

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Юбилейна приложна научно-техническа конференция
„65 години Хидротехнически факултет и 15 години немскоезиково обучение”

6–7 ноември 2014
6–7 November 2014

International Jubilee Conference
„65th Anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15th Anniversary Hydraulic Engineering in German”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

XLVII ^{ТОМ}
vol.

2014

св.
fasc. I-A

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНАТА ХИДРАВЛИКА – НЕОБХОДИМОСТ ЗА ПРАВИЛНОТО ОРАЗМЕРЯВАНЕ И БЕЗРИСКОВО ДЕЙСТВИЕ НА СЪОРЪЖЕНИЯТА ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ГОЛЕМИТЕ ЯЗОВИРИ

Б. Казаков¹

Ключови думи: облекчителни съоръжения към язовири, теория на подобие, хидравлично моделиране

Научна област: инженерна хидрология, хидравлика и водно стопанство

РЕЗЮМЕ

Статията е с научно-популярен характер. Представени са кратки исторически данни за развитието на експерименталната хидравлика от Архимед (250 г. пр. Христа) през Ренесанса с представител Леонардо да Винчи, до наши дни. Дадени са накратко основните закони за хидравличното моделиране, критериите на подобие, принципи и зависимости от теорията за хидравлично моделиране на открити течения с преобладаващото действие на гравитационните сили, т.е. моделиране по Froude. Описани са по-големите язовири в България, за които са изпълнени в ЦНИЛХИ хидравлични модели на съоръженията за отвеждане на високите води, като е споменато и изпълнението на първия хидравличен модел в България на яз. “Росица” през 1953 г.

1. Кратки исторически данни

Древногръцка цивилизация – Архимед – основният закон за плаване на телата 250 г. пр.Хр.

Ecole d'Alexandri 215 г. пр.Хр. за първи път се употребява думата хидравлика.

¹ Богдан Казаков, проф. д-р инж., кат. „Хидравлика и хидрология“, УАСГ, бул. “Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: peter_v@gyuvetch.bg

Римска епоха – Знаменитите 10 римски акведукти с надлъжен наклон от 0,0007 до 0,007. Julius Frontinus – първи век след Хр. – описал е за първи път метод за измерване на водното количество.

Средните векове – няма останало нищо нито в литературата, нито построено – нарича се епоха на черната дупка.

Ренесанс – след 15 век – Leonardo de Vinci (1452–1519) въвежда в областта на хидравликата експерименталните методи. Холандският математик Simon Stevin 1548 до 1620, Галилей 1564 до 1642 – през 1608 под негово ръководство са построени и въведени в експлоатация Pompe de la Samaritain в Париж до моста Pont-Neuf.

В експерименталната хидравлика е прието за основатели да се смятат Леонардо да Винчи и Г. Галилей.

След Ренесанса – Торичели (1608–1647) публикува знаменитата формула $V = (KH)^{0.5}$. Учениците на Торичели установили експериментално, че коефициентът $K = 2g$ през 1665 г. и формулата добива вида

$$V = \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

валидна за изтичане през дънен отвор.

През 1713 г. Нютон доказва експериментално, че при изтичане през малък отвор се появява явлението контракция на струята и формула (1) е валидна само за оловата струйка.

Експериментална хидравлика през 18 век

Джовани Полени (1688–1781) установява чрез многобройни експерименти формула за изтичане през малки отвори, валидна и днес

$$V_{cp} = 0,62\sqrt{2gH}. \quad (2)$$

Д. Полени установява експериментално и формула за изтичане през наставки, както и знаменитата формула за изтичане през големи отвори, доуточнена след това и като формула за преливници

$$Q_{np} = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2gH}^{3/2}. \quad (3)$$

Анри Пито (1695–1771) – tube de Pitot за измерване скоростта на водата в безнапорни и напорни течения.

Антоан Chézy (1718–1798) – знаменитата формула за средната скорост в канали

$$V = C\sqrt{RI}. \quad (4)$$

През 19 век

Хенри Гаспард Дарси (1803 – 1858) – главен инженер в Ponts et Chaussées. През 1857 г. публикува знаменития си труд *Експериментални изследвания относно движението на течности в тръбопроводи*.

Henri-Emile Bazin (1829–1917) – публикувал пръв формула за коефициента на Шези

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}. \quad (5)$$

През последното десетилетие на 19 век се появяват и развиват експерименталните методи и измервателна апаратура за хидравлично моделиране на участъци от реки и на съоръжения за отвеждане на високите води от язовирите.

Първият хидравличен модел на река е изпълнен във Франция през 1875 г. от Louis-Jérôme Farda на участък от р. Гарона до Бордо.

Фамилия Froude – баща Уилям и син Роберт са провели моделни изследвания използвайки закона на подобие на Reech и след свои опити са въвели основния закон за подобие

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} = idem . \quad (6)$$

В края на 19 век започват и моделните изследвания в САЩ, като най-известните инженери хидравлици са Lester Allen Pelton (1835–1908) и Clement Hercshel (1842–1830).

Първият хидравличен модел на преливник и съоръженията след него са реализирани във Франция в хидравличната лаборатория в Тулуза през 1905 г. от M. Samichel.

В началото на 20 век се създават и хидравличните лаборатории в Дрезден, Париж и Санкт-Петербург.

2. Основни принципи и критерии на експерименталната хидравлика

Терминът *експериментална хидравлика* понастоящем се покрива и е еквивалент на провеждане на хидравлични изследвания и експерименти върху построен физичен модел на дадено хидротехническо съоръжение, т.е. хидравлично моделно изследване. Следва да се има предвид, че изведените експериментални формули от моделни изследвания в някои случаи от световната практика са потвърдени и от натурни хидравлични изследвания.

2.1. Основи от теорията на хидравличното моделиране

Хидравличното моделиране на дадено съоръжение се основава на механичното подобие на двете системи – натура и модел, при което се изисква спазването на три вида подобие: геометрично, кинематично и динамично.

2.1.1. Геометрично подобие – определя се с мащабното число на линейните размери

$$M_L = \frac{l_n}{l_m} = \frac{b_n}{b_m} = \frac{h_n}{h_m} . \quad (7)$$

2.1.2. Кинематично подобие – скоростта и ускорението на течението при двете системи се намират в постоянно съотношение

$$M_V = \frac{V_n}{V_m} = \frac{M_L}{M_t} ; \quad M_a = \frac{a_n}{a_m} = \frac{M_V}{M_t} . \quad (8)$$

2.1.3. *Динамично подобие* – подобие на действащите върху двете системи (натура и модел) сили, при което е необходимо съществуването на еднакво съотношение на величините, определящи тези сили

$$M_F = \frac{F_H}{F_M} = M_\rho M_L^2 M_V^2. \quad (9)$$

2.2. Критерии на подобие

В зависимост от основните сили, които определят и дефинират хидравличното действие на изследваното хидротехническо съоръжение в експерименталната хидравлика, са приети следните меродавни критерии на подобие:

Критерии на Фруд – определящи са гравитационните сили

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \text{ или } Fr = \frac{V^2}{gh} = idem. \quad (10)$$

Критерий на Рейнолдс – определящи са силите на съпротивление в следствие вискозността на течността

$$Re = \frac{Vl}{\nu} = idem. \quad (11)$$

Критерий на Ойлер – определящи са силите от налягането на течността

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho V^2} = idem. \quad (12)$$

Критерий на Вебер – силите на повърхнинното напрежение са значителни и не могат да се пренебрегнат

$$We = \frac{\rho V^2 l}{\alpha_{нов}} = idem. \quad (13)$$

Критерий на Коши – определящи са силите от еластичните деформации

$$Ca = \frac{\rho V^2}{\varepsilon}. \quad (14)$$

Критерий на Струхал – определящи са инерционните сили – при нестационарни течения

$$Sh = \frac{Vt}{l} = idem. \quad (15)$$

2.3. Моделиране по Froude

Като се има предвид, че реализираните хидравлични моделни изследвания на хидротехническите съоръжения са над 90% при безнапорни течения като: преливници, бързотоци, енергогасители, трамплинни съоръжения, безнапорни тунели, мостови съоръжения, речни участъци и др., основните определящи сили са гравитационните.

При пълно геометрично подобие ($M_L = M_l = M_b = M_h$) е необходимо спазването на следните формули:

$$M_V = \sqrt{M_L}; M_Q = M_L^{5/2}; M_P = M_L; M_t = \sqrt{M_L} \text{ и } M_F = M_L^3; \quad (16)$$

$$J_n = J_m; C_n = C_m; \lambda_n = \lambda_m; \quad (17)$$

$$\eta_{mod} = \frac{\eta_n}{M_R^{1/6}} = \frac{\eta_m}{M_L^{1/6}}. \quad (18)$$

2.4. Избор на подходящ геометричен мащаб

Съгласно теорията за хидравлично моделиране приетият геометричен мащаб за построяване на физическия модел следва да бъде по-голям от минимален допустим мащаб, определен по формулата

$$M_L^{\min} = \left(\frac{Re_{nam}^{xap}}{Re_{ep}} \right)^{2/3}, \quad (19)$$

Където Re_{ep} е определено от експериментални изследвания число на Рейнолдс, чиято стойност следва да бъде по-малка или равна на съответната за модел. От световната литература за преливници, бързотоци и гасители се препоръчва стойност $Re_{ep} \approx 1,75 \div 2,5 \cdot 10^4$.

Освен по горната формула, приетият за изпълнение мащаб се проверява и по зависимостта, препоръчана от П. Г. Киселев

$$M_L^{\min} = \left(\frac{V_n \Delta_{екв}^M \sqrt{\lambda_m}}{20v} \right)^2. \quad (20)$$

3. Апаратура, която се използва при провеждането на експерименталните изследвания при хидравличните модели

3.1. Измерване на скорости

Хидрометрични витла, тръби на Pitot, Prandtl, лазерен анемометър и др.

3.2. Измерване на хидростатични и хидродинамични налягания

Пиезометри, диференциални манометри, манометър на Бурдон, датчици (тензодатчици, индуктивни датчици, капацитивни и пиезоелектрични датчици и датчици на потенциометричен принцип).

3.3. Измерване на дълбочини

Ръчно с милиметрови линейки, изработени от специална стомана, нивометри ръчни и електрически и др.

3.4. Измерване на водни количества

При открити течения: преливници, химически и ултразвукови уреди.

При напорни тръбопроводи: диафрагми или бленди, вентуриметри, ратаметри и електромагнетичен уред.

4. По-важни, изпълнени в ЦНИЛХИ хидравлични моделни изследвания

В централната научно-изследователска лаборатория за хидравлични изследвания, която понастоящем административно и научно е към катедра “Хидравлика и хидрология” са извършени всички моделни изследвания на построените големи язовири в България. Въведена е в експлоатация през 1953 г., като първият хидравличен модел е изпълнен същата година и е на язовир “Росица”.

Проведените хидравлични моделни изследвания на известните по-големи язовири в България и по-специално на съоръженията за отвеждане на високите води са следните:

- язовир “Студен кладенец” – 1954 г.;
- язовир “Кърджали” – 1955 г., допълнителен модел 1956 г.;
- язовир “Батак” – 1955 г.;
- язовир “Тополница” – 1958 г.;
- язовир “Доспат” – 1959 г., допълнителен модел 1962 г.;
- язовир “Христо Смирненски” – 1961 г.;
- язовир “Ивайловград” – 1961 г.;
- язовир “Антонивановци” и “Кричим” – 1963 г. И 1964 г.;
- язовир “Белмекен” – 1968 г.;
- язовирите: “Сърнена река”; “Овчарица”; “Пясъчник” – 1967–1968 г.;
- язовир “Чаира” – 1973 г.;
- хидровъзел “Никопол–Турнумагуреле” – общ хидравличен и аеродинамичен модел – 1975 г. и фрагменти модели 1975 и 1976 г.
- проектирани, изследвани, но непостроени язовири:
- каскада “Горна Арда”: язовирите “Мадан”, “Ардино” и “Сърница” – 1998 и 1999 г.

Последният голям построен и в експлоатация язовир с проведени моделни изследвания и препоръчан окончателен вариант за преливник и гасител е на язовир “Цанков камък” (дъгова язовирна стена висока 115 m) – преливник с 4 отделни полета, съоръжен със сегментни затвори и $Q_{\max}^{op} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$.

В ЦНИЛХИ са проведени и хидравлични моделни изследвания за чужбина:

- за Алжир – 7 хидравлични моделни изследвания на големи язовири;
- за Сирия – 4 хидравлични моделни изследвания;
- за Ирак и Либия по едно хидравлично моделно изследване.

Освен за преливни и гасителни съоръжения към язовирни стени, хидравлични моделни изследвания са провеждани за АЕЦ “Козлодуй” и АЕЦ “Белене”, т.е. хидравлични моделни изследвания на речни участъци с хидротехнически съоръжения.

Накрая ще спомена, че експерименталната хидравлика се разпростира и към морските съоръжения като: пристанища, кейови, брегоукрепителни и брегозащитни съоръжения, където се възпроизвеждат морски вълни с различна директория и обезпеченост.

В ЦНИЛХИ са изследвани 5 български и 4 чуждестранни пристанища (Куба, Никарагуа и Алжир).

В заключение ще направя презентация на две хидравлични моделни изследвания за български язовири – “Пловдивци” – 2012 г. и “Луда Яна” – 2014 г., както и за два чуждестранни обекта: (2 язовира в Албания – язовир “Banja” и язовир “Moglice”).

EXPERIMENTAL HYDRAULICS – A REQUIREMENT FOR ADEQUATE DESIGN AND RISK-FREE OPERATION OF THE STRUCTURES AT HIGH DAMS

B. Kazakov¹

Keywords: flood discharge structures at dams, theory of similarity, hydraulic modeling

Research area: engineering hydrology, hydraulics and water management

ABSTRACT

The present article is of popular science type. Brief historical notes concerning the evolution of the experimental hydraulics from Archimedes (205 BC), through the Renaissance represented by Leonardo Da Vinci up to nowadays are presented. The basic laws for hydraulic modeling, the similarity criteria, the main principles and equations of the theory for hydraulic modeling of open channel flows governed by the gravitational forces, i.e. modeling after Froude, are shortly introduced. Some of the largest Bulgarian dams, for which hydraulic model tests of the flood discharge structures are performed in CSRLHI, including the first Bulgarian hydraulic model of Rositsa dam, are described.

¹ Bogdan Kazakov, Prof. Dr. Eng., Dpt. “Hydraulics and Hydrology”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: peter_v@gyuvetch.bg

