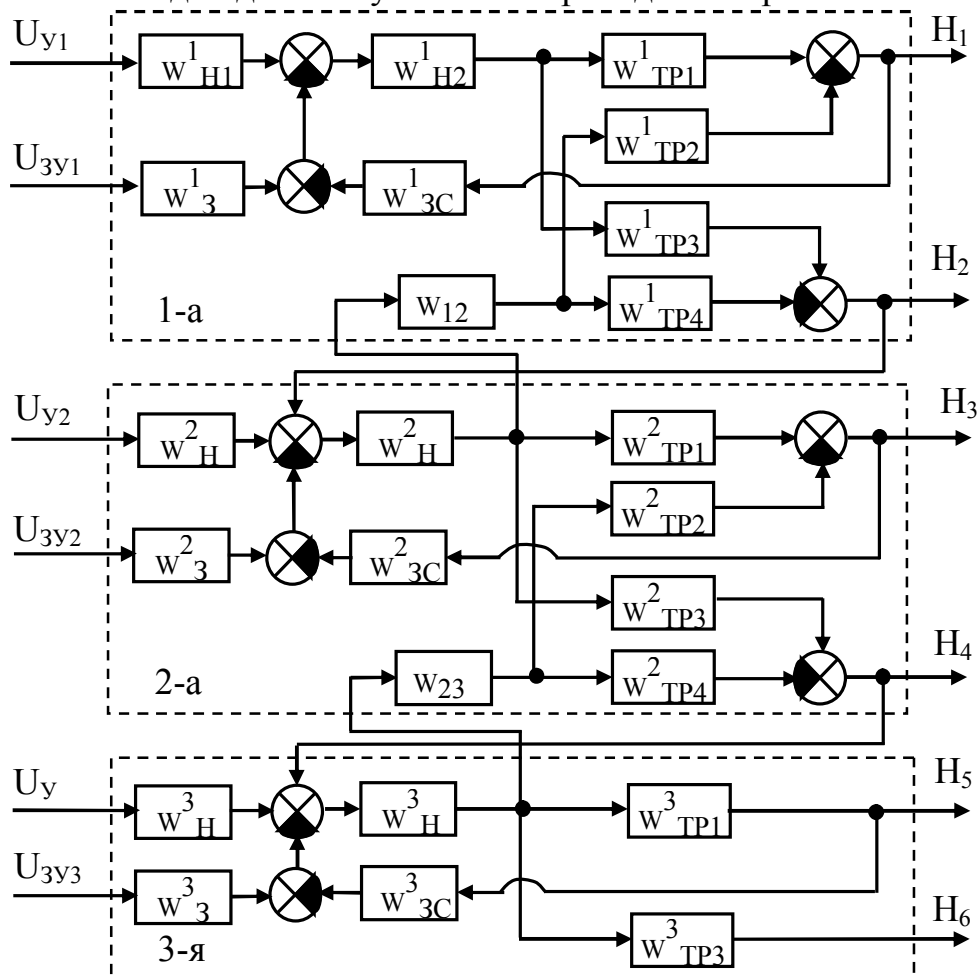


Рисунок 4 – Модель триступінчатої установки.

Отримана модель триступінчатої водовідливної установки (рис. 4) має наступні параметри. Вхідні координати: управляючі впливи  $U_{y1}$ ,  $U_{y2}$ ,  $U_{y3}$  – напруга на приводний електродвигун насоса і  $U_{3y1}$ ,  $U_{3y2}$ ,  $U_{3y3}$  – положення регулюючого органа засувки що управляє. Вихідні координати – напір на вході і виході трубопроводу ступіні: напір на вході в

трубопровід  $H_1$ ,  $H_3$ ,  $H_5$  і напір на виході трубопроводу ступіні (підпір на вході в насос наступної ступіні)  $H_2$ ,  $H_4$ ,  $H_6$ .

Адекватність моделі підтверджується використанням коректного математичного опису елементів водовідливної установки та експериментальними дослідженнями. Експериментальні дослідження динамічних процесів були виконані на головній водовідливній установці шахти "Южнодонецька №1".

### ***Моделювання динамічних процесів триступінчатого водовідливу***

Розроблена модель триступінчатої водовідливної установки була реалізована в пакеті simulink системи інженерних та наукових розрахунків MATLAB. Проведено моделювання різних режимів роботи триступінчатого водовідливу. На рис. 5 приведено перехідні процеси в триступінчатій водовідливній установці при її запуску та при регулюванні продуктивності водовідливу.

### ***Висновки***

Таким чином, багатоступінчатий водовідлив із використанням вищевикладених принципів може бути представлений універсальною багатозв'язною моделю. По результатам досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Багатоступінчата водовідливна установка є багатомірним, багатозв'язним об'єктом управління.
2. Вплив різних ступіней одна на одну не однаковий і залежить від місця розміщення ступіні в установці.
3. Перехідні процеси по всіх керованих координатах мають коливальну форму
4. Отримана модель дозволяє досліджувати динамічні процеси в багатоступінчастій водовідливній установці в різних режимах при детермінованих впливах. .
5. Результати моделювання дозволяють вирішувати задачу побудови системи автоматичного управління шахтною багатоступінчастою водовідливною установкою з урахуванням отриманих динамічних процесів в об'єкті управління.



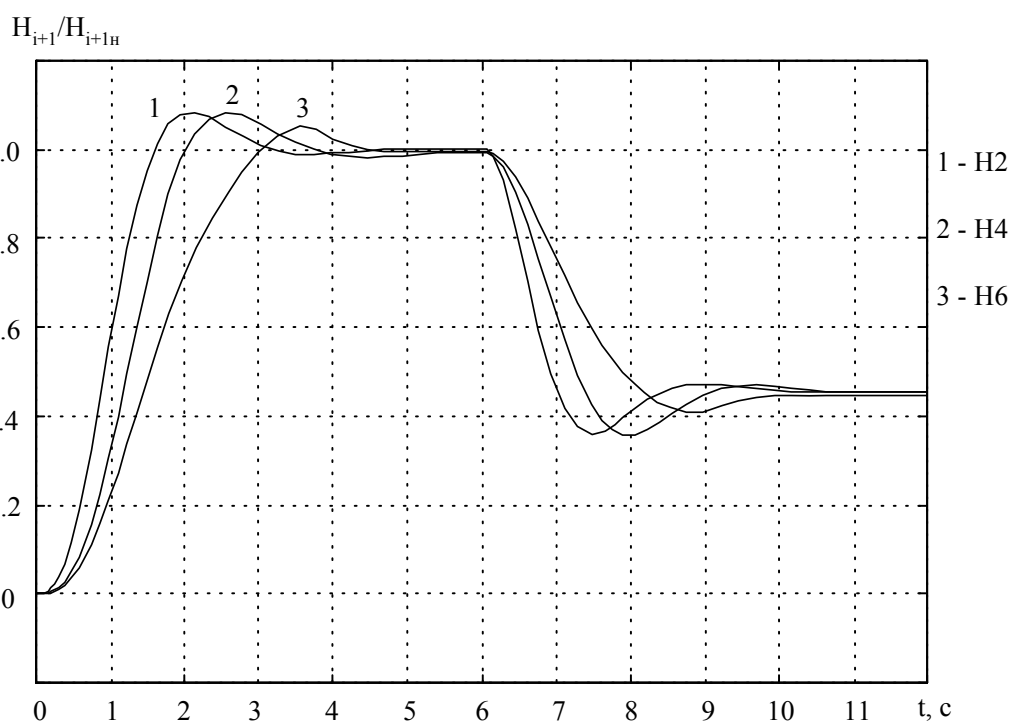
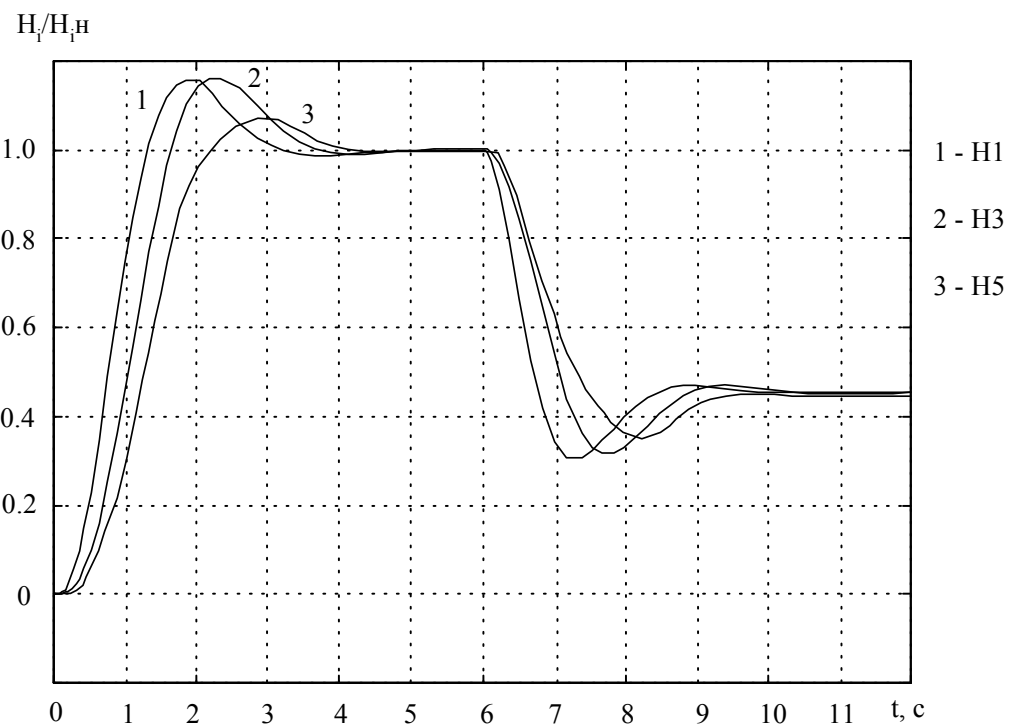


Рис.5. Моделювання процесів пуску та регулювання продуктивності водовідливної установки

### Література

1. Бессараб В.И., Федюн Р.В. Принципы моделирования динамических процессов в многоступенчатых водоотливных

- установках. Наукові праці ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 12. Донецьк: ДонДТУ, ТОВ “Лебідь” – 1999, с.33-40.
2. Тимошенко Г.М. Научные основы проектирования и эксплуатации насосных установок в переходных режимах. Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1986.- 127с.
  3. Чермак И., Петерка В., Заворка И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии. М.: Мир, 1992.– 624 с.
  4. Беликов П.Ф., Нечушкин Г.М., Иевлев В.С. Определение основных параметров и выбор рациональных схем водоотливных установок шахт// Шахтное строительство, 1983, № 11, С. 12 – 13.
  5. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. М.: Недра, 1987.- 270 с.
  6. Грачев В.В., Щербаков С.Г., Яковлев Е.И. Динамика трубопроводных систем. М.: Наука, 1987. – 438 с.
  7. Зелинский А.Н. Основы математического моделирования. Киев, УМКВО, 1991. – 233 с.
  8. Коваль А.Н., Антонов Э.И., Адам О.В., Гасюкевич В.К., Паламарчук Н.В. Основные направления развития шахтного насосостроения в Украине // Уголь Украины. - 1996. -№ 5-6. - С. 39 - 41.
  9. Паламарчук Н.В. Главные резервы экономии электроэнергии при эксплуатации шахтных водоотливных установок // Уголь Украины. - 2001.-№ 7. - С. 21 - 24.
  10. Паламарчук Н.В., Голованов В.К., Рокитный А.И. Переходные и неустойчивые режимы работы шахтных насосов // Горная механика. Сборник научных трудов НИИГМ им. М.М. Федорова. - Выпуск 1, часть 2. - 1991 г. - С. 88 - 103.
  11. Смирнов А.М., Щеглов В.А. Моделирование процессов шахтного водоотлива на базе микропроцессорной техники и персональной ЭВМ // Системы автоматизации, средства автоматики и связи для угольных предприятий. Сборник научных трудов. Москва, 1990. – С. 12 – 21.