

**УДК 626.83:532**

**Ніколайчук О. М., к.т.н., доцент, Меддур А. С. Е., к.т.н.,  
ст. викладач** (Національний університет водного господарства та  
природокористування, м. Рівне)

### **ОБҐРУНТУВАННЯ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОАВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА РІВНЯ З ПОДОВЖЕНИМ ГІДРАВЛІЧНИМ ЗВ'ЯЗКОМ**

**Розглянуто умови рівноваги закритого поплавка-затвора залежно від глибини його занурення та діаметра. Отримано рівняння рівноваги поплавка-затвора, рівняння для визначення глибини води у поплавку-затворі, при якій він виштовхується, рівняння для визначення глибини занурення при якій поплавок-затвор не виштовхуватиметься взагалі.**

***Ключові слова:* гідроавтоматичний регулятор рівня, умова рівноваги, поплавок-затвор, подовжений гідравлічний зв'язок.**

**На даний час** у 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 при забезпеченні необхідного повітряно-водного режиму.

**Найновішими публікаціями**, в яких розглядають автоматизацію меліоративних систем, є статті Коваленка П.І., де він описує модульний принцип та перспективи автоматизації осушувально-зволожувальних систем під час їх реконструкції. Пастушенко В.Й. та Наумчук О.М. виконали моделювання роботи гідрорегуляторів на проточній регулюючій мережі осушувально-зволожувальних систем та розглянули перспек-

тиви автоматизації водорегулювання осушуваних земель. Рубан О.Ф. розглядав найновіші винаходи по гідравлічній автоматизації меліоративних систем. Чалий Б.І., Яцик М.В., Дробот О.В. запропонували нові технологічні прийоми управління водним режимом на осушуваних землях та технічні засоби для їхньої реалізації. Чалий Б.І. та Дробот О.В. оцінюють ефективність технології регулювання водного режиму на осушуваних землях з використанням гідроавтоматичних регуляторів рівня ґрунтових вод.

Розроблено також нові конструкції гідроавтоматичних регуляторів: гідроавтоматичний регулятор дренажного стоку, автори Шатний С.В., Матус С.К.; гідравлічний регулятор дренажного стоку, автори Ткачук М.М., Кириша Р.О.; гідравлічний регулятор стоку дренажно-модульної системи, автори Ткачук М.М., Кириша Р.О., Кухнюк Н.В.

Рокочинський А.М. акцентує увагу на тому, що на даний час спостерігається значний розрив між рівнем розвитку наукових ідей та ефективністю їх реалізації в умовах виробництва. Назріла нагальна потреба доведення наукових розробок до головних користувачів – проектувальників та експлуатаційників меліоративних систем, і зробити ці методи невід’ємною складовою відповідних технологічних процесів на виробництві.

Рубаном А.Ф., Яциком А.В., Хлапуком М.М., Стасюком Я.П. запатентовано гідроавтоматичний регулятор рівнів води [1]. Для кращого запровадження гідроавтоматичного регулятора рівня води проведено його теоретичні та експериментальні дослідження.

**На рис. 1 показано** розроблений Рубаном А.Ф., Яциком А.В., Хлапуком М.М., Стасюком Я.П. гідроавтоматичний регулятор з подовженим гідравлічним зв’язком [1]. Він складається із поплавка-затвора, кільцевого водозливу водопропускного лотка, датчика-рівня, гідрозв’язка та датчика-прискорювача.

**В режимі зволожувального** шлюзування отвір кільцевого водозливу водопропускного лотка відкритий, наслідком чого є підняття рівня ґрунтових вод від нижньої до верхньої межі норми осушення. В цей проміжок часу поплавка датчика-рівня знаходиться в нижньому положенні, що забезпечує вільний вихід води із гідрозв’язка і переміщення поплавка датчика-прискорювача в нижнє положення. Нижнє положення поплавка датчика-прискорювача призводить до спорожнення ємності поплавка-затвора. В цьому випадку виштовхувальна сила Архімеда, яка діє на поплавка-затвора, більша за його вагу тому він знаходиться у відкритому стані.

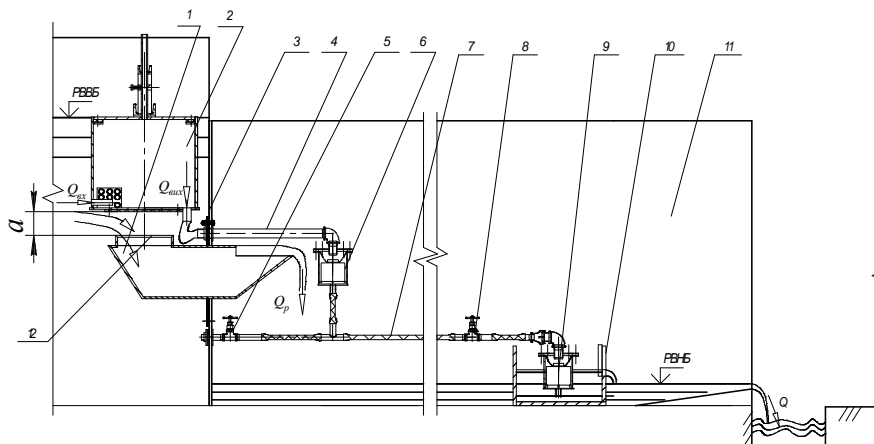


Рис. 1. Схема дослідного зразка гідроавтоматичного регулятора рівня:  
1 – водопропускний лоток; 2 – поплавко-затвор; 3 – перегороджуюча стінка;  
4 – водовипускач; 5 – гідронаповнювач з краном для налаштування роботи регулятора; 6 – датчик-прискорювач; 7 – гідрозв'язок;  
8 – кран для регулювання витрати води через гідрозв'язок;  
9 – датчик-рівня; 10 – модель водоскидного колодезя;  
11 – дзеркальний лоток; 12 – кільцевий водозлив

При наповненні системи рівень води у скидному колодезі піднімається, що призводить до переміщення поплавка датчика-рівня у верхнє закритє положення і вільний відтік із гідравлічного зв'язка припиняється. Тиск у гідравлічному зв'язку підвищується, в наслідок чого поплавок датчика-прискорювача припиняє вільний відтік води із поплавка-затвора. Вода яка надходить через вхідний патрубок у внутрішню ємність поплавка-затвора збільшує його вагу. Поплавко-затвора тоне і перекриває отвір кільцевого водозливу водопропускного лотка. Подача води в систему припиняється поки рівні води в системі не понизяться. Тоді поплавок датчика-рівня знову відкриє отвір патрубка із загостреною кромкою і забезпечить цим вільний вихід води із гідрозв'язка. Далі цикл роботи системи повториться.

Авторами досліджено пропускну здатність гідроавтоматичного регулятора рівня [13]. Математичну модель роботи модуля автоматизованої осушувально-зволожувальної системи розроблено в роботі [14]. Дослідження часу відкриття та закриття поплавка-затвора гідроавтоматичного регулятора рівня описано в статтях [15; 16]. Визначення часу відкриття датчика прискорювача гідроавтоматичного регулятора рівня описано в статті [17]. В роботах [18; 19] досліджено рівновагу сил, що діють на поплавок затвора гідроавтоматичного регулятора рівня.

**Умова рівноваги сил**, що діють на поплавок-затвор, залежить від багатьох факторів: висоти поплавка-затвора, його діаметра, маси, глибини занурення, діаметра кільцевого водозливу. Мета даної роботи полягає в тому, щоб розглянути умови рівноваги закритого поплавка-затвора залежно від глибини його занурення  $h_2$  та діаметра. Отримати рівняння рівноваги поплавка-затвора, рівняння для визначення глибини води  $h_3$  у поплавку-затворі, при якій він виштовхується залежно від глибини занурення  $h_2$ , рівняння для визначення глибини занурення  $h_2$ , при якій поплавок-затвор не виштовхуватиметься взагалі.

**В даній роботі виконано** теоретичні дослідження умов рівноваги поплавка-затвора залежно від його діаметра на основі математичної моделі, що отримана в роботі [15; 16].

**Сили, що діють** на повністю занурений поплавок-затвор в закритому положенні, наступні (рис. 2).

Зверху на поплавок діє сила тиску води,

$$P_1 = \rho g h_1 \pi D^2 / 4, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина води;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$h_1$  – глибина занурення верха поплавка під вільною поверхнею води (рис. 2);

$h_n$  – висота поплавка;

$D$  – діаметр поплавка-затвора.

Знизу на дно поплавка, що обмежене кільцевим водозливом діє сила тиску  $P_2$ .

$$P_2 = \rho g h_2 (D - D_1) / 4, \quad (2)$$

де  $D_1$  – діаметр кільцевого водозливу.

З боків на поплавок затвора діють сили рівні між собою по величині, та протилежні за напрямом, вони врівноважують одна одну, і їх результуюча буде рівною нулю.

На поплавок також діє сила тяжіння води, яка знаходиться в ньому

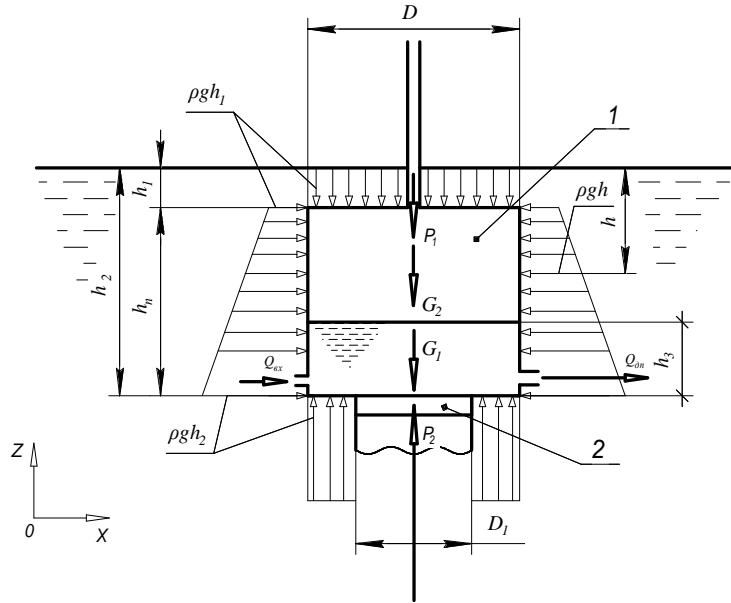


Рис. 2. Схема сил, що діють на затоплений поплавков затвора в закритому стані: 1 – поплавок затвора; 2 – кільцевий водозлив

$$G_1 = \rho g h_3 \pi D_g^2 / 4, \quad (3)$$

де  $h_3$  – глибина води у поплавку;

$D_g^2$  – внутрішній діаметр поплавка-затвора.

Сила тяжіння поплавка затвора рівна

$$G_2 = mg, \quad (4)$$

де  $m$  – маса поплавка-затвора.

Знайдемо результуючу силу  $F$  всіх діючих на поплавок вертикальних сил,

$$F = -P_1 + P_2 - G_1 - G_2. \quad (5)$$

Після проведення нескладних математичних операцій отримаємо:

$$F = \frac{\rho g \pi}{4} \left[ h_n D^2 - h_2 D_1^2 - h_3 D_g^2 - \frac{4m}{\pi \rho} \right]. \quad (6)$$

Якщо  $F < 0$ , то вона направлена вниз, поплавок залишається у закритому стані, для випадку  $F > F_{кр}$  поплавок виштовхується, якщо  $F = 0$  він знаходиться у стані рівноваги.

Знайдемо глибину води у поплавку  $h_3$ , при якій поплавок знаходиться у рівновазі, в залежності від глибини занурення  $h_2$  під вільну поверхню води. Прирівняємо рівняння (7) до нуля, отримаємо:

$$h_n D^2 - h_2 D_1^2 - h_3 D_6^2 - \frac{4m}{\rho\pi} = 0, \quad (7)$$

Після проведення нескладних перетворень отримаємо:

$$h_3 = \frac{1}{D_6^2} \left( h_n D^2 - h_2 D_1^2 - \frac{4m}{\rho\pi} \right). \quad (8)$$

Отримана теоретична залежність визначає зміну глибини води  $h_3$ , при якій виконується умова рівноваги зануреного поплавка-затвора, в залежності від його діаметра.

Діаметр поплавка-затвора, при якому він не виштовхнеться водою, навіть якщо повністю спорожнений, визначається рівнянням,

$$\frac{1}{D_6^2} \left( h_n D^2 - h_2 D_1^2 - \frac{4m}{\rho\pi} \right) = 0. \quad (9)$$

Після проведення нескладних перетворень отримаємо:

$$h_2 = h_n \frac{D^2}{D_1^2} - \frac{4m}{D_1^2 \rho\pi}. \quad (10)$$

Отримана теоретична залежність визначає діаметр поплавка-затвора, при якому він не виштовхнеться водою, навіть якщо повністю спорожнений.

**Для перевірки адекватності теоретичних рівнянь** проведено експериментальні дослідження поплавка-затвора з діаметром 0,35; 0,40; 0,45 м та масою відповідно 12,846 кг; 15,093 кг; 17,494 кг. Умови гідравлічних досліджень впливу основних діючих факторів на глибину води у поплавку-затворі, при якому він виштовхується наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови дослідів

Фактор		Рівні варіювання					Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодований вид	-1	-0,5	0	0,5	1,0	
Діаметр поплавка затвора, $D$ , м	$X_1$	0,35		0,40		0,45	
Глибина занурення, $h_2$ , м	$X_2$	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,04
Порядок виконання дослідів для кожного $X_1$		1	3	2	4	5	
		5	1	3	2	4	
		3	2	4	1	5	

В таблиці 2 наведено матрицю плану експерименту для поплавків-затворів при  $D = 0,35; 0,40; 0,45$  м та глибину води у поплавку-затворі, при якій він виштовхується  $h_3$ , м.

Таблиця 2

Матриця плану експерименту

Діаметр, $D_m$	Номер дослі- ду $j$	Глибина води у поплавку-затворі, при якій він виштовхується $h_3$ , залежно від глибини занурення $h_2$				
		1	2	3	4	5
		Глибина занурення, $h_2$ м				
		<b>0,36</b>	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	<b>0,48</b>	<b>0,52</b>
<b>0,35</b>	1	0,096	0,085	0,072	0,06	0,046
	2	0,097	0,086	0,07	0,059	0,045
	3	0,099	0,084	0,073	0,058	0,047
	Середнє, $h_{3C}$	0,097	0,085	0,072	0,059	0,046
	Теоретич- не, $h_{3T}$	0,099	0,086	0,073	0,060	0,047
	$s_i^2$ , м	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$
<b>0,40</b>	1	0,137	0,128	0,118	0,109	0,099
	2	0,140	0,129	0,12	0,107	0,098
	3	0,138	0,130	0,117	0,108	0,097
	Середнє, $h_{3C}$	0,138	0,129	0,118	0,108	0,098
	Теоретич- не, $h_{3T}$	0,140	0,130	0,120	0,110	0,100
	$s_i^2$ , м	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$
<b>0,45</b>	1	0,168	0,159	0,151	0,143	0,135
	2	0,167	0,16	0,153	0,145	0,136
	3	0,169	0,158	0,151	0,142	0,137
	Середнє, $h_{3C}$	0,168	0,159	0,152	0,143	0,136
	Теоретич- не, $h_{3T}$	0,169	0,161	0,153	0,145	0,137
	$s_i^2$ , м	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-6}$	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$

Методика проведення експерименту при визначенні глибини води у поплавку-затворі, при якій він виштовхується наступна. Встановлювали задану глибину занурення поплавка-затвора  $h_2$ . Досліджували роботу поплавка-затвора при відкритті. В момент виштовхування поплавка-затвора, визначали глибину води, при якій поплавок-затвор виштовхується. Заміри глибини води, при якій поплавок-

затвор виштовхується, здійснювали п'єзометрами, що під'єднані до поплавка-затвора.

Отримані експериментальні точки нанесено на графік залежності  $h_3 = f(h_2; D)$  (рис. 3).

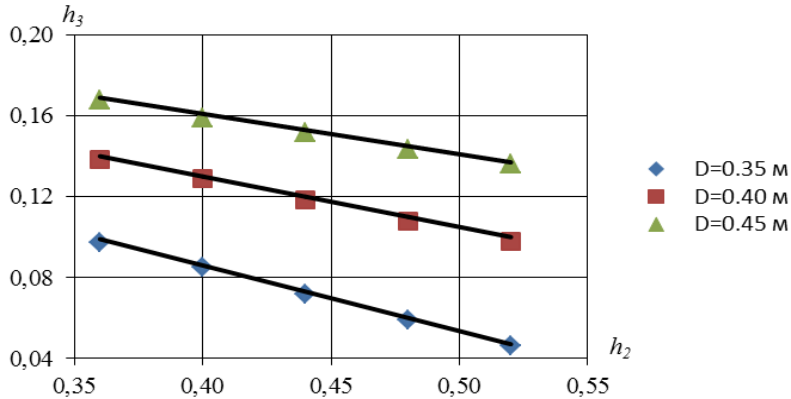


Рис. 3. Графік залежності  $h_3 = f(h_2; D)$

На графіку також показано прями отримані за рівнянням (8). Перевірка за критерієм Фішера показала, що при ймовірності 95% отримані рівняння адекватні.

З графіка видно, що при повністю зануреному поплавку збільшення занурення  $h_2$  призводить до зменшення глибини  $h_3$ , при якій настає рівновага сил. Це можна пояснити тим, що при більшій глибині занурення  $h_2$ , зверху на поплавок діє більша сила тиску  $P_1$ , а отже, для того, щоб поплавок виштовхнувся, необхідно зменшити масу води у ньому, що досягається за рахунок зменшення глибини  $h_3$ .

З графіка також видно, що збільшення діаметра поплавка-затвора веде до збільшення глибини води  $h_3$ , при якій настає рівновага сил. Це пояснюється тим, що збільшення діаметра поплавка-затвора приводить до збільшення сили Архімеда, і цієї сили достатньо, щоб витіснити поплавок з більшою вагою.

Таблиця 3

Глибини занурення поплавка-затвора  $h_2$ , при яких він ще виштовхується

$D$ , м	0,350	0,400	0,450
$h_2$ , м	0,663	0,919	1,215

Глибини занурення поплавка-затвора  $h_2$ , при яких він ще виштовхується, пораховано за рівнянням (10) та наведено в табл. 3. При



перевищенні вказаної глибини занурення поплавков-затвор не виштовхнеться взагалі.

**В результаті проведених** теоретичних та експериментальних досліджень отримано рівняння рівноваги поплавка-затвора. Виведено рівняння для визначення глибини води у поплавку затворі, при якій він виштовхується  $h_3$  залежно від глибини занурення  $h_2$ , рівняння для визначення глибини занурення  $h_2$ , при якій поплавков-затвор не виштовхуватиметься взагалі.

**1.** Пат. 31193 Україна, МПК 6 G 05 D 9/02. Гідроавтоматичний регулятор рівнів води / Рубан А. Ф., Яцик А. В., Хлапук М. М., Стасюк Я. П.; власник Український наук.-дослід. ін-т водогосподарсько-екологічних проблем. – № 98073878. заявл. 17.07.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл. № 27. – 4 с. **2.** Ніколайчук О. М. Дослідження пропускнуої здатності гідроавтоматичного регулятора рівня / О. М. Ніколайчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: збірник наукових праць. – Рівне : НУВГП, 2007. – Вип. 4 (40), Ч. 2. – С. 101–109. **3.** Математична модель роботи модуля автоматизованої осушувально-зволожувальної системи / М. М. Хлапук, О. М. Ніколайчук, О. І. Тищенко, С. І. Нагалюк // Меліорація і водне господарство: міжвідомчий тематич. наук. зб. – К., 2007. – Вип. 95. – С. 235–245. **4.** Ніколайчук О. М. Дослідження часу відкриття поплавка-затвора гідроавтоматичного регулятора рівня з подовженим гідравлічним зв'язком / О. М. Ніколайчук // Гідротехніка: зб. наук. праць. – Рівне, 2014. – Вип. 1 (1). – С. 37–46. **5.** Ніколайчук О. М. Дослідження часу закриття поплавка-затвора гідроавтоматичного регулятора рівня з подовженим гідравлічним зв'язком / Ніколайчук О. М., Шинкарук Л. А. Орлов І. Ю // Вісник НУВГП: збірник наукових праць. – Рівне, 2015. – Вип. 3 (72), Ч. 2. – С. 112–118. **6.** Ніколайчук О. М. Час відкриття давача прискорювача гідроавтоматичного регулятора рівня з подовженим гідравлічним зв'язком / О. М. Ніколайчук // Вісник НУВГП: збірник наукових праць. – Рівне, 2013. – Вип. 1(61). – С. 130–136. **7.** Хлапук М. М. Дослідження рівноваги сил, що діють на поплавков затвора гідроавтоматичного регулятора рівня АРУ-200Ц / М. М. Хлапук, О. М. Ніколайчук, О. В. Безусяк // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: збірник наукових праць. – Рівне : НУВГП, 2008. – Вип. 2(42). – С. 202–210. **8.** Ніколайчук О. М. Дослідження рівноваги сил, що діють на відкритий поплавков затвора гідроавтоматичного регулятора рівня АРУ-200Ц / О. М. Ніколайчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: збірник наукових праць. – Рівне : НУВГП, 2009. – Вип. 3(47), Ч. 1. – С. 407–413.

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

**Nikolaichuk O. M., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Meddur A. S. E., Candidate of Engineering, Senior Lecturer** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **MAXIMUM ALLOWABLE DESIGN PARAMETERS OF HYDRO REGULATOR WITH LONG HYDRAULIC CONNECTION VALIDATION**

The conditions of float-closed shutter equilibrium, depending on the depth of its immersion and diameter are examined. The equation of float-shutter equilibrium determining on the depth of water in the float-gate, where he pushed and the equation for determining the immersion depth at which the float-bolt is not pushed are discovered.  
*Keywords:* hydraulic automatic regulator, equilibrium condition, float-shutter.

---

**Николайчук О. Н., к.т.н., доцент, Меддур А. С. Е., к.т.н.,  
ст. преподаватель** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОАВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ С УДЛИНЕННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ**

Рассмотрены условия равновесия закрытого поплавка-затвора в зависимости от глубины его погружения и диаметра. Получены уравнения равновесия поплавка-затвора, уравнение для определения глубины воды в поплавке-затворе, при которой он выталкивается, уравнение для определения глубины погружения, при которой поплавков-затвор не выталкивается вообще.  
*Ключевые слова:* гидроавтоматический регулятор, условие равновесия, поплавков-затвор.

---