

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧАСУ ЗАКРИВАННЯ ПОПЛАВКА-ЗАТВОРА НА ГІДРАВЛІЧНІЙ МОДЕЛІ РЕГУЛЯТОРА РІВНЯ ВОДИ

Олександр Богуш

Національний університет водного господарства та природокористування
вулиця Соборна, 11, Рівне, Рівненська область, 33000, Україна
o.o.bohush@nuwm.edu.ua, orcid.org/0009-0007-3268-5437

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.51.4-11

Анотація. У статті представлено результати теоретичних досліджень процесу закриття поплавка-затвора гідроавтоматичного регулятора рівня води. Розроблено математичну модель, що описує зміну об'єму води у поплавку-затворі у часі та дозволяє визначити час процесу закриття. Основну увагу приділено впливу діаметра вхідного патрубку, початкової глибини занурення поплавка та матеріалу його виготовлення. За результатами моделювання встановлено, що зі збільшенням діаметра вхідного патрубку час закриття зменшується, а зі збільшенням початкової глибини занурення – зростає. Порівняння металевих та пластикових поплавків показало, що пластиковий має більший час спрацювання, що зумовлено меншою масою та більшою плавучістю. Отримані залежності можуть бути використані для вдосконалення конструкцій регуляторів рівня води та підвищення ефективності їх роботи в осушувально-зволожувальних системах.

Ключові слова: гідроавтоматичний регулятор рівня, поплавок-затвор, час закриття, математична модель, діаметр патрубка, осушувально-зволожувальна система.

ВСТУП

У сучасних умовах осушувально- зволожувальні системи вимагають ефективного автоматичного регулювання рівня води. Одним із таких засобів є гідроавтоматичний регулятор рівня ґрунтових вод типу АРУ 200Ц, робота якого тісно пов'язана на взаємодії поплавка затвора, датчиків рівня та гідрозв'язка. Ці три елементи системи забезпечують необхідний водний режим осушувально-зволожувальної системи. [9-11]

Досліджували, і, свого часу працювали над розробкою гідроавтоматичних регулюючих пристроїв, які використовуються на осушувально-зволожувальних системах, та вивчали проблеми прийняття рішень в задачах управління зрошенням вітчизняні вчені, а саме: М.М. Хлапук , А.В. Яцик, О. М. Ніколайчук , П.І. Коваленко, М.О. Лазарчук ,

В.Й. Пастушенко, В.В. Чернюк, А.М. Рокочинський, С.К. Матус, Б.О. Баховець, О.І. Жовтоног та Філіпенко Л.А, П.І. Ковальчук, О.М. Наумчук , О.Я. Олійник , А.Ф. Рубан, Б.І. Чалий, О.І. Тищенко, та інші. [5, 10, 13]

Одним із визначальних параметрів є час закриття поплавка-затвора, від якого залежить швидкість реакції системи на зміну рівня води та стабільність підтримання заданого рівня. Надто швидке або повільне закриття може призвести до коливань рівня, перевитрат води. [7]

Дослідження часу закриття поплавка-затвора, аналіз впливу основних конструктивних та гідравлічних параметрів, таких як: діаметра вхідного патрубку, початкової глибини занурення поплавка та матеріалу виготовлення, вказують нам на динаміку гідромеханічного процесу. Побудова відповідної

математичної моделі дозволяє оцінити ці впливи й обґрунтувати рекомендації для вдосконалення конструкції гідроавтоматичних регуляторів рівня води. [8-9]

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Одними із основних технічних характеристик є швидкодія регулятора від якого залежить безпосередньо ефективність роботи і час спрацювання системи.

Час закриття поплавка-затвора наведено на рис. 1. Під часом відкриття t_2 розуміють

проміжок від моменту спрацювання датчика-прискорювача до моменту коли поплавок затвор почав закриватись. У цей період рівень води в поплавку-затворі підвищується від мінімально можливої величини h_5 , яка відповідає положенню поплавка у відкритому положенні, до значення h_4 , при якому виконується умова рівноваги поплавка-затвора. Таким чином, час закриття t_2 визначається як інтервал, протягом якого глибина води в поплавку збільшиться від h_5 до h_4 .

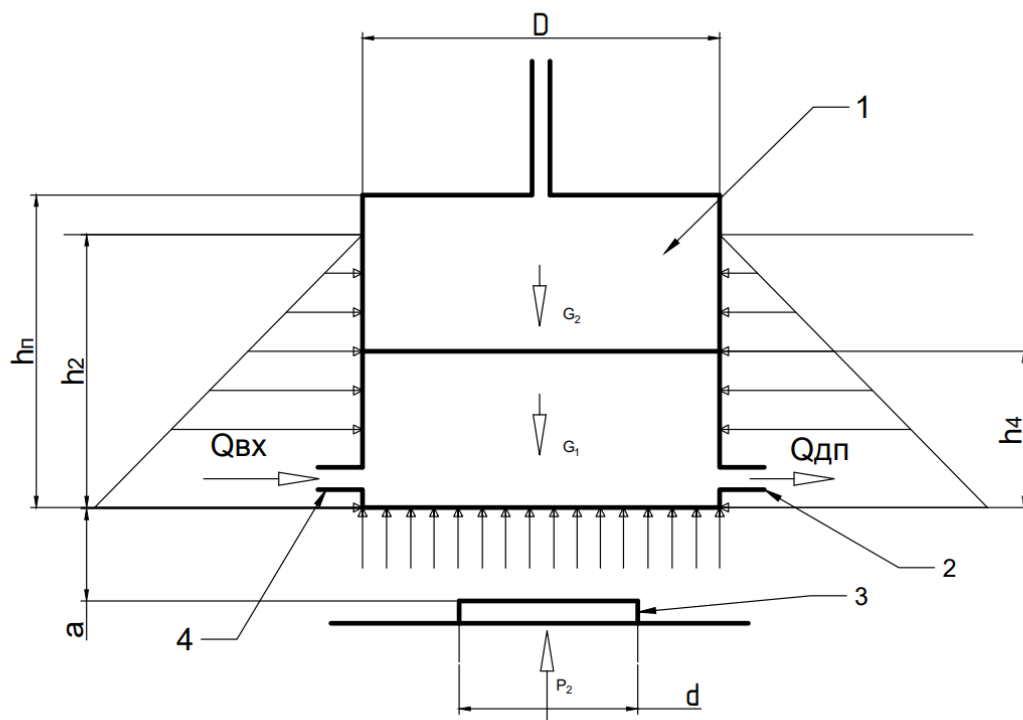


Рис. 1. Схема для розрахунку часу закриття поплавка-затвора: 1 – поплавок-затвор; 2 – вихідний патрубок; 3 – кільцевий водозлив водопропускного лотка; 4 – вхідний патрубок

Fig. 1. Diagram for calculating the closing time of the float-gate: 1 – float-gate; 2 – outlet pipe; 3 – annular spillway of the water passage trough; 4 – inlet pipe

Для знаходження часу закриття затвора використаємо рівняння балансу об'єму води у поплавку.[16-17]

Об'єм води що надходить у поплавок визначається по залежності:

$$Q_{\text{BX}} = \mu_1 s_1 \sqrt{2g(h_2 - h)}, \quad (1)$$

де μ_1 – коефіцієнт витрати вхідного патрубка;

S_1 – площа поперечного перерізу вхідного патрубку;

h_2 – глибина занурення дна поплавка під вільну поверхню води;

h – довільна глибина води у поплавку;

Зміна об'єму води у поплавку буде рівною:

$$S \frac{dh}{dt} = Q_{\text{BX}}. \quad (2)$$

Підставляємо вирази:

$$S \frac{dh}{dt} = \mu_1 s_1 \sqrt{2g(h_2 - h)}. \quad (3)$$

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

$$dt = \frac{S}{\mu_1 s_1 \sqrt{2g}} \cdot \frac{dh}{\sqrt{h_2 - h}}. \quad (4)$$

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:

$$\int_{t_8}^{t_9} dt = \frac{S}{\mu_1 s_1 \sqrt{2g}} \cdot \int_{h_5}^{h_4} \frac{dh}{\sqrt{h_2 - h}}. \quad (5)$$

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

$$t_9 - t_8 = \frac{2S}{\mu_1 s_1 \sqrt{2g}} \cdot (\sqrt{h_2 - h_4} - \sqrt{h_2 - h_5}). \quad (6)$$

Позначимо час закриття регулятора через

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

Тоді рівняння (7) матиме вигляд,

$$t_2 = \frac{2S}{\mu_1 s_1 \sqrt{2g}} \cdot (\sqrt{h_2 - h_4} - \sqrt{h_2 - h_5}). \quad (8)$$

Метою дослідження є визначення часу закриття затвора регулятора рівня води t_2 – це проміжок часу від моменту спрацювання датчика-прискорювача до того коли поплавок-затвор регулятора почав тонути і перекривати водозливний лоток. Основну увагу приділяють діаметру вхідного патрубку d_1 тому що він напряму впливає на тривалість цього процесу.

Для дослідження було вибрано чотири значення вхідного діаметра 6,2; 9,1; 12,6; 15,7, 21,2 мм. Шість рівнів початкового занурення від 0,25 м. – 0,35 м. А також два матеріали виготовлення метал і ПВХ-пластик.

Для дослідження ми приймаємо наступне. При відкритому датчику рівня і датчику-прискорювачу, ми маємо мінімальний рівень води в поплавку – затворі h_5 . Тому відлік часу t_2 починається саме з моменту спрацювання датчиків і до моменту поки поплавок-затвор не закрив водозливний лоток.

Результати дослідження подані в табл. 1.

На основі отриманих результатів даних отримуємо, що зі збільшенням діаметра d_1 час закриття поплавка затвора зменшується. Це пояснюється тим, що більший діаметр забезпечує більше надходження води в поплавок затвор, який швидше досягає рівня h_4 , при якому він починає закриватись. [14]

Водночас спостерігається закономірність гарантованого закриття поплавка-затвора у всіх випадках, оскільки ми приймаємо $Q_{\text{вих}} = Q_{\text{дп}} = 0$ тобто вихідний патрубок перекритий датчиком- прискорювачем.

Для визначення впливу глибини занурення на час закриття поплавка-затвора було проведено розрахунки для різними рівнями початкового занурення h_2 , які були прийняті 0,25 м – 0,35 м.

Для кожного рівня занурення було визначено час закриття t_2 , у залежності від діаметра вхідного патрубка d_1 .

Дослідження проводились для двох типів матеріалів поплавка-затвора металевого і з ПВХ-пластику.

У результаті ми отримали серію даних і на основі цих даних було побудовані графіки залежності часу закриття t_2 від діаметра патрубка d_1 для різних h_2 (рис. 2, рис. 3).

Табл. 1. Дані та результати статистичної обробки даних при визначенні часу закриття затвора
Table 1. Data and results of statistical processing when determining the gate closing time

h_2	h_4 метал	h_4 пластик	h_5	Діаметр d_1 , мм	t_{2i} , для металу	t_{2i} , для пластику
0,25	0,131	0,21	0,006	6,2	348,59	539,60
			0,01	9,1	156,09	244,75
			0,035	12,6	63,25	109,50
			0,075	15,7	23,04	52,83
			0,12	21,2	2,40	18,74
h_2	h_4 метал	h_4 пластик	h_5	Діаметр d_1 , мм	t_{2i} , для металу	t_{2i} , для пластику
0,27	0,151	0,23	0,006	6,2	386,80	569,30
			0,01	9,1	174,04	258,75
			0,035	12,6	73,25	117,43
			0,075	15,7	30,03	58,49
			0,12	21,2	6,52	22,13
h_2	h_4 метал	h_4 пластик	h_5	Діаметр d_1 , мм	t_{2i} , для металу	t_{2i} , для пластику
0,29	0,171	0,25	0,006	6,2	422,58	597,61
			0,01	9,1	190,83	272,08
			0,035	12,6	82,58	124,96
			0,075	15,7	36,55	63,84
			0,12	21,2	10,36	25,33
h_2	h_4 метал	h_4 пластик	h_5	Діаметр d_1 , мм	t_{2i} , для металу	t_{2i} , для пластику
0,31	0,191	0,27	0,006	6,2	456,30	624,70
			0,01	9,1	206,66	284,83
			0,035	12,6	91,35	132,12
			0,075	15,7	42,66	68,92
			0,12	21,2	13,95	28,35
h_2	h_4 метал	h_4 пластик	h_5	Діаметр d_1 , мм	t_{2i} , для металу	t_{2i} , для пластику
0,33	0,211	0,29	0,006	6,2	488,24	650,73
			0,01	9,1	221,64	297,06
			0,035	12,6	99,64	138,98
			0,075	15,7	48,42	73,76
			0,12	21,2	17,34	31,23
h_2	h_4 метал	h_4 пластик	h_5	Діаметр d_1 , мм	t_{2i} , для металу	t_{2i} , для пластику
0,35	0,231	0,31	0,006	6,2	518,64	675,79
			0,01	9,1	235,89	308,84
			0,035	12,6	107,51	145,56
			0,075	15,7	53,89	78,39
			0,12	21,2	20,54	33,98

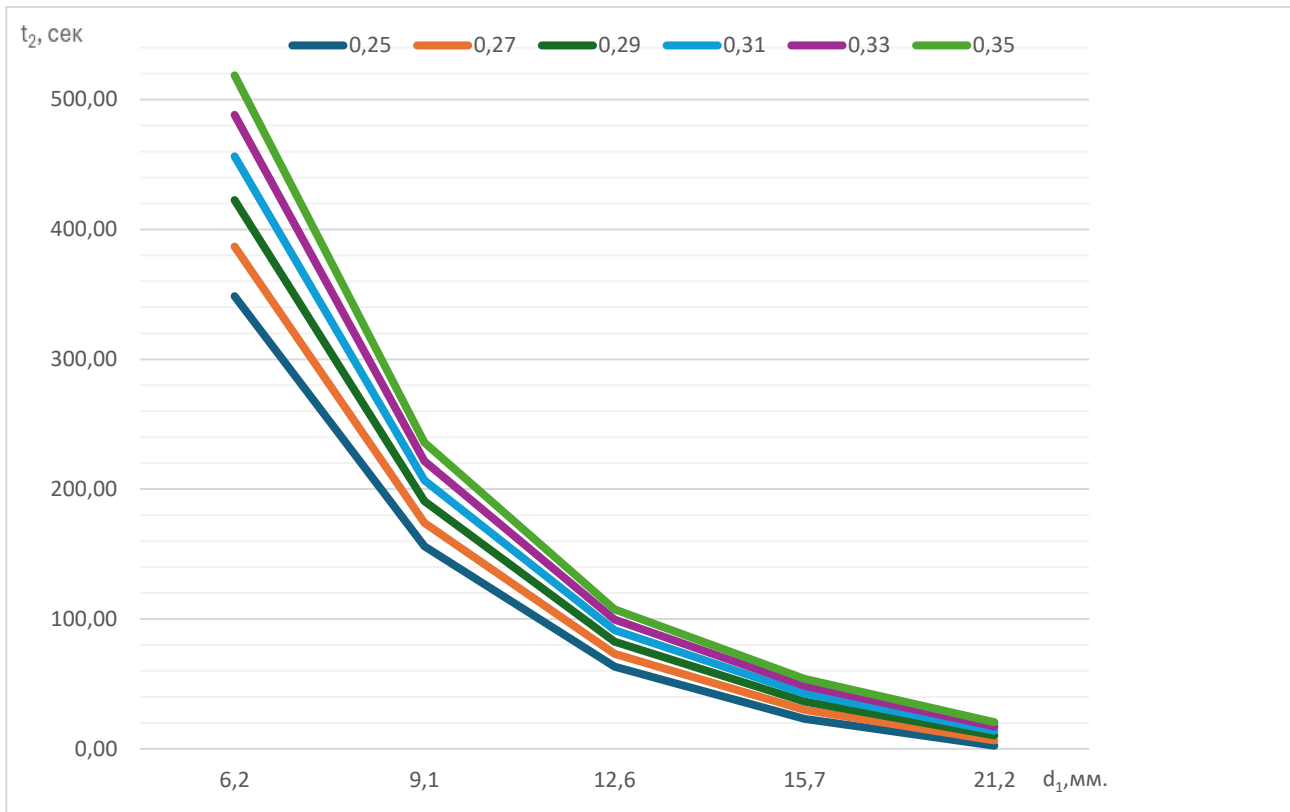


Рис. 2. Графік залежності $t_2 = f(d_1, h_2)$ для металевого поплавка-завтора

Fig. 2. Graph of the dependence $t_2 = f(d_1, h_2)$ for the metal float-gate

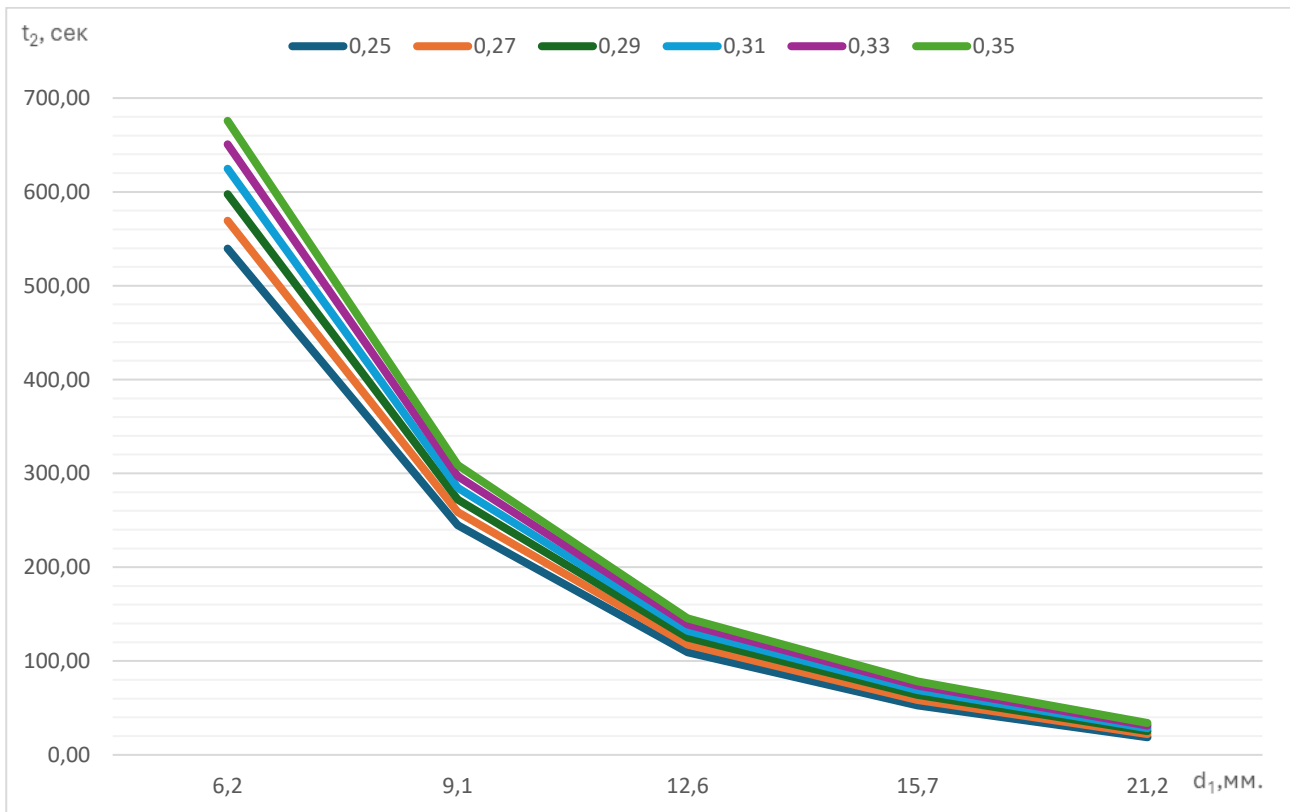


Рис. 3. Графік залежності $t_2 = f(d_1, h_2)$ для пластикового поплавка-завтора

Fig. 3. Graph of the dependence $t_2 = f(d_1, h_2)$ for the plastic float-gate

ВИСНОВКИ

Зі збільшенням d_1 час t_2 зменшується, що пов'язано з інтенсивнішим надходженням води до поплавка.

Зі збільшенням початкової глибини занурення h_2 час закриття t_2 закономірно зростає для обох матеріалів. Це пояснюється тим, що при збільшенні h_2 пропорційно зростає об'єм води який потрібно для досягнення рівня h_4 , а відповідно і зростає інерційність процесу.

Матеріал затвора також суттєво впливає на час його закриття.

Для пластикового затвора час закриття завжди більший, ніж для металевого, при однакових умовах. Це пояснюється меншою масою та більшою плавучістю.

Зі збільшенням діаметра d_1 (від 6,2 мм до 21,2 мм) час закриття різко зменшується. Аналогічна тенденція спостерігається і для пластику.

Із збільшенням початкового занурення h_2 (від 0,25 м до 0,35 м) час закриття поплавка-затвора зростає: як для металевого, так і для пластикового варіанта. Це пояснюється тим, що зі збільшенням глибини занурення зростає підйомна сила, і затвору більший рівень води h_4 , щоб зрівноважити сили тому потрібно більше часу, щоб повністю закритися.

Відношення часу закриття пластику до металу в середньому складає $\sim 1,4\text{--}1,5$ рази. Тобто пластик у всіх випадках закривається повільніше.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Ніколайчук О. М.** Математична модель динаміки зміни рівнів води в колодязях осушувально-зволожувальної системи при регулюванні норми осушення / О. М. Ніколайчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. Рівне, 2007. Вип. 3 (39), ч. 2. С. 107–117.
2. **Пастушенко В. Й., Стеценко А. М.** Автоматизована система управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур при підгрунтового зволоженні // Вісник Інженерної академії наук України. 2009. № 1. С. 177–183.
3. **Хлапук М. М., Ніколайчук О. В.** Моделювання гідравлічних процесів у гідроавтоматизованій модульній осушувально-зволожувальній системі // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць. Рівне, 2005. Вип. 30. С. 142–152.
4. **Матус С. К.** Удосконалення водорегулювання на автоматизованих осушувально-зволожувальних системах з урахуванням рельєфної диференціації території : дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Світлана Костянтинівна Матус. Рівне, 2013. 208 с.
5. **Чалий Б., Мозоль Н.** Проектування осушувально-зволожувальних систем блочно-модульного типу // Водне господарство України. 2009. № 6. С. 55–58.
6. **Хлапук М. М., Ткачук М. М., Шинкарук Л. А., Дем'янюк А. В.** Регулювання водного режиму ґрунтів дренажними системами в гумідній зоні // Вісник НУВГП. Технічні науки. 2022. Вип. 4 (100). С. 3–13.
7. **Наумчук О. М.** Удосконалення процесів водорегулювання на осушувально-зволожувальних системах засобами гідравлічної автоматизації : дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Олександр Миколайович Наумчук. Рівне, 2007. 218 с.
8. **Ніколайчук О. М.** Дослідження рівноваги сил, що діють на відкритий поплавок затвора гідроавтоматичного регулятора рівня АРУ-200Ц / О. М. Ніколайчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. Рівне, 2009. Вип. 3 (47), ч. 1. С. 407–413.
9. **Науменко І. І., Мороз С. М., Волощук В. А.** Пропускна здатність насадків та отворів, влаштованих у трубопроводах-збирачах // Вісник Української державної академії водного господарства : зб. наук. пр. Рівне, 1999. вип. 2, ч. 1. С. 182–185.
10. **Чернюк В. В.** Диференціальне рівняння руху рідини зі змінною масою з урахуванням реакції на зміну витрати // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування. Рівне : УДУВГП, 2002. Вип. 5 (18). С. 196–201.
11. **Жацик А. В.** Моделювання та автоматизація гідротехнічних процесів : монографія. Рівне : НУВГП, 2014. 260 с.
12. **Islam A., Raghuwanshi N. S., Singh R.** Development and application of hydraulic simulation model for irrigation canal network // Journal of irrigation and drainage engineering, 2008, 134(1), 49–59.

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2008\)134:1\(49\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2008)134:1(49))

13. **Гевко Б. М.**, [та ін.] Гідропривод і гідроавтоматика сільськогосподарської техніки : посіб. Тернопіль : Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 381 с.
14. **Жацик А. В.** Сучасні технології управління водними режимами в меліоративних системах : монографія. Рівне : НУБГП, 2018. 268 с.
15. **Луценко В. В.** Технічна механіка рідини і газу в тестах і задачах : навч. посіб. / В. В. Луценко; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. Рівне : НУБГП, 2015. 193 с.
16. **Concaret J.** Drainage Agricole. Théorie et pratique / J. Concaret. Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, 1981. 509 p.
17. **Eckert M.** The dawn of fluid dynamics : a discipline between science and technology / M. Eckert. Weinheim : Wiley-VCH, 2005. <https://doi.org/10.1002/9783527610730>
18. **Heyden T., Pates R., Rantzer A.** A structured optimal controller for irrigation networks [Електронний ресурс] // arXiv. 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2203.16575>
19. **Martin D. L., Heerman D. F., Madison M.** Hydraulics of sprinkler and microirrigation systems. Design and operation of farm irrigation systems, 2nd Edition, 2007. P. 532-556. <https://doi.org/10.13031/2013.23698>
20. **Sun L., Leng G., Chanson H.** Low-head hydraulic structures in irrigation and drainage engineering: challenging operation and design implications // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 2016. № 142(12). <https://doi.org/10.1061/JIDEDH.IRENG-10288>

REFERENCES

1. **Nikolaychuk, O. M. (2007).** Matematychna model dynamiky zminy rivniv vody v kolodiazakh osushuvalno-zvolozhuvalnoi systemy pry rehuliuванні normy osushennia [Mathematical model of the dynamics of water level changes in wells of a drainage-irrigation system during drainage control]. *Visnyk NUVHP*, 3(39), 2, 107–117. [in Ukrainian]
2. **Pastushenko, V. Y., & Stetsenko, A. M. (2009).** Avtomatyzovana systema upravlinnia volohozabezpechenistiu silskohospodarskykh kultur pry pidgruntovomu zvolozhenni [Automated system of moisture supply control for crops under subsurface irrigation]. *Visnyk of Engineering Academy of Sciences of Ukraine*, no. 1, 177–183. [in Ukrainian]
3. **Khlapuk, M. M., & Nikolaychuk, O. V. (2005).** Modeliuvannia hidravlichnykh protsesiv u hidroavtomatyzovanii modulnii osushuvalno-zvolozhuvalnii systemi [Modeling of hydraulic processes in hydroautomated modular drainage-irrigation system]. *Hydromelioration and Hydraulic Engineering Construction*, 30, 142–152. [in Ukrainian]
4. **Matus, S. K. (2013).** Udoshkonalennia vodrehuliuвання na avtomatyzovanykh osushuvalno-zvolozhuvalnykh systemakh z urakhuvanniam reliefnoi dyferentsiatsii terytorii [Improvement of water regulation in automated drainage-irrigation systems considering terrain differentiation]. Rivne. [in Ukrainian]
5. **Chalyi, B., & Mozol, N. (2009).** Proektuvannia osushuvalno-zvolozhuvalnykh system blochno-modulnoho typu [Design of block-modular drainage-irrigation systems]. *Vodnie hospodarstvo Ukrainy*, 6, 55–58. [in Ukrainian]
6. **Khlapuk, M. M., Tkachuk, M. M., Shynkaruk, L. A., & Demianiuk, A. V. (2022).** Rehuliuвання водного режиму ґрунтів drenazhnymi systemamy v humidnii zoni [Regulation of soil water regime by drainage systems in humid zone]. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*, 4(100), 3–13. [in Ukrainian]
7. **Naumchuk, O. M. (2007).** Udoshkonalennia protsesiv vodrehuliuвання na osushuvalno-zvolozhuvalnykh systemakh zasobamy hidravlichnoi avtomatyzatsii [Improvement of water regulation processes in drainage-irrigation systems by means of hydraulic automation]. Rivne. [in Ukrainian]
8. **Nikolaychuk, O. M. (2009).** Doslidzhennia rivnovahy syl, shcho diut na vidkrytyi poplavok zatvora hidroavtomatichnoho rehuliatora rivnia ARU-200Ts [Study of the equilibrium of forces acting on the open float of the ARU-200Ts water level regulator]. *Visnyk NUVHP*, 3(47), 1, 407–413. [in Ukrainian]
9. **Naumenko, I. I., Moroz, S. M., & Voloshchuk, V. A. (1999).** Propuskna zdatsnist nasadkiv ta otvoriv, vlashtovanykh u truboprovodakh-zbyrachakh [Flow capacity of nozzles and orifices arranged in collector pipelines]. *Visnyk Ukrainskoi derzhavnoi akademii vodnoho hospodarstva*, 2(1), 182–185. [in Ukrainian]
10. **Chernyuk, V. V. (2002).** Dyferentsialne rivniannia rukhu ridyny zi zminnoiu masoiu z urakhuvanniam reaktsii na zminu vytraty [Differential equation of liquid motion with variable mass considering reaction to flow change]. *Visnyk UDUVHP*, 5(18), 196–201. [in Ukrainian]
11. **Yatsyk, A. V. (2014).** Modeliuvannia ta avtomatyzatsiia hidrotekhnichnykh protsesiv [Modeling and automation of hydraulic processes]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian]

12. Islam, A., Raghuwanshi, N. S., & Singh, R. (2008). Development and application of hydraulic simulation model for irrigation canal network. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 134(1), 49-59. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2008\)134:1\(49\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2008)134:1(49))
13. Hevko, B. M., et al. (2015). *Hidropryvod i hidroavtomatyka silskohospodarskoi tekhniki* [Hydraulic drive and automation of agricultural machinery]. Ternopil: Vyd-vo TNTU im. I. Puliuia. [in Ukrainian]
14. Yatsyk, A. V. (2018). *Suchasni tekhnolohii upravlinnia vodnymy rezhymamy v melioratyvnykh systemakh* [Modern technologies for water regime management in reclamation systems]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian]
15. Lutsenko, V. V. (2015). *Tekhnichna mekhanika ridyny i hazu v testakh i zadachakh* [Fluid and gas mechanics in tests and problems]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian]
16. Concaret, J. (1981). *Drainage Agricole. Théorie et pratique*. Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne. — 509 p.
17. Eckert, M. (2005). The dawn of fluid dynamics. <https://doi.org/10.1002/9783527610730>
18. Heyden, T., Pates, R., & Rantzer, A. (2022). A structured optimal controller for irrigation networks [Electronic resource]. *ArXiv*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2203.16575>.
19. Martin, D. L., Heerman, D. F., & Madison, M. (2007). Hydraulics of sprinkler and microirrigation systems. *Design and operation of farm irrigation systems*, 2nd Edition, 532-556. <https://doi.org/10.13031/2013.23698>
20. Chanson, H. (2024). Low-head hydraulic structures in irrigation and drainage engineering: challenging operation and design implications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 150(5). <https://doi.org/10.1061/JIEDDH.IRENG-10288>.

Theoretical studies and mathematical model of the gate opening time on the hydraulic model of the water level regulator

Oleksandr Bohush

Abstract. The article presents the results of theoretical studies of the closing process of the float-gate in a hydro-automatic water level regulator. A mathematical model has been developed that describes the change in the volume of water inside the float-gate over time and allows determining the duration of the closing process. The main attention is paid to the influence of the inlet pipe diameter, the initial submersion depth of the float, and the material of its construction. Modeling results show that with an increase in the inlet pipe diameter, the closing time decreases, while an increase in the initial submersion depth leads to a longer closing time. A comparison between metal and plastic floats revealed that the plastic float has a longer response time due to its lower mass and greater buoyancy. The obtained dependencies can be used to improve the design of water level regulators and increase their efficiency in drainage and irrigation systems.

Key words: hydro-automatic water level regulator, float-gate, closing time, mathematical model, pipe diameter, drainage and irrigation system.

Стаття надійшла до редакції 22.10.2025