

УДК 631.624.003.13

С.В. ГАЛЬКО<sup>1</sup> (канд.техн.наук, доц.), С.Д. МИРОНЕЦЬ<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Навчально-науковий інститут заочної та дистанційної освіти  
<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет  
Тел/факс (06192) 42-10-51, тел. (06192) 42-31-59

## АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ ЗРОШЕННЯ

*Робота присвячена аналітичному дослідженню сучасних методів регулювання параметрів насосних станцій зрошення. Розглянуто особливості застосування різних способів регулювання, переваги і недоліки їх використання.*

**Постановка проблеми.** Під час експлуатації насосних станцій дуже часто доводиться застосовувати регулювання їх параметрів, головним чином подачі, в деяких випадках - тиску. Так, наприклад, режим роботи меліоративних насосних станцій формується графіком водоподачі, що має значні коливання в часі на протязі доби і на протязі зрошувального сезону. Цим викликається необхідність регулювання подачі насосної станції. Регулювання подачі може також мати місце на насосних станціях різноманітного призначення.

Під регулюванням насоса розуміють процес довільної зміни його подачі для забезпечення необхідної її величини.

Зрошувальна мережа і насос утворюють єдину систему водопостачання, баланс у цій системі виражається умовою рівності подачі насоса витраті в зовнішній мережі, а також рівністю тиску насоса тиску, виникає у мережі.

Графічно умова балансу системи виражається точкою пересічення характеристик насоса і мережі. При даних характеристиках насоса і мережі існує лише одна крапка, що відповідає умовам стійкої рівноваги. Величина водоспоживання, як правило, змінюється в часі, відповідно до чого повинна переміщуватися робоча точка системи. З цією метою необхідно регулювати подачу насосів.

**Аналіз останніх досліджень.** Регулювання витрати - істотне завдання при автоматизації насосних станцій. Витрата повинна мінятися залежно від запиту на воду з боку споживачів або відповідно до заданого алгоритму управління.

Існує велика кількість різноманітних способів регулювання параметрів на насосних станціях. Деякі з них мають значне поширення, деякі (зважаючи на погані енергетичні показники) широкого застосування не отримали.

Розроблені різні методи регулювання за рахунок зміни характеристики мережі, які побудовані на принципі зміни гідравлічного опору рухомої рідини у трубопроводі, зміни схеми мережі, із застосуванням магнітогідродинамічних і ежекторних пристроїв.

Останнім часом набули значного розвитку системи частотного регулювання роботою насосних станцій.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Існуючі способи регулювання подачі насосних установок направлені на вирішення технологічних завдань водопостачання і практично не враховують енергетичних аспектів транспортування води по трубопроводній мережі. Недосконалі системи управління є причиною значних втрат електричної енергії і неефективного використання технологічного обладнання. Ці фактори спонукають до пошуку методів удосконалення регулювання подачі на насосних станціях. У статті приводиться аналітичне дослідження способів регулювання подачі на насосних станціях зрошення.

**Основна частина.** Так як робоча точка системи визначається характеристиками як насоса, так і мережі, то регулювати подачу можна за рахунок зміни характеристики насоса або насосної станції (якісний метод регулювання) або за рахунок зміни характеристики мережі (кількісний метод регулювання). Знаходять також застосування і комбіновані способи регулювання, при яких зміна характеристики насоса і зміна характеристики мережі відбуваються одночасно і взаємозв'язано.

До кількісних способів регулювання відносяться:

дроселювання напірної сторони насоса;  
дроселювання всмоктуючої сторони насоса;  
перепускання (байпасування);  
впускання повітря у всмоктуючу трубу насоса;  
авторегулювання (зміна статичної складової тиску).

До якісних способів регулювання відносяться:

зміна числа паралельно працюючих насосів;  
комбінацією включення паралельно працюючих насосів (вживання розмінних агрегатів).  
зміна частоти обертання робочого колеса;  
зміна ширини робочого колеса;  
обточування робочого колеса та інш.

Сутність *дроселювання* полягає у зменшенні тиску, що створюється насосом, за допомогою штучного гідравлічного опору, що вводиться в напірну (рис. 1а) або всмоктуючу(рис. 1б) мережу.

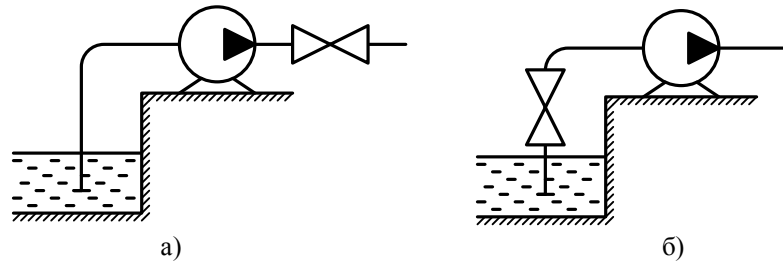


Рисунок 1 - Регулювання подачі насоса дроселюванням

Регулювання досягається частковим закриттям засувки на трубопроводі насоса. Даний спосіб є найбільш простим і поширеним, але в той же час найменш економічним, оскільки частина тиску, що створюється насосом, марно витрачається на подолання опору засувки і при цьому розсівається відповідна потужність.

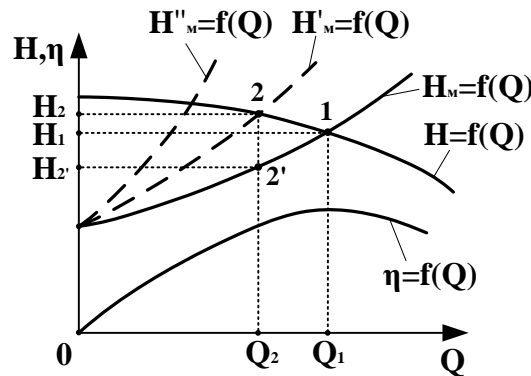


Рисунок 2 - Характеристики насоса і мережі при регулюванні дроселюванням напірної сторони

На рис. 2 показані характеристики насоса  $H=f(Q)$ , мережі  $H_m=f(Q)$ , ККД насоса  $\eta=f(Q)$ . Робочій точці 1 відповідає подача насоса  $Q_1$ . Якщо за умовами роботи системи в неї слід подавати рідину з витратою  $Q_2$ , меншою витрати  $Q_1$ , прикривають засувку на напірному патрубку насоса, зменшуючи його подачу (характеристики мережі  $H_m=f(Q)$ ,  $H'_m=f(Q)$ ,  $H''_m=f(Q)$  відповідають різній мірі відкриття засувки). Для визначення режиму роботи насоса з точки  $Q_2$  проведемо пряму, паралельну осі ординат. Вона пересіче характеристику системи в точці 2' і характеристику насоса – в точці 2. Різниця ординат цих точок ( $H_2-H_2'$ ) є зайвим тиском, що «гаситься» за рахунок створення додаткового опору засувкою [1-3].

Значення втрати потужності при такому регулюванні визначається за формулою

$$\Delta N = \frac{9,81 \cdot Q_2 \cdot (H_2 - H_2')}{\eta_2} \quad (1)$$

де  $Q_2$  – подача рідини в систему, за умовами роботи, м<sup>3</sup>/год.;  
 $(H_2-H_2')$  – тиск, що втрачається в засувці при дроселюванні, м;  
 $\eta_2$  – ККД насоса, що відповідає подачі  $Q_2$ .

Метод регулювання за допомогою встановлення засувки на всмоктуючому трубопроводі економічно є декілька вигіднішим, ніж регулювання за допомогою напірної засувки, але його вживання обмежене вимогою підтримки висоти всмоктування, менше граничної для забезпечення нормальної роботи насоса.

Прикриття засувки на всмоктуючій трубі рівнозначно збільшенню висоти всмоктування. Слід зазначити, що збільшення висоти всмоктування вище певних меж викликає кавітацію, робить роботу насоса нестійкою і створює небезпеку зриву роботи насоса [4].

При регулюванні подачі насоса способом перепусканням (байпасуванням) необхідна витрата рідини в системі забезпечується за рахунок відведення частини перекачуваної насосом рідини з напірного трубопроводу у всмоктуючий по перепускну трубопроводу (рис. 3).

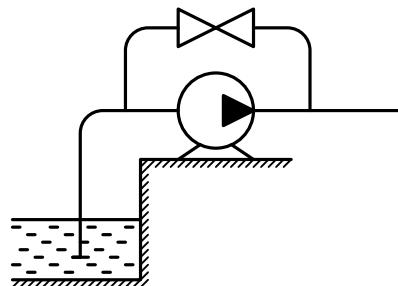


Рисунок 3 - Регулювання подачі насоса перепусканням

На рис. 4 представлені характеристики насоса  $H=f(Q)$  і  $N=f(Q)$ , мережі  $H_m=f(Q)$ , перепускного трубопроводу  $H_{пт}=f(Q)$ , сумарна характеристика мережі і перепускного трубопроводу  $H_{m+пт}=f(Q)$ . Якщо потрібно зменшити подачу в систему з  $Q_1$  до  $Q_2$ , відкривають клапан на перепускному трубопроводі. За рахунок введення паралельно основної лінії (крива  $H_m=f(Q)$ ) перепускного трубопроводу (крива  $H_{пт}=f(Q)$ ) сумарна характеристика мережі стане більш пологою (крива  $H_{m+пт}=f(Q)$ ) і спільна подача насоса збільшиться до значення  $Q_3$ . При цьому по байпасній лінії циркулюватиме витрата  $Q_4$ , а в мережу поступатиме витрата  $Q_2$ . Тиск, що розвивається насосом, зменшиться з  $H_1$  до величини  $H_2$ , а потужність - з величини  $N_1$  до  $N_2$ .

Даний спосіб регулювання більш економічний для насосів, в яких споживана потужність знижується із збільшенням подачі. У відцентрових насосів регулювання перепусканням приведе до зростання потужності насоса і може викликати перевантаження електродвигуна [2, 4].

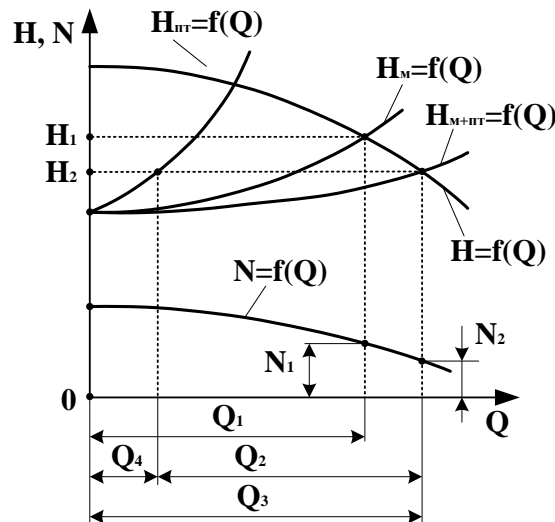


Рисунок 4 - Характеристики насоса і мережі при регулюванні перепусканням

При регулюванні перепусканням втрати витраченої потужності можна визначити по формулі

$$\Delta N = \frac{Q_{пт}}{Q_H} N_H \quad (2)$$

де  $Q_H$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/год.;

$Q_{пт}$  – витрата, що проходить через перепускний трубопровід, м<sup>3</sup>/год.;

$N_H$  – потужність, споживана насосним агрегатом, кВт.

Впускання повітря у всмоктуючу трубу насоса аналогічне способу регулювання засувкою на всмоктуючій трубі, оскільки впускання повітря зменшує вакуум, а, отже, і висоту всмоктування. Введене у всмоктуючу трубу повітря зменшує величину подачі води насосом на величину об'єму повітря. Суть цього способу приведено на рис. 5.

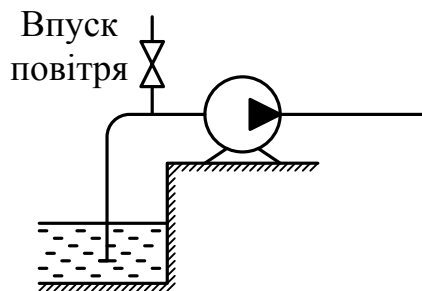


Рисунок 5 - Регулювання подачі насоса впусканням повітря

При потраплянні повітря в насос відбувається зсув вниз характеристики насоса  $H=f(Q)$  (рис. 6), тому можна підібрати режим роботи насоса, відповідний умовам подачі заданої витрати  $Q_2$ .

При впусканні повітря ККД насосної установки знижується тим більше, чим більше повітря потрапляє в насос, тобто чим більше  $K_v$  — відношення об'єму повітря до об'єму води.

Впускання повітря при невеликих змінах подачі — не менше 0,7 від оптимальної — є вигіднішим за дроселювання. Робота насоса за наявності повітря стає нестійкою, створюється небезпека розриву водяного стовпа у всмоктуючій лінії і можливість зриву роботи насоса [2, 4, 5, 6].

Принцип *авторегулювання* (зміни статичної складової тиску) побудовано на тому, що тиск насоса залежить від різниці рівнів води в нижньому і верхньому б'єфах. Проте рівень води в поверхневих джерелах не залишається постійним, оскільки залежить від гідрологічного режиму джерела.

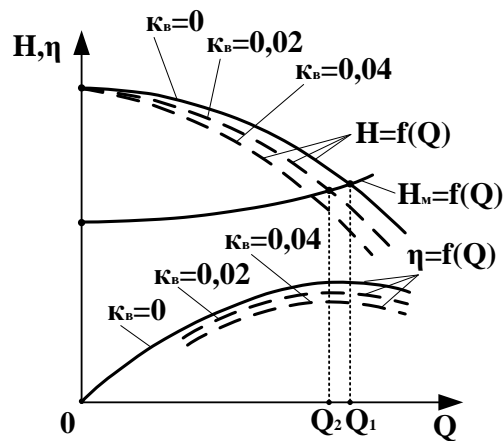


Рисунок 6 - Характеристики насоса і мережі при регулюванні впусканням повітря

На рис. 7 приведені характеристики насоса  $H=f(Q)$  і мережі  $H_m=f(Q)$  при статичному тиску  $H_r$ . Точка 1 пересічення характеристик насоса і мережі відповідає режиму роботи системи при максимальному рівні води в джерелі. Подача насоса рівна  $Q_1$ , тиск –  $H_1$ . При зниженні рівня води в джерелі збільшується висота всмоктування  $\Delta H_{bc}^2$ , що є частиною статичного тиску. З аналізу рівняння характеристики трубопроводу  $H = H_r + SQ^2$  витікає, що  $H_r$  — є координата вершини квадратичної параболи при  $Q = 0$ . Отже, при зростанні висоти всмоктування збільшується координата вершини характеристики трубопроводу на величину падіння рівня води в джерелі, тобто

$$H_r' = H_r + \Delta H_{bc}^2 \quad (3)$$

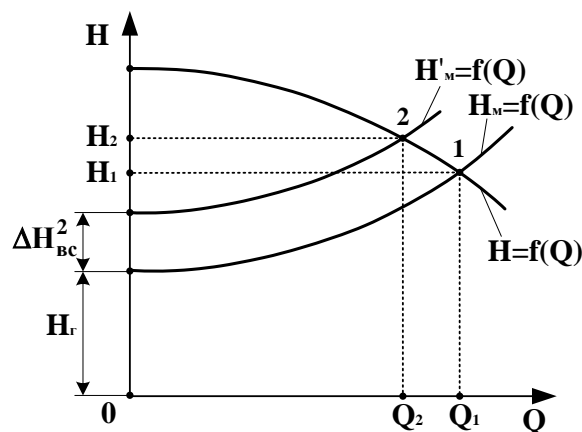


Рисунок 7 - Характеристики насоса і мережі при авторегулюванні

В даному випадку режим роботи системи водоподачі характеризується робочою точкою 2, що характеризується наступними параметрами  $Q_2$  і  $H_2$ . Таким чином, при пониженні рівня води в джерелі тиск насоса збільшується, а подача зменшується [2].

*Зміна числа паралельно працюючих насосів.* Необхідність в паралельній роботі насосів виникає у випадках, коли неможливо забезпечити необхідну витрату води подачею одного насоса. Регулювання витрати здійснюють зміною числа агрегатів. На насосних станціях встановлюють декілька однотипних насосних агрегатів. В цьому випадку крок подачі насосної станції відповідатиме подачі одного насосного агрегату. Необхідною умовою паралельної роботи насосів є рівність їх тисків. При паралельному з'єднанні декількох насосів витрату, що подається, можна регулювати зміною числа одночасно працюючих насосів. В зупинених насосів засувки на напірних лініях мають бути закриті.

Регулювання витрати води зміною числа паралельно працюючих насосів може відбуватись за різними принципами, в залежності від характеристик використовуваних на насосній станції насосів (круті або пологі характеристики), наприклад за тиском або витратами у напірній мережі. Враховуючи, що, як правило, застосовують насосні агрегати з пологою характеристикою, основним методом регулювання числа включених агрегатів насосної станції є метод регулювання за витратами. Характеристики насосної станції при регулюванні за витратами приведені на рис. 8.

При збільшенні витрати до величини  $Q_1$  (точка 1) запускається другий насосний агрегат, при збільшенні витрати до  $Q_2$  (точка 2) - третій і так далі. Зупинка насосних агрегатів відбувається в зворотному порядку (точки 2', 1') [7].

Для здійснення більш плавного регулювання застосовують розмінні агрегати, тобто один насос замінюється декількома, сумарна подача яких дорівнює подачі замінюваного насоса. Це дозволяє при незмінному загальному числі агрегатів значно підвищити плавність регулювання. Регулювання витрати здійснюють зміною не тільки числа, а і складу агрегатів.

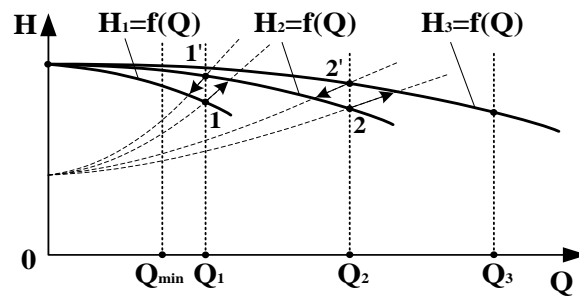


Рисунок 8 - Характеристики насоса і мережі при регулюванні зміною числа паралельно включених насосів

Із збільшенням числа можливих комбінацій, різнотипних агрегатів, що включаються, схема їх автоматичного вибору і перемикання декілька ускладнюється. Проте це ускладнення компенсується істотним поліпшенням технологічного режиму роботи. Цей спосіб регулювання витрати найбільш поширений, оскільки простий і не вимагає спеціального устаткування [7].

Регулювання зміною частоти обертання насосних агрегатів є найвигіднішим з економічної точки зору. Тиск, що розвивається відцентровим насосом залежить від частоти його обертання і витрати. При повністю закритій засувці потужність на валу насоса складає близько 40 % номінального. У міру відкриття засувки потужність зростає майже прямо пропорційно витраті. При регулюванні частоти обертання насоса тиск, що розвивається ним, можна привести у відповідність з тиском при даній витраті, не поглинаючи надлишковий тиск засувкою.

При зміні частоти обертання робочого колеса насоса з  $n_1$  до  $n_2$  його характеристики  $Q$ - $H$ ,  $Q$ - $N$ , і  $Q$ - $\eta$  змінюються за законом подібності:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3, \quad (4)$$

де  $Q_1, H_1, N_1$  – подача, тиск і потужність насоса, що відповідають частоті обертання робочого колеса  $n_1$ ;  
 $Q_2, H_2, N_2$  – подача, тиск і потужність насоса, що відповідають частоті обертання робочого колеса  $n_2$ .

При незмінній характеристиці мережі  $H_m = f(Q)$  (рис. 9) подача насоса зменшиться з  $Q_1$  до  $Q_2$  [3,7,8,9,10].

Оскільки у всіх режимах роботи тиск насоса дорівнює опору мережі, скорочуються непродуктивні втрати в системі. Економічність при регулюванні насосів зміною частоти обертання  $n$  знижується лише від того, що робоча точка системи при зміні  $n$  відхиляється від режиму максимального ККД. Це відхилення тим більше, чим більше статична складова опору мережі.

В більшості випадків насоси мають привід від асинхронних короткозамкнених електродвигунів, частота обертання яких не регулюється. Регулювати такі електродвигуни можна за рахунок зміни частоти в мережі, числа пар полюсів двигуна або ковзання [5].

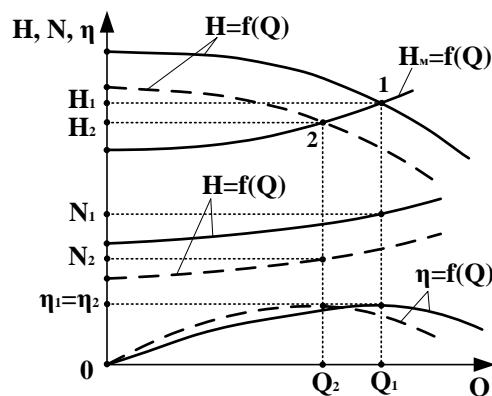


Рисунок 9 - Характеристики насоса і мережі при регулюванні зміною частоти обертання робочого колеса

Регулювання обточуванням робочого колеса використовують при необхідності пристосовування характеристик насосів до конкретних умов. Для цього найчастіше зменшують зовнішній діаметр робочого колеса шляхом обточування [3, 5]. При цьому зміну параметрів насоса визначають за наступними формулами

$$Q' = Q \left(\frac{D'_2}{D_2}\right), \quad H' = H \left(\frac{D'_2}{D_2}\right)^2, \quad N' = N \left(\frac{D'_2}{D_2}\right)^3, \quad (5)$$

де  $Q, H, N, D_2$  – номінальні подача, тиск, потужність і зовнішній діаметр робочого колеса (до обточування);  
 $Q', H', N', D'_2$  – те ж, після обточування.

Зміна характеристик насоса при обточуванні робочого колеса показана на рис. 10.

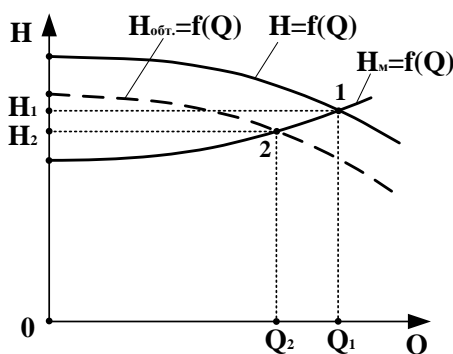


Рисунок 10 - Характеристики насоса і мережі при обточуванні робочого колеса

Як видно, обточування дає можливість змінити параметри насоса. Для насосів з меншою частотою обертання зменшення діаметру менше позначається на ККД [3].

**Висновки.** Приймати рішення про застосування одного із можливих способів регулювання роботи насосної станції необхідно на основі економічного порівняння можливих варіантів з врахуванням особливих вимог експлуатації насосів у кожному окремому випадку. Для того, щоб мати уяву про переваги і недоліки того або іншого способу регулювання роботи насосів, необхідно провести порівняння цих способів.

Якщо порівнювати якісні і кількісні способи регулювання можна зазначити, що при застосуванні останніх зниження ККД буде більш значним [9].

З погляду економічних показників значно ефективніший за інші є спосіб регулювання із застосуванням зміни частоти обертання робочого колеса насоса, із використанням частотно-регульованого приводу.

Застосування даного способу регулювання дає ряд додаткових переваг: забезпечення плавних пусків; значне зменшення зносу устаткування; усунення гідравлічних ударів у системі; підтримання оптимальних параметрів у мережі; можливість застосування автоматизованих систем.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кривченко Г.И. Гидравлические машины: турбины и насосы. 2-е изд. / Г.И. Кривченко. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
2. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции / П.В. Лобачев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1983. – 191 с.
3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.
4. Манькин А.Н. Автоматизация процессов водоснабжения в сельском хозяйстве / А.Н. Манькин, И.Ф. Булыга. – Мн.: Ураджай, 1988. – 72 с.
5. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б.Ф. Лямаев. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 256 с.
6. Грабовский А.М. Регулирование подачи насосов впускem воздуха во всасывающий патрубок / А.М. Грабовский, К.Ф. Иванов, Я.В. Пущенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 1971. – № 8. – С. 14-15.
7. Ганкин М.З. Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем / М.З. Ганкин. – М.: Агропромиздат, 1991 – 432 с.
8. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках / Б.С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 142 с.
9. Лопастные насосы: справочник / В.А. Зимницкий, А.В. Каплун, А.Н. Папир, А.В. Умов; Под общ. ред. В.А. Зимницкого и А.В. Умова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 334 с.
10. Михайлов А.К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2010

Рецензент: В.Ф. Сивокобиленко

С.В. ГАЛЬКО<sup>1</sup>, С.Д. МИРОНЕЦ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учебно-научный институт заочного и дистанционного образования

<sup>2</sup> Таври́йский государственный агротехнологический университет

**Аналитическое исследование способов регулирования подачи на насосных станциях орошения.** Работа посвящена аналитическому исследованию современных методов регулирования параметров насосных станций орошения. Рассмотрены особенности применения разных способов регулирования, преимущества и недостатки их использования.

S. GAL'KO<sup>1</sup>, S. MIRONETS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of extramural and distance Learning

<sup>2</sup> Tavriyskiy State Agrotechnological University

**An Analytical Research of the Methods of Adjusting the Supply on the Pumping Stations of Irrigation.** The article is devoted to the analytical research of modern methods of adjusting the parameters of pumping stations of irrigation. The peculiarities of application of different methods of adjusting, advantages and drawbacks of their use are considered.