

## ЕНЕРГОСПЕСТЯВАЩИ ХИДРОДИНАМИЧНИ ВОДОПОДЕМНИ УСТРОЙСТВА

**Елена Демирева**

*Минно геоложки университет „Св.Иван Рилски“, 1700 София*

**РЕЗЮМЕ.** От създаването на първия хидравличен таран от Монголфие до днес, продължават коментарите и сведенията относно използването на различни негови модификации за различни цели от практиката, което е доказателство за актуалността на проблема. Устройствата за покачване на вода без използване на двигатели /електрически или механични/, при малки водни басейни с пад под 4 метра, малки водно електрически централи не се строят и точно тук са налице неизползвани регионални хидроенергийните ресурси, където прилагането на хидравлични таранни устройства е икономически оправдано и уместно. Целта на задачата е да се разработи модерна версия на водоподемно устройство за напояване, черпещо енергия от водоизточника, от типа „хидравличен таран“. Да се създаде конструктивно решение на таран за напояване за малък воден пад, намален шум, увеличена ефективност и ниска стойност.

Статията разглежда параметрите на автоколебателни хидравлични системи, които отдават енергия чрез контролиран хидравличен удар с оглед разработване на оптимизирани водоподемни таранни устройства:

- изследване на хидравличен удар в тръбопровод с променлив диаметър: влияние на еластичността на стените в напорния и нагнетателния тръбопровод;
- моделиране на автоколебателно движение на неустановено водно течение с контролируеми параметри: налягане на входящия тръбопровод, конструкция и сечения на клапаните, влияние на отклоненията от необходимото време на затваряне; изследване на влиянието на центрично ротационно движение на струята в тялото; време на затваряне на клапаните;
- енергиен баланс на хидродинамичните процеси. Анализ на загубите и набелязване на мерки за намаляването им;
- изследване на влиянието на центрично ротационно движение на струята в нагнетателната камера върху съпротивлението на клапите.

### HYDRODYNAMIC ENERGY SAVING DEVICES PUMPS

*Elena Demireva*

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski, 1700 Sofia*

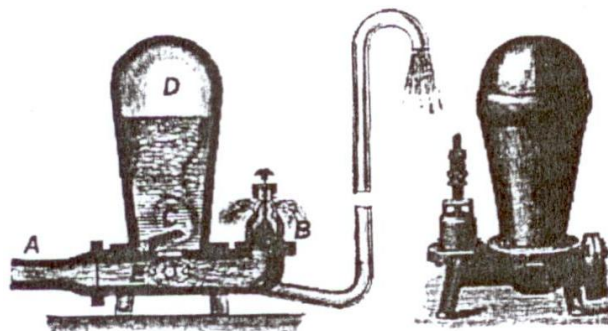
**ABSTRACT.** Since the establishment of the first ram of Montgolfier today continue comments and information concerning the use of its various modifications for different purposes in practice, which is evidence of the actuality of the problem. Devices to hold water without the use of engine / electrical / mechanical / in small pools with a 4 m drop small hydro power plants are not built right here and there are unused regional hydropower resources where the application of hydraulic devices collision is economically justified and appropriate. The purpose of the task is to develop a modern version of the device for irrigation pumps drawing energy from water sources, such as "ram". To create a constructive solution of ram for irrigation water for a small pressure reduced noise increased efficiency and lower cost.

The article discusses the parameters of the oscillator hydraulic systems that give energy by controlled hydraulic shock in order to develop optimized pumps collision devices: Study of water hammer in pipelines with variable diameter: influence of the elasticity of the walls in the head and the pressure pipeline; Modeling of oscillator movement established watercourse with controllable parameters: the pressure of the incoming pipeline, construction of valves and valve sections, the influence of deviations from the time of closing, the impact of research centered rotational movement of the jet in the body, closing time valve; Energy balance of hydrodynamic processes. Analysis of the losses and identify measures to reduce them; Study the influence of the rotational movement centered in the jet plenum chamber on the resistance of the valves.

### Увод

Началото на тази проблематика е поставено през 1797 г. в гр. Сен-Клу, близо до Париж, когато френският механик Монголфие демонстрира странно устройство, способно да повдига вода без необходимостта от двигателна външна енергия (фиг.1), което има следните елементи: напорен тръбопровод, тяло, ударен клапан, нагнетателен клапан, нагнетателна камера, нагнетателен тръбопровод и клапан за подаване на въздух.

С течение на годините това устройство, започва да се използва в предпланински и планински райони, където липсва електрическа енергия. Има сведения и за прилагане на този принцип и в битовата техника - миниатюрни устройства повишаващи налягането на вода изтичаща от кран на чешма.



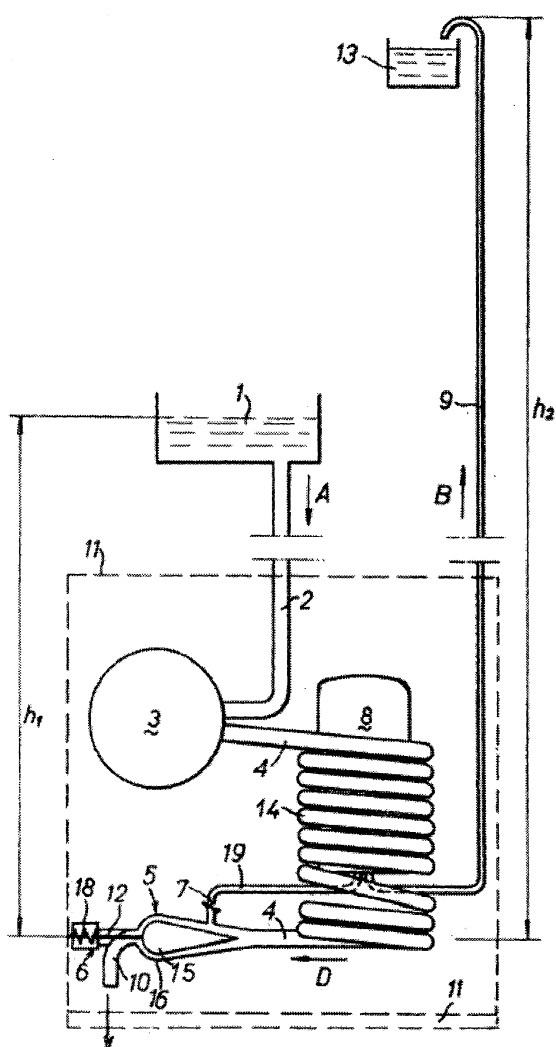
Фиг.1. Хидравличния таран на Монголфие

Интересно е, че от създаването на първия хидравличен таран от Монголфие до днес, продължават коментарите и сведенията относно използването на различни негови модификации за различни цели от практиката.

Доказателствата за актуалност на проблема са основно две:

Непрекъснато усложняване и усъвършенстване на конструкцията на устройствата използващи периодични хидравлични удари.

Това се илюстрира със сравнението между фиг. 1 (1797 г.) и фиг. 2 (1987 г., на която е показана системата на Maurer A. "Hydraulic ram valve unit" pat. us № 4054399 (1997 г.). Между двете конструкции общо е само наличието на двата клапана - ударния и нагнетателния поз. 5 и 7 на фиг. 2. В решението на фиг. 2 имаме въздушен акумулатор 3 на входа, въздушен акумулатор 8 на изхода, серпентина 14 и т.н. Подобни предложения за използване на разглежданото хидравлично явление са обект на десетки патенти през изминалите десетилетия, а и в по-ново време.



Фиг. 2.

От специализираната литература, доминираща като патенти, се констатира, че поддържането на работата на ударната клапа при малък пад е трудно. Проблемът идва главно от принципа на увличане на клапата от водния поток в канала и освобождаването ѝ под действие на пружина или тежест, преодоляваща хидростатичното налягане на водния стълб в напорния тръбопровод.

Надеждното увличане на клапата за да се затвори, изисква сравнително голяма скорост на течността, която по-трудно се достига при малък пад. Друг проблем е надеждното отваряне на ударната клапа и поддържането на цикличността при отваряне и затваряне. В повечето конструкции не се обръща достатъчно внимание на физическата същност на работния процес на тарана, а именно автоколебанията и автоколебателната система работи с честота значително под резонансната. Поддържането на системата в резонансен режим в определени граници чрез подходящо струйно управление може да увеличи ефективността на тараните устройства. Най-честите проблеми пред тараните са неприятния шум, неустойчивата работа на автоколебателната система при променлив дебит на водоизточника и на клапаните при замърсявания на водата, разрушаването на клапани, тръбни връзки и други елементи от ударите. Поради тези причини, отнасящи се до практическата експлоатация на този вид водоподемни устройства, с основание се стига до извода, че физическите процеси и явленията свързани с хидравличния таран не са изследвани и изучени достатъчно задълбочено, а като следствие не са намерени и най-добрите и надеждни конструктивни решения за конкретни случаи в практиката.

Развитието на енергетиката в традиционните направления за преобразуване на енергията на органичните горива, на енергията на водата и атома, неизбежно оказват негативно въздействие на околната среда. Към това трябва да се прибави и ограничението на тези ресурси. Съществува и проблема с електроснабдяването на трудно достъпни райони, отдалечени от електроразпределителните мрежи. И всичко това се усложнява, като се вземе предвид и растящия недостиг на горива и електроенергия. Ето защо, рязко нараства интереса към малката хидроенергетика. В реките, ручейте, изворите и другите водоизточници се съдържат значителни хидроенергийни ресурси, които могат да бъдат използвани за различни селскостопански и промишлени цели. Устройствата за покачване на вода без използване на двигатели (електрически или механични), при малки реки, ручей, извори, микроязовири, бентове, прагове, баражи и други са подходящи за водоснабдяване на обекти, разположени високо от водоизточника.

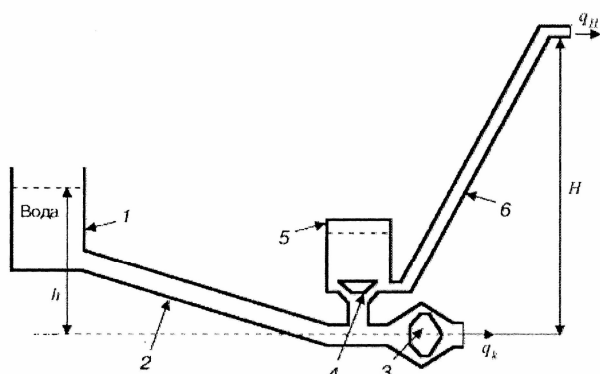
На практика при воден пад под 4 метра малки ВЕЦ не се строят и точно тук са налице неизползвани регионални хидроенергийните ресурси където прилагането на хидравлични таранни устройства е икономически оправдано и уместно.

### Развитие на конструкцията на хидравличната помпа с цел намаляване на недостатъците в работата ѝ

Работата на хидравличния таран като правило протича по следния начин - фиг.3:

От резервоар 1 водата постъпва в нагнетателен тръбопровод 2 с увеличаваща се скорост под напор с височина  $h$ . При определена стойност на налягането в 2

клапан 3 се затваря с удар. Рязкото затваряне може да се осигури от пружинен механизъм. В пространството на нагнетателната тръба 2 от удара на клапа 3 се отваря нагнетателна клапа 4 и течността постъпва в затворена напорна камера 5 и почти мигновено се изкачва по тръбопровод 6 на височина  $H$ , клапан 4 се затваря, а клапан 3 се отваря. Повишеното налягане на водата губи само част от своята скорост, постъпвайки в напорна камера 5. Възникналата от клапа 3 вълна на хидравличен удар по тръба 2 достига до резервоар 1. Отразява се в неподвижната течност като част от енергията се губи, а налягането пада и отново се връща по тръбопровод 2 към ударния клапан 3. По време на отразената вълна в напорна камера 5 остава въздух компресиран под напор  $H$ , който спомага за бързото затваряне на клапан 4. При качествено изпълнение на детайлите хидравличния таран може да качва вода на височина  $H$  непрекъснато с течение на години. Движещите се части на тарана – два клапана проектирани така, че повишеното налягане в напорната тръба да затварят ударния клапан 3 и отварят напорния клапан 4, а пониженото налягане да действат в обратен ред. Смислът на устройството е в това, че то качва обем вода  $q_H$  на височина  $H$ , използвайки енергията на обем вода  $q_h$ .



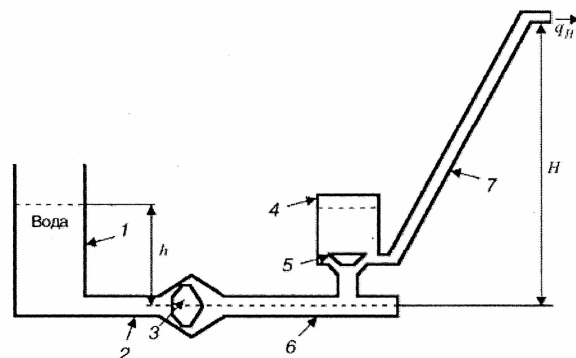
Фиг.3. Принципно схема на хидравличен таран

Недостатъците на устройството са:

1. За поддържане на работата на тарана в резервоар 1 трябва да се поддържа достатъчен приток, така че на всеки цикъл, допълването да е минимум  $q_H$ .
2. Ако нивото в резервоар 1 спада при всеки цикъл действието на тарана ще спре. Това ограничава използването на тарана на равнинни територии с открити водоеми или на реки с малък наклон.

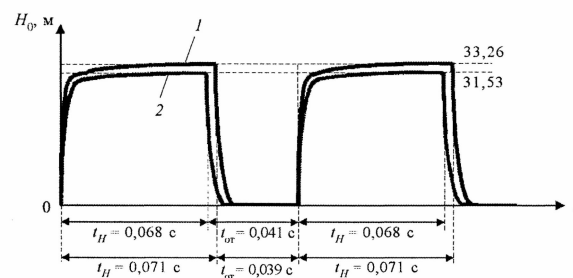
Теоретично движението на течността в таранното устройство спада към така наречените нестационарни течения т.е. течения с променящи се във времето скорост и ускорение. Многобройните опити за точни решения със съществуващите хидродинамични уравнения са показали, че това е възможно само с числени методи, тъй като са необходими знания за много предварително неизвестни изходни данни. Опити са правени за изследване на отделни параметри върху работата на хидравличните тарани, но няма общ теоретичен анализ. Това се потвърждава от факта, че през годините са получени множество различни патенти за модернизация на устройството, които обаче по същество не касаят изменение или усъвършенстване на принципа на работа.

Качествено нов принцип на работа на хидравличния таран предлагат 2005 г. трима руски учени (Марухин В., Кутънков В., Иванов В., 2005). Разглеждайки схемата на фиг.4, на така нареченото от тях ново водоподемно устройство виждаме, че напорния тръбопровод 2 е разделен от ударния клапан на 2 участка. Зад клапан 3 се появява глух участък 6. Именно в участък 6 след пропускане през мембранен клапан 3 на количество вода  $q_h$  се развива хидравличен удар. Означеният с 5 нагнетателен клапан се отваря при покачване на налягането в края на 6, но отразената вълна продължава да извършва възвратни движения до изчерпване на енергията ѝ за повдигане на клапан 5.



Фиг.4. Ново водоподемно устройство

Така част от загубите на кинетична енергия от отразената вълна се превръщат в работа. Друг ефект на новото водоподемно устройство е увеличаването на времето на един цикъл. Време, достатъчно за постъпване на количество вода  $q_h$  в резервоар 1, така че да отпадне ограничението на приложението му в открити равнинни територии.



Фиг.5. 1 - теоретична крива на зависимост напор-време; 2 - експериментална крива.  $t_H$  - време на работен цикъл,  $t_{ot}$  време на отразена вълна

Следваща стъпка логично налага идея за оптимизиране на мястото на ударната и нагнетателна клапа.

При конвекционалната схема отразената вълна е напълно загубена енергия, а при т.н. ново водоподемно устройство отразената вълна се усвоява частично, но броя на ударите за единица време намаляват, което чувствително намалява т.е. ограничава к.п.д. на устройството теоретично до  $I(\frac{H}{h}) < 2$ .

От познатото уравнение на Бернули за  $z = const$

$$H = \frac{P}{\gamma} + \xi \frac{V_o^2}{2g} \frac{1-\varphi^2}{q_H}, \text{ където } \xi \text{ е коеф. на Вайсбах} \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{V_k}{V_o} = 1 - 2.n \frac{U}{V_o}, \quad (2)$$

$n$  брой хидравлични удари за секунда

$U$  - начална скорост в нагнетателния тръбопровод

$V_o$  - начална скорост на хидравличен удар

$V_k$  - крайна скорост на хидравличен удар

$V_{max} = \sqrt{2.g.h}$ , при пренебрегнати загуби по познатата формула на Торичели.

$$\text{Но } k = \frac{V_o}{\beta.V_{max}}$$

$$\text{Следователно } V_o^2 = k^2 \beta^2 . 2gh, \quad (3)$$

където  $\beta$  е коеф. на загуби от еластично огъване на тръбата.

$$\frac{H}{h} = \frac{P}{\gamma.h} + \xi.k^2 . \beta^2 \frac{2gh}{2gh} \frac{1-\varphi^2}{q_H}$$

$$\frac{H}{h} = 1 + \xi.k^2 . \beta^2 \frac{1-\varphi^2}{q_H} \quad (4)$$

тъй като  $0 < \varphi < 1$ , следна че  $\frac{H}{h} > 1$ .

Но явлението хидравличен удар е ограничено от поетата следствие деформация на тръбопроводите енергия.

Ако дефинираме удара като обмен на кинетична енергия между две тела за кратко време ( $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  s), то при превръщането на кинетичната им енергия в потенциална енергия на еластична деформация е ясно, че еластичността на телата може изцяло да абсорбира енергията. Еластичността при хидравличния удар е нелинейна и е във функция на еластичността на тръбата, еластичността на флуида и термодинамичните условия при адиабатна компресия.

Деформацията на тяло  $\epsilon$  при удар на течност е отбелязано за пръв път от Rankine (1851), който е определил и скоростта на появяващата се при удара надлъжна вълна -  $C$ .

В таранните устройства увеличението на налягането  $dP$  при промяна на скоростта на флуида  $dV$  за време  $dt$ , се определя по формулата на Жуковский (1898):

$$\frac{dP}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} . C \quad (5)$$

Максималното повишаване на налягането е:

$$dP = \rho.V.C, \text{ където} \quad (6)$$

$C$  — скорост на разпространение на ударната вълна в напорния тръбопровод (m/s).

Еластичността на стените на тялото на тарана и на захранващия тръбопровод води до значително намаляване на скоростта на звука.

Скоростта на звука се получава от формулата:

$$C = \sqrt{\frac{E_{pr}}{\rho}} \quad (7)$$

Разглеждайки тръбата като едномерно тяло приведеният модул на еластичност зависи най-много от деформацията на стените на тръбата при изменение на налягането и от количеството неразтворен и разтворен във водата въздух. Приведеният модул на еластичност може да се определи от израза:

$$E_{pr} = \frac{E_o}{1 + \frac{d_o . E_f}{\delta . E_{ct}}} \quad (8)$$

където:

$d_o$  - вътрешен диаметър на тръбата,

$\delta$  - дебелина на стената на тръбата,

$E_{ct}$  - модул на еластичност на стената и

$E_f$  - приведен обемен модул на свиване на съдържащият се в тръбата флуид.

Скоростта и формата на вълната реално зависят от множество параметри, защото по дължината на тръбата се разпространяват и наслагват сравнително по-високочестотната надлъжна вълна в стените на тръбата, и нискочестотната напречна вълна, която заедно с флуида образува перисталтична вълна подобна на вълните в артериите.

За водата при стайна температура скоростта на звука е

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1435 \text{ m/s}. \text{ За напорна система от стоманени}$$

тръби приведената скорост на звука е  $C = 1400 \text{ m/s}$ , а за напорна система от PVC тръби с дебелина на стената 1/10 от диаметъра, скоростта на звука  $C = 400 \text{ m/s}$ .

Вижда се, че едно таранно устройство със стоманена напорна тръба осигурява с около 30% по-голяма височина на издигане от същото изпълнено с пластмасова тръба.

За инженерни пресмятания на хидравличния удар в тръбопровода е удобно формулата на Жуковский да се представи във вида:

$$dP = z.Q \quad (9)$$

$dP$  - нарастване на налягането в Pa,

$Q$  - дебит  $m^3/s$ ,

$z$  - хидравличен импеданс в  $kg/m^4/s$ .

Хидравличният импеданс  $z$  на тръбопровода се определя от уравнението:

$$z = \frac{\sqrt{\rho \cdot B_{eff}}}{A} \quad (10)$$

където:

$\rho$  плътност на флуида в  $kg/m^3$ ;

$A$  площ на сечението на тръбата в  $m^2$ ;

$B_{eff}$  ефективен модул на свиваемост на течността в системата в  $Pa$ .

$$\frac{1}{B_{eff}} = \frac{1}{B_L} + \frac{1}{B_{tr}} + \frac{1}{B_f} \quad (11)$$

$B_{eff}$  модул при адиабатна компресия, получаван от термодинамичните таблици към уравненията на състоянието на течността.

$B_{tr}$  еластичност на стените на тръбата дефиниращ модула на еквивалентна свиваемост. За цилиндрична тръба с дебелина на стената малка в сравнение с диаметъра  $d_o$

$$B_{tr} = \frac{\delta \cdot E}{d_o} \quad (12)$$

където  $E$  е модула на Young в ( $Pa$ );

$B_f$  - свиваемост на течността поради разтвореният газ:

$$B_f = \frac{m \cdot P}{k} \quad (13)$$

$m$  - съотношение на специфичните топлини на газа;

$k$  - обемно съдържание на неразтворен газ;

$P$  - налягане ( $Pa$ ).

Силата на удара (скока на налягането) се намалява при:

- Намалява скоростта  $C$  на потока чрез увеличаване на диаметъра на тръбата при даден дебит или с повишено триене.

- Използване на материали с малък модул на Young в нагнетателната зона.

- Въвеждане на устройства увеличаващи деформируемостта на флуида като хидравлични акумулатори и увеличаване на неразтвореният въздух в течността.

- Оформянето на напорният тръбопровод като спирала или огъвания на тръбопровода също намаляват приведената скорост на звука поради възможността за еластична деформация на огънатата тръба (като Бурдонова тръба) и поради намаляването на скоростта  $C$  на потока.

- Еластично закрепване на тялото на тарана към фундамента. Взаимодействащата си система се състои от ускореният воден стълб и Земята към която е закрепено тялото на тарана. От теорията на удара следва, че при отразяване на ударната вълна при затваряне на ударната клапа в тарана, цялата енергия се предава през конструкцията на тарана към Земята. Вектора на ударния импулс се определя от условието за запазване на общото количество на движението на системата воден стълб-Земя. Контролирането на еластичността на закрепването позволява да се намали градиента на удара и емисията на звукови вълни в околната среда. Това води и до намаляване на максималната височина  $H$  на която може да се издигне водата.

## Литература

- Ogawa T., "Ram pums". Pat. USA 5310312, 1983.  
 Richards J., "Hydraulic ram pums" Pat. USA 5271721, 1993.  
 Richards J., "Hydraulic ram pums" Pat. USA 5310322, 1994.  
 Richards J., "Hydraulic ram pums" Pat. USA 6142746, 1994.  
 Lundgren L., "Pulsating valve for hydraulic ram pums" Pat. USA 6142746, 2000.  
 Jackson R., "Oscillating spring valve fluid pumping system" Pat. USA 6443709, 2002.  
 Марухин В., Кутънков В., Иванов В. Новое водоподъемное устройство, как источник экологически чистой энергии, ISJAE №9 (29), 2005.

Препоръчана за публикуване от Катедра  
 "Подземно строителство", МТФ