

Ніколайчук О. М., к.т.н. доцент, Шинкарук Л. А., к.т.н. доцент, Орлов І. Ю., магістрант НУВГП (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ЗАКРИТТЯ ПОПЛАВКА-ЗАТВОРА ГІДРОАВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА РІВНЯ З ПОДОВЖЕНИМ ГІДРАВЛІЧНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Визначено час закриття поплавка-затвора гідроавтоматичного регулятора рівня з подовженим гідравлічним зв'язком. Доведено адекватність отриманих аналітичних залежностей.

Ключові слова: гідроавтоматичний регулятор, час закриття, поплавко-затвор, гідравлічний зв'язок.

Потреби в розвитку водних меліорацій визначаються потребами суспільства в рослинницькій продукції, збільшення якої в умовах України можливе тільки за рахунок інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, включаючи меліоративне освоєння посушливих і перезволожених земель [7].

Головними стратегічними напрямками меліорації земель на перспективу повинні стати всеохоплююча реконструкція і удосконалення існуючих систем, приведення до оптимального співвідношення зрошення і осушення з іншими меліоративними способами покращення властивостей землі і підвищення її родючості, застосування прогресивних водозберігаючих технологій водорегулювання і режимів зрошення [7].

На даний час в меліоративному землеробстві відбувся перехід до ринкових умов та приватної власності на землю, проведено розукрупнення водокористувачів, що вимагає нового підходу до реконструкції та модернізації меліоративних систем, особливо щодо управління ними та автоматизації технологічних процесів. Під час реконструкції та модернізації меліоративних систем необхідно орієнтуватися на децентралізовану систему управління технологічними процесами, застосовувати локальні системи автоматизації та розосереджені автоматизовані системи контролю технологічних параметрів.

Поєднання локальної системи автоматики на насосних станціях, що підлягають обов'язковій модернізації, з локальною роботою гідравлічних та електричних регуляторів на каналах, забезпечить надійну роботу меліоративних систем і дозволить оптимізувати споживання енергоресурсів.

Найбільш перспективними для умов Полісся України та його перехідної зони до Лісостепу є комбіновані осушувально-зволожувальні системи з попереджувальним шлюзуванням, неперервним зволожувальним шлюзуванням та періодичним зволожувальним шлюзуванням (циклічне підґрунтове зволоження).

Розробкою таких систем та їх елементів займалися ряд вчених. Янголь А.М. узагальнив практичний досвід двостороннього регулювання водного режиму осушуваних торф'яних і мінеральних ґрунтів. Розглядав причини які викликають потребу в зволоженні, методи і способи зволоження із відкритої та закритої мережі, ефективність проведення зволожувальних заходів [10]. Олійник О.Я., Поляков В.Л. одночасно з теоретичним аналізом рівня ґрунтових вод в умовах осушувально-зволожувальної мережі, вивчали дію дренажу з врахуванням глибокого рихлення і кротування [6]. Маслов Б.С., Станкевич В.С. детально розглядали конструкції осушувально-зволожувальних систем і ефективність їх використання [4]. Дмитрієв А.Ф., Хлапук М.М., Безусяк О.В. досліджували традиційні і нові конструкції дренажних трубопроводів при роботі їх в режимі осушення та підґрунтового зволоження [3]. Рокочинський А.М. розробив узагальнену характеристику режимів рівня ґрунтових вод і вологості, представлену в таблицях у вигляді

двовимірної матриці із вказаними технологіями регулювання [7]. Запропоновані Рокочинським А.М. режими рівня ґрунтових вод повинен забезпечувати гідроавтоматичний регулятор рівня. Яцик А.В. Рубан О.Ф. приділяли увагу модульним автоматизованим ОЗС, одну з яких було побудовано на меліоративній системі “Іква” Дубенського району Рівненської області [1]. Ця система була обладнана гідроавтоматичним регулятором рівня з подовженим гідравлічним зв'язком, що розроблений Яциком А.В. та Рубаном О.Ф. В роботах [9, 11] Хлапуком М.М., Яциком А.В., Рубаном О.Ф., Іващенко А.П. визначено оптимальні параметри гідроавтоматичного регулятора рівня, в роботі [8] описана методика водорегулювання на модульній автоматизованій ОЗС. Математична модель руху води в блоці автоматизованої ОЗС при підвищенні рівня води в колодязях розроблена в роботі [5].

Однією з невирішених наукових задач при цьому є визначення часу закриття поплавка-затвора гідроавтоматичного регулятора рівня з подовженим гідравлічним зв'язком.

Мета даної роботи – встановити аналітичні залежності для визначення часу закриття поплавка-затвора гідроавтоматичного регулятора рівня з подовженим гідравлічним зв'язком та експериментально визначити час закриття поплавка-затвора. Методами математичної статистики перевірити, що час закриття поплавка-затвора розрахований по аналітичних залежностях адекватний часу закриття поплавка-затвора, що визначений експериментально.

Аналітичні залежності для визначення часу закриття поплавка-затвора встановлені методом аналізу гідравлічних процесів, що відбуваються в ньому [2], для чого використано рівняння балансу об'єму води у поплавку-затворі. Рівень води у поплавку-затворі під час закриття постійно змінюється, тому систему розглядали в динаміці.

Для знаходження невідомих параметрів аналітичних залежностей визначення часу закриття поплавка-затвора, проведені гідравлічні дослідження дослідного зразка гідроавтоматичного регулятора рівня з подовженим гідравлічним зв'язком.

Методика експериментальних досліджень при визначенні часу відкриття поплавка-затвора наступна.

У поплавках встановлювали вхідний патрубок заданого діаметра. При відкритому затворі датчик-рівня та датчик-прискорювач знаходяться у відкритому положенні. У поплавку-затвора встановлюється мінімальна глибина води h_5 . Підвищували рівень води у моделі скидного колодязя вище норми осушення. Датчик-рівня подавав сигнал датчику-прискорювачу. Визначали проміжок часу t_2 від моменту спрацювання датчика-прискорювача до моменту початку закриття затвора. Час відкриття поплавка-затвора визначали за допомогою секундоміра „Слава”, клас точності 2, ціна поділки 0,1 с, похибка вимірювання $\pm 0,4$ с за 60 с.

Схема для розрахунку часу закриття поплавка-затвора представлена на рис. 1. Час закриття затвора t_2 це проміжок часу від моменту спрацювання датчика-прискорювача до моменту коли затвор почав закриватися.

Після закриття датчика-прискорювача глибина води у поплавку-затвора починає збільшуватися від мінімальної глибини води у ньому h_5 , до глибини при якій виконується умова рівноваги h_4 , і поплавки тоне. Час закриття затвора t_2 – це проміжок часу за який глибина води у поплавку-затвора збільшиться від мінімальної глибини води h_5 , до глибини h_4 при якій виконується умова рівноваги. Для знаходження часу закриття затвора використаємо рівняння балансу об'єму води у поплавку.

Об'єм води що надходить у поплавки визначається по залежності,

$$dW = \mu_1 \omega_1 \sqrt{2g(h_2 - h)} dt, \quad (1)$$

де μ_1 – коефіцієнт витрати вхідного патрубку;

ω_1 – площа поперечного перерізу вхідного патрубку;

h_2 – глибина занурення дна поплавка під вільну поверхню води;

h – довільна глибина води у поплавку;

Зміну об'єму води у поплавку можна також записати,

$$dW = S dh. \quad (2)$$

З врахуванням (1), рівняння (2) матиме вигляд,

$$Sdh = \mu_1 \omega_1 \sqrt{2g(h_2 - h)} dt. \quad (3)$$

Розв'яжемо рівня (3) відносно часу dt , отримаємо,

$$dt = \frac{S}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}} \cdot \frac{dh}{\sqrt{h_2 - h}}. \quad (4)$$

Позначимо момент часу спрацювання на закриття датчика-прискорювача через t_8 , а момент часу початку закриття затвора через t_9 .

Інтегруємо праву та ліву частину рівняння (4) в межах по часу від t_8 до t_9 , та в межах по глибині води у поплавку від h_5 до h_4 , отримаємо,

$$\int_{t_8}^{t_9} dt = \frac{S}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}} \int_{h_5}^{h_4} \frac{dh}{\sqrt{h_2 - h}}. \quad (5)$$

В лівій та правій частині рівняння (5) отримано табличні інтеграли які досить легко розв'язати,

$$t_9 - t_8 = \frac{2S}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}} (\sqrt{h_2 - h_4} - \sqrt{h_2 - h_5}). \quad (6)$$

Позначимо час закриття регулятора через,

$$t_2 = t_9 - t_8. \quad (7)$$

Тоді рівняння (7) матиме вигляд,

$$t_2 = \frac{2S}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}} (\sqrt{h_2 - h_4} - \sqrt{h_2 - h_5}). \quad (8)$$

Рівняння (8) дає можливість розрахувати час закриття поплавка-затвора.

Для проведення експериментальних досліджень побудовано експериментальну установку. Схема експериментальної установки приведена на рис. 2. До її складу входять наступні основні елементи: напірний бак, скляний лотік та зливна траншея. До установки вода подається по трубопроводу з напірного бака насосної станції з постійним напором по замкнутому циклу. Максимальна величина витрати води становить 500 л/с при напорі 3,5 м.

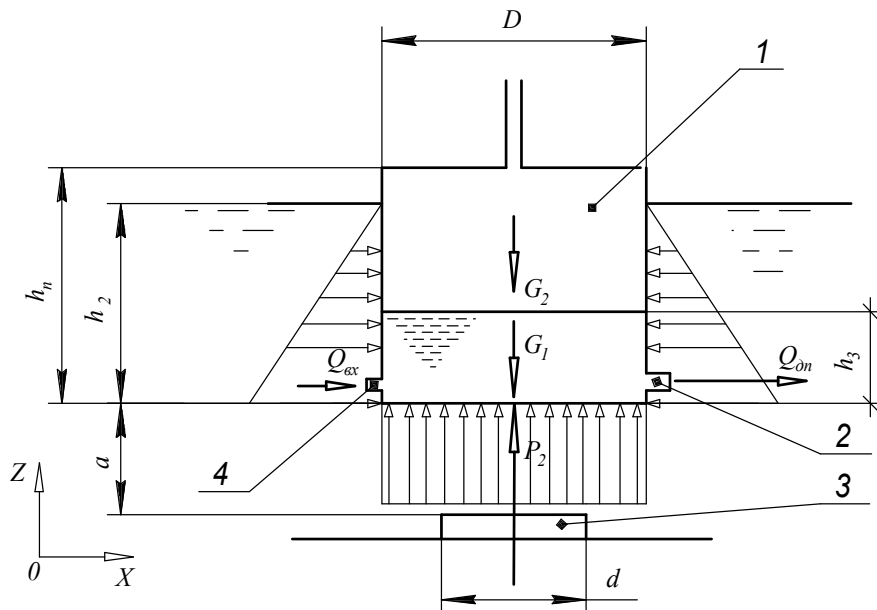


Рис. 1. Схема для розрахунку часу відкриття поплавка-затвора: 1 – поплавко-затвор; 2 – вихідний патрубок; 3 – кільцевий водозлив водопропускного лотка; 4 – вхідний патрубок

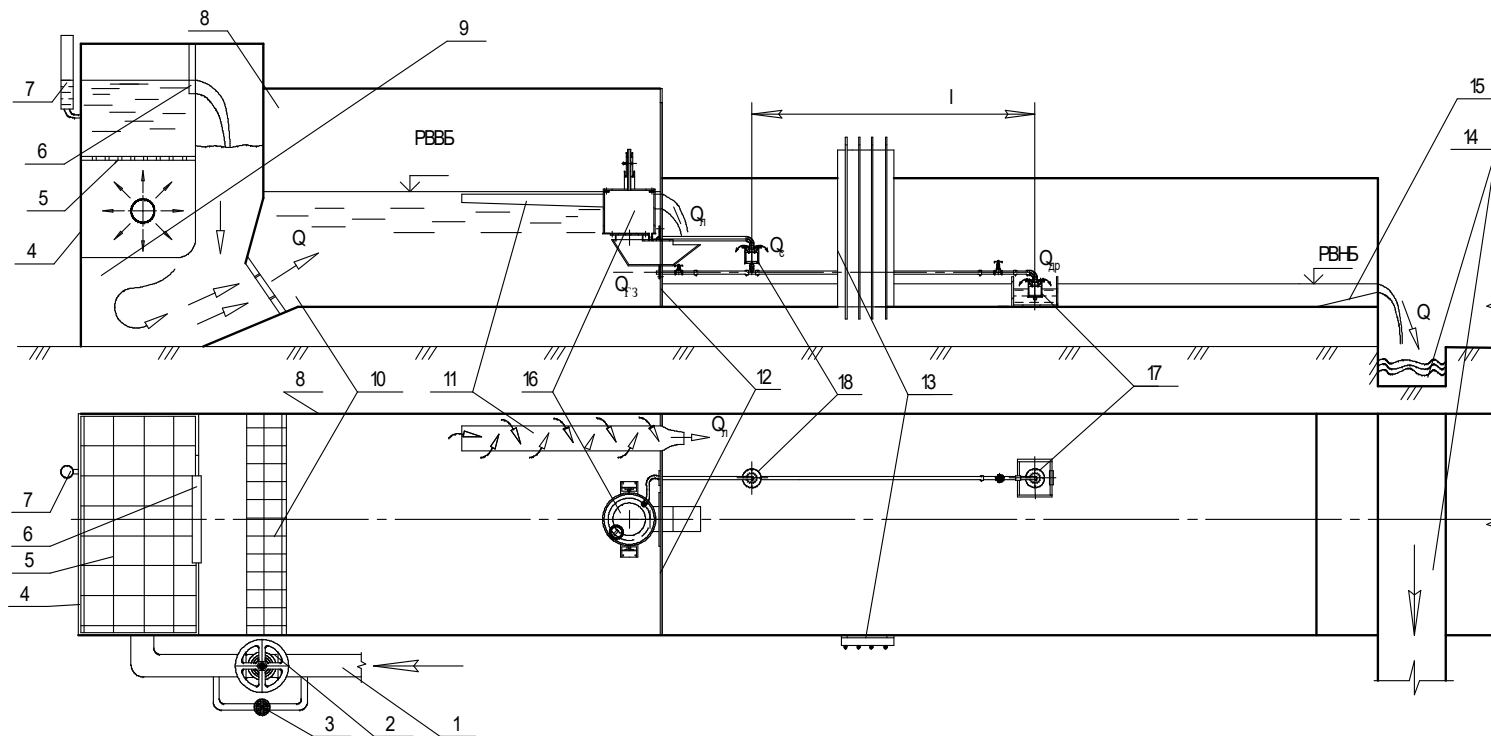


Рис. 2. Схема експериментальної установки: 1 – трубопровід для подачі води з напірного баку насосної станції; 2 – засувка для грубого регулювання витрати води; 3 – засувка для точного регулювання витрати води; 4 – напірний бак; 5 – решітка для гасіння енергії потоку; 6 – мірний трикутний водозлив; 7 – п'єзометр мірного трикутного водозливу; 8 – скляний лотік; 9 – камера для гасіння енергії потоку; 10 – решітка для гасіння енергії потоку; 11 – полігональний водозлив для підтримання заданого рівня води у верхньому б'єфі; 12 – перегороджувальна стінка скляного лотка; 13 – п'єзометричний щит; 14 – зливна траншея; 15 – клапанний затвор для регулювання рівня води у нижньому б'єфі; 16 – гідроавтоматичний регулятор рівня з подовженим гідравлічним зв'язком; 17 – датчик рівня; 18 – датчик-прискорювач

Регулювання витрати води до експериментальної установки виконується за допомогою засувки грубого та точного регулювання. Величину витрати визначено мірним трикутним водозливом, який розміщений в напірному баку. Напір на трикутному мірному водозливі контролювали за допомогою п'єзометра. Для гасіння енергії потоку в напірному баку та на вході в скляний лоток влаштовано дерев'яні решітки.

Скляний лоток призначений для розміщення в ньому гідравлічних моделей, в даному випадку гідроавтоматичного регулятора рівня води з подовженим гідравлічним зв'язком. Бічні стінки, що виготовлені зі скла, дають можливість спостерігати за гідравлічними процесами, що відбуваються при моделюванні гідравлічних явищ. Лоток розділено стінкою на верхній та нижній б'єфи. Його загальна довжина становить 40 м. Поперечний переріз лотка має прямокутну форму шириною 1 м і висотою 1,7 м у верхньому та 1 м у нижньому б'єфах. Для регулювання рівня води у нижньому б'єфі в кінці лотка влаштовано клапанний затвор. Контроль рівня води в лотку та рівня води в поплавку-затворі виконано за допомогою п'єзометричного щита. Відвід води з експериментальної установки і повернення її в приймальну ємність насосної станції здійснює зливна траншея.

Метою експериментального дослідження є визначення часу закриття затвора t_2 від моменту спрацювання датчика-прискорювача, до моменту коли затвор почав закриватися, в залежності від діаметра вхідного патрубку d_1 . Діаметр вхідного патрубку приймали 6,2; 9,1; 12,6; 15,7, мм.

Експериментальні дослідження проводили згідно матриці плану експерименту. Для виключення систематичних похибок досліди проводили у випадковій послідовності. Порядок проведення дослідів вибраний по таблиці випадкових чисел. Для зменшення впливу випадкових похибок на результати досліджень виконано трьохкратне повторення дослідів.

Методика проведення експерименту наступна. При відкритому затворі датчик рівня та датчик-прискорювач знаходяться у відкритому положенні. У поплавку-затвора встановлюється мінімальна глибина води h_5 . Попередньо у поплавок встановлювали вхідний патрубок заданого діаметра. Підвищували рівень води у моделі скидного колодезя вище норми осушення. Датчик рівня спрацював на відкриття, внаслідок чого спрацює датчик-прискорювач. Визначали проміжок часу t_2 від моменту спрацювання датчика-прискорювача до моменту початку закриття поплавку-затвора. Експериментальні дані та результати статистичної обробки наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні дані та результати статистичної обробки при визначенні часу закриття затвора

Діаметр d_{1i} , мм	Час закриття затвора $t_{2,ij}$, с			$t_{2, i}$, с	S_i^2 , с
	$t_{2, i1}$	$t_{2, i2}$	$t_{2, i3}$		
6,2	358	363	362	361	7,00
9,1	153	155	159	156	9,33
12,6	65	66	61	64	7,00
15,7	22	25	26	24	4,33
21,2	—	—	—	—	—

Примітка. Кількість повторних дослідів $m=3$; кількість проведених дослідів $N=12$; рівень значимості $p=0,05$; дисперсія відтворюваності експерименту $S_B^2=6,92$ с; кількість степенів вільності дисперсії відтворюваності $f=8$; дисперсія адекватності $S_A^2=11,88$ с; кількість степенів вільності дисперсії адекватності $f=8$; розрахункове значення критерію Фішера $F=1,72$; табличне значення критерію Фішера $F=3,5$; квантиль розподілу Стьюдента $t=2,31$; двосторонній інтервал довіри $\Delta t = \pm 5$ с.

По теоретично отриманому рівнянню та отриманих результатах експериментальних досліджень побудовано два графіка (Рис. 3).

Графік залежності часу закриття затвора t_2 від діаметра вхідного патрубку d_1 . Цей графік має конструктивне значення, оскільки дає можливість підібрати потрібний діаметр вхідного патрубку d_1 . На графіку видно що при збільшенні діаметра вхідного патрубку d_1 в межах від 6,2 мм до 15,7 мм час закриття затвора зменшується. Це пояснюється тим, що при більшому діаметрі вхідного патрубку d_1 , поплавко-затвора швидше наповнюється водою до глибини води h_4 при якій він тоне, а тому час закриття зменшується.

Графік залежності часу закриття затвора t_2 від відношення пропускної здатності вхідного патрубку $\mu_1\omega_1$, до пропускної здатності вихідного трубопроводу $\mu_2\omega_2$, має теоретичне значення. Він показує що при збільшенні відношення $\mu_1\omega_1/(\mu_2\omega_2)$ від 0,1 до 0,620 час закриття зменшується. Це пояснюється тим що при збільшенні відношення $\mu_1\omega_1/(\mu_2\omega_2)$ поплавко-затвора швидше наповнюється водою до глибини води h_4 при якій він тоне, а тому час закриття зменшується. Затвор буде закриватися в будь-якому випадку тому, що вихідний патрубок щільно перекривається датчиком-прискорювачем, і витікання води із поплавка-затвора відсутнє взагалі.

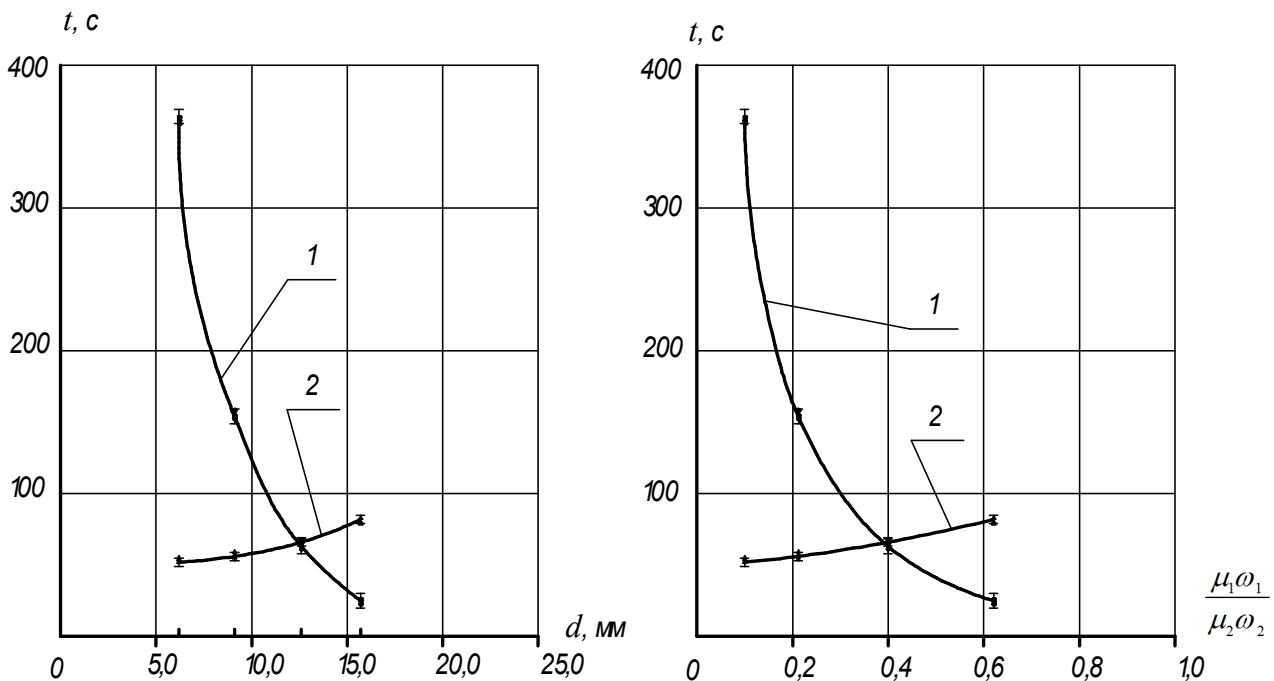


Рис. 3. Графік залежності часу закриття затвора t_1 від діаметра вхідного патрубку d_1 , та від відношення пропускної здатності вхідного патрубку $\mu_1\omega_1$, до пропускної здатності вихідного трубопроводу $\mu_2\omega_2$

1. А. с. 1497350 (СССР).осушительно-увлажнительная система. А. Ф. Рубан, А. В. Яцик – Бюл. – 1989. № 28.
2. Бочкарев Я. В. Эксплуатационная гидрометрия и автоматизация оросительных систем / Я. В. Бочкарев. – М. : Агропромиздат, 1987. – 172 с.
3. Дмитриев А. Ф., Безусьяк А. В., Хлапук Н. Н. – Совершенствование осушительно-увлажнительных систем. – Львов : Свит, 1992. – 176 с.
4. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я. – Осушительно-увлажнительные системы. – М. : Колос, 1981. – 280 с.
5. Ніколайчук О. М. Математична модель динамічних процесів руху води в блоці модульної автоматизованої осушувально-зволожувальної системи. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Збірник наукових праць. – Вип. 2 (38). – Рівне, 2007.

6. Олейник А. Я., Поляков В. Л., – Дренаж переувлажненных земель. / АН УССР, Ин-т гидромеханики. – Киев : Наук. думка, 1987. – 279 с.
7. Рокочинський А. М. Наукові і практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: Монографія / За редакцією академіка УААН Ромащенко М. І. – Рівне : НУВГП, 2010. – 351 с.
8. Хлапук М. М., Ніколайчук О. М. Моделирование гидравлических процессов в гидроавтоматизированной, модульной, осушительно-звлагожувальной системе. // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Збірник наукових праць. – Вип. 30. – Рівне, 2005.
9. Хлапук М. М., Яцик А. В., Стасюк Я. П., Іващенко А. П., Гусак С. В. Гідроавтоматичний регулятор рівнів води в модульних осушительно-звлагожувальних системах. // Науково-технічний збірник. – Вип. 22. – Рівне, 1997.
10. Яноголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. – М. : Колос, 1970. – 136 с.
11. Яцик А. В., Рубан О. Ф., Хлапук М. М., Стасюк Я. П. Гідроавтоматизовані модульні осушительно-звлагожувальні системи. // Меліорація і водне господарство. – Вип. 83.

Рецензент: д.т.н., професор Хлапук М. М. (НУВГП)

Nikolaichuk O. M., Candidate of Engineering, Associate Professor, Shynkaruk L. A., Candidate of Engineering, Associate Professor, Orlov I. Y., Graduate Student (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

RESEARCH CLOSING TIME SHUTTER HYDRO-FLOAT LEVEL CONTROLLER WITH LONG HYDRAULIC CONNECTION

The time of the closing of the float-valve hydro-automatic level control with extended hydraulic coupling. We prove the adequacy of the obtained analytical dependences.

Keywords: hydro-regulator, closing, float valve, hydraulic connection.

Николайчук О. Н., к.т.н., доцент, Шинкарук Л. А., к.т.н., доцент, Орлов И. Ю. магистрант НУВХП (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАКРЫТИЯ ПОПЛАВКА-ЗАТВОРА ГИДРОАВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ С УДЛИНЕННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

Определено время закрытия поплавка-затвора гидроавтоматического регулятора уровня с удлинённой гидравлической связью. Доказано адекватность полученных аналитических зависимостей.

Ключевые слова: гидроавтоматический регулятор, время закрытия, поплавков-затвор, гидравлическая связь.