



## Basic quantities in determining the instantaneous water quantities in open river courses

Plamen Angelov \*

*National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH),*

*Tsarigradsko shose 66, 1784 Sofia, Bulgaria*

**Abstract:** A physical quantity is measured by specialized technical means called measuring devices (measuring devices or systems of devices). In open river courses, the main object of observation is the water flow. Determining the amount of water is a set of mathematical calculations of quantities whose value changes over time. This manuscript focuses on quantity parameters, directly related to determining the amount of water, such as flow velocity, depth of flow, slope of the water surface, as well as dimensionless quantities (coefficients) that determine the final result of the calculation.

**Key words:** water flow, velocity, depth, area, cross section, water quantity

## Основни величини при определяне на моментните водни количества при открити речни течения

Пламен Ангелов

*Национален институт по метеорология и хидрология,*

*Цариградско шосе 66, 1784 София*

**Резюме:** Физическата величина се измерва със специализирани технически средства, наречени измервателни уреди (измервателни уреди или системи от уреди). В откритите речни течения основният обект на наблюдение е водният поток. Определянето на количеството вода е набор от математическо пресмятане на величини, чиято стойност се променя във времето. В тази публикация ще посочим параметри на величините, пряко свързани с определянето на количеството вода, като скорост на потока,

---

\* plamen.angelov@meteo.bg

## *Основни величини при определяне на моментните водни количества при открити речни течения*

дълбочина на потока, наклон на водната повърхност, както и безразмерни величини (коефициенти), определящи крайния резултат от изчислението.

**Ключови думи:** воден поток, скорост, дълбочина, площ, напречно сечение, водно количество

## **1. ДИСКУСИЯ ПО ПРОБЛЕМА**

Извършването на оперативна дейност по измерване и наблюдение на повърхностните и подземни води в Р. България е важна част от стратегията за управление на водните обекти на страната. В тази част са обхванати предимно естествените водни течения (реки) като в някои отделни случаи се разпростира и върху важни за регионалния воден баланс хидротехнически канали от водностопанската инфраструктура на страната. От това следва, че провежданите хидрометрични изследвания в тази сфера се извършват върху обекти, които от хидравлична гледна точка попадат към категорията на безнапорните течения. Измерването на скорости на течението с хидрометрично витло е с достатъчно висока точност (Тодоров и др., 2014 ?; Carter et al., 1963; Water measurement manual, 1997). Това обаче не се отнася до повърхностните скорости на течението. При преминаването към средните скорости във вертикалите се получават допълнителни грешки, защото теоретичното моделиране на разпределението на скоростите в дълбочина не винаги съответства на практическата обстановка. Нови грешки се добавят и при разделянето на напречния профил на идеализирани сектори, както и при геометричното измерване на неговите размери.

## **2. ВИДОВЕ ХИДРОМЕТРИЧНИ ВИТЛА**

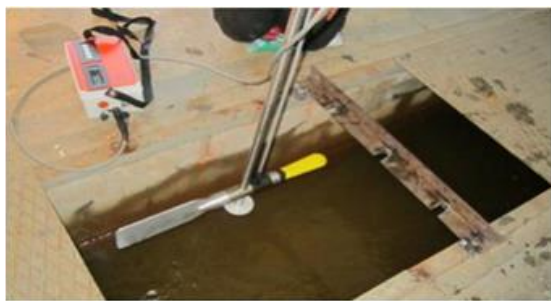
Хидрометричното витло (Фигура 1) е измервателен уред, който реагира на скоростта на водното течение в точката, където се намира сензорната му ос. У нас масово се използват механичните хидрометрични витла, при които течението предизвиква въртене на винтова перка с ъглова скорост, пропорционална на скоростта на течението. При измервания с такъв уред (Метод на хидрометричното витло) трябва да се има в предвид дълбочината на речния профил, за да бъде спазено условието на измерване в 1, 2, или 3 точки а именно:  $0.2h$ ,  $0.6h$  и  $0.8h$ , където  $h$  е дълбочина на потока.

През последните десетилетия бяха конструирани прибори за измерване на скоростта, без механично подвижни части. Един тип от тях функционират въз основа на принципа за електромагнитната индукция, като измерват електрическия потенциал, създаден от концентрирано магнитно поле върху движещия се воден пласт между два електрода (Фигура 2). Съгласно закона за електромагнитната индукция (закон на Фарадей), индуцираният електрически потенциал е пропорционален на скоростта на водата.



**Фиг. 1.** Хидрометрично витло с перка  
Ø 80mm

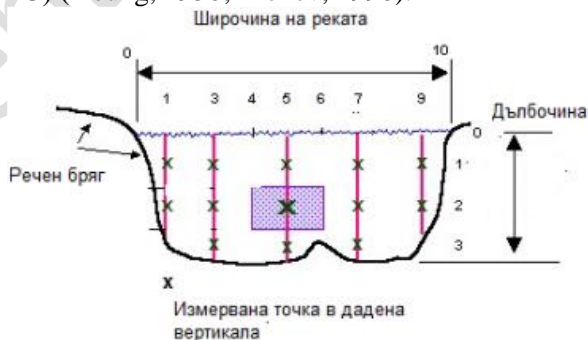
**Fig. 1.** Hydrometric propeller with a blade Ø  
80mm



**Фиг. 2.** Магнитно индукционно витло

**Fig. 2.** Magnetic induction propeller

Независимо от конструкцията на уреда за измерване на скоростите, технологията за определяне на протичащото водно количество през напречното сечение на реката е една и съща. Хидрометричното витло или друг тип скоростомер се спускат от служебния мост на стоманена щанга във предварително определени точки от напречното сечение на измервателния профил. Във всяка точка се измерва скоростта на течението. Съгласно утвърдената хидрометрична практика, измервателните точки се подреждат в последователни вертикални прави, наречени "скоростни вертикали" (Carter at all., 1963; Angelov, 2017). Начинът за избор на вертикалите и броя на точките по тях е рутинна технология. С получените резултати се изчислява средната скорост на водата във/по всяка вертикала, след което чрез елементарни геометрични изчисления се определя водното количество в целия напречен профил. (Фигура 3) (Young, 1950; Monev, 1998).



**Фиг. 3.** Определяне на средната редната скорост на водата във всяка вертикала

**Fig. 3.** Determination of the average linear velocity of the water in each vertical

*Основни величини при определяне на моментните водни количества при открити речни течения*

Получените резултати се обработват чрез софтуерна програма, по дигитализиран вариант, като в този случай е показан метода на Харлахер при коефициент на бреговете  $K = 0.9$  за вертикални гладки брегове (Таблица 1) (Guide to hydrological practice, 1994).

**Таблица 1.** Река Елешница № 18050 метод – скорост площ, калкулиране на водното количество използвайки хидрометрично витло, воден стоеж: 66cm

**Table 1.** Eleshnitsa river No. 18050 method - velocity area, calculation of the water quantity using a hydrometric propeller, water level: 66cm

Точки на измерване	Разстояние m	Дълбочина m	Площ m <sup>2</sup>	0.6 дълб. m	скорост m/s	Водно кол. m <sup>3</sup> /s
Начална точка 1	7.3	0	0	0	0	0
2	7.5	0.08	0.016	4.8	0.525	0.008400
3	8	0.1	0.050	6	1.129	0.056450
4	8.5	0.17	0.085	10	1.105	0.093925
5	9	0.23	0.115	14	1.455	0.167325
6	9.5	0.49	0.245	30	1.180	0.289100
7	10	0.5	0.250	30	1.199	0.299750
8	10.5	0.52	0.260	31	1.214	0.315640
9	11	0.51	0.255	30	1.181	0.301155
10	11.5	0.52	0.260	30	0.960	0.249600
11	12	0.52	0.260	32	0.932	0.242320
12	12.5	0.53	0.265	30	1.080	0.286200
13	13	0.5	0.250	31	0.830	0.207500
Крайна точка 14	13.3	0.47	0.235	28	0.758	0.178130
					Q	2.695495

## 2.1. Определяне на наклона на водната повърхност

Тази задача е от голямо значение за правилното формиране на водното количество при всички диапазони на измерване. Основната задача е снемане на характерни точки на профила на реката чрез нивелир от ново поколение или чрез нивомерни рейки (Фигура 4) (Marinov et al, 1979) “вързани“ в двата края на основния створ и определяне на характерния ъгъл на наклона. В някои от случаите този наклон може да достигне от 1 до 1.5 градуса, но е строго индивидуален за конкретната станция, мени се при нехарактерни екстремни водни нива, респективно водни количества. Много е важно правилното отчитане на нивомерната рейка разграфена през 2 см, с дължина в зависимост от терена и речния створ.



**Фиг. 4.** Определяне на наклоните на водната повърхност с помощта на нивомерни рейки, монтирани в спомагателните створове

**Fig. 4.** Determining the slopes of the water surface with the help of level gauges installed in the auxiliary beams

Хидрологичните процеси спадат към случайните явления. Известно е, че тяхното изследване става най-добре чрез дългогодишни серии от наблюдения. Речният отток, като стохастичен процес е една от най-важните компоненти на хидросферата, от чието изучаване зависят множество други дейности на съвременните общества. Преките наблюдения върху режима на речния отток са тясно специализирана дейност, върху която се базира изграждането и експлоатацията на един цял отрасъл – националното водно стопанство и защитата на водите от вредното въздействие на засушаванията и наводненията.

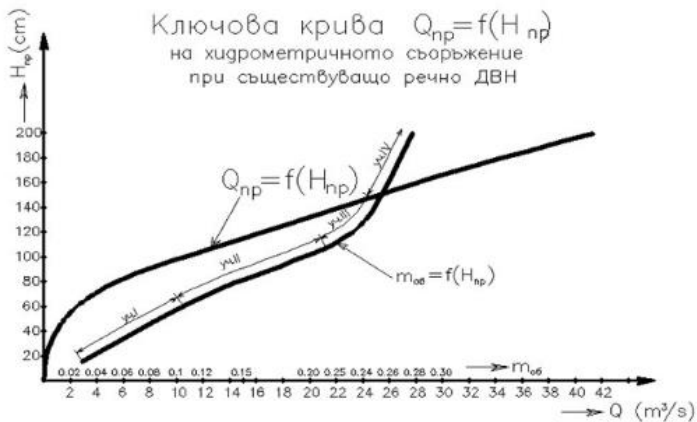
Периодичното измерване на водното количество при хидрометричните станции е важна процедура при тази дейност, без която е невъзможна количествената оценка на повърхностните водни ресурси. При хидрометричните станции, все още се водят непрекъснати или срочни наблюдения само върху водния стоеж в реките (Rantz et al., 1982). Това се дължи на обстоятелството, че те се осъществяват със сравнително прости средства, които не са чувствителни към режимните промени в кинематичната структура на речните течения. Известно е, че през фазата на високите води речните течения развиват огромни влачещи сили и причиняват изравняния на речното легло и бреговете, което в последствие води до наслагвания на транспортираните седименти в други негови участъци. На такъв режим трудно може да устои каквато и до било измервателна апаратура, намираща се в непрекъснат пряк контакт с течението. За преминаване от наблюдаваните водни стоежи в реките към стойността на протичащото в момента водно количество се използват т.н. “ключови криви“.

### 3. КЛЮЧОВИ КРИВИ

Ключовите криви изразяват емпиричната зависимост между водния стоеж и водното количество. Най-сигурният начин за нейното получаване е чрез измерване на водното количество при различни водни стоежи в реката. Този

*Основни величини при определяне на моментните водни количества при  
открити речни течения*

подход е рутинна практика у нас и се прилага систематично още от 1935 година, до когато са съществували т.н. "водочетни" станции за наблюдения само над водните стоежи при ограничен брой речни пунктове. Построяване на ключовата крива (Фигура 5) е връзка, която зависи от геометрията и морфологията на речното легло. Проблемът, който съществува от тогава и до днес е, че поради изложените по-горе причини тя е много динамична и изменения в нея могат да се наблюдават след преминаването на всяка висока вълна по реката. Това налага извършването на няколко актуализации в течение на всяка година. Добрата практика налага измерванията на водните количества да се извършват след преминаването на всяка значителна висока вълна. Това не винаги е лесно осъществимо, защото максимален отток често се наблюдава едновременно в реките на големи райони, което е особено характерно за пролетното пълноводие.



**Фиг. 5.** Построяване на ключовата крива, връзката между водното ниво през съоръжението и дебита

**Fig. 5.** Construction of the key curve, the relationship between the water level through the facility and the flow rate.

Определянето на водните количества в открити течения и в частност естествени речни корита е задача, чието решение изисква прецизна оценка на хидроложките и хидравлични характеристики в зоната на водомерния створ, чиито положение, геометрични и морфоложки параметри също имат водеща роля. За директното определяне на преминаващите през съоръжението водни количества е необходимо построяване на ключовата крива, изясняване връзката между водното ниво пред съоръжението и дебита.

Графичната зависимост представлява сложна крива линия, която може да се фрагментира на 4 подучастъка. Участък I отговаря на преливни височини  $H_{np}$  от 20 до 60 см. Участък II отговаря на преливни височини от 60 до 110 см., където работи целия створ. В този участък кривата е с незначителна кривина т.е. може да се апроксимира с права линия. Участък III е обособен при преливна височина

$H_{пр}$  от 110 до 144 cm, като в него кривата представлява вдлъбната парабола. Участък IV отговаря на максимални преливни височини  $H_{пр}$  от 1,44 до 2,0 m. В тази зона графиката съответства на почти права линия (Тодоров и др., 2014).

#### 4. ИЗВОДИ

В статията са разгледани основни величини при определяне на моментните водни количества в открити речни течения.

Стъпките при определянето им могат да бъдат обобщени по следния начин:

- Измерените водни количества се изчисляват с помощта на софтуер и се прилагат коригиращи коефициенти.
- Речните дълбочини се измерват, чрез хидрометрична шанга, или нивелачна лата чрез дигитален нивелир. Построява се напречен профил.
- Позиционирането на сензора (скоростомер) има голямо влияние, той трябва да бъде фиксиран, -перпендикулярно на потока.
- Предимство на магнитоиндуктивния принцип е, че няма въртящи се части и няма нужда от калибриране. Формулата с поправъчния коефициент е въведена в измервателния уред още от завода при направени тестове.
- Изписаният на дисплея резултат се получава бързо.
- Необходими са периодични измервания с цел построяване на ключови криви за коректно отразяване на моментното водно количество.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Статията е базирана на изследователски проект „Определяне на количеството вода в открити реки и канали по метода скорост-площ”. Благодаря на колегите, които проявиха търпение в дъждовното време по време на измерването.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Angelov, P.A. (2017) Contemporary Devices for Measurement of Water Discharge in Open Flows, XXVII CONFERENCE of The Danubian Countries On Hydrological Forecasting And Hydrological Bases Of Water Management, 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria, ISBN 978-654-90537-2-2, [www.danubeconference2017.org](http://www.danubeconference2017.org), p. 42-48.
- Carter, R.W. and I.E. Anderson, (1963) Accuracy of current-meter measurements, Journal of Civil Engineers, ASCE, v. 89, no. HY4, p. 105-115.
- Guide to Hydrological Practice, (1994) WMO, 168 p.
- Marinov, I., Mandanzhiev, D., Gerasimov G., Pechinov, D. (1979) Hydrological Handbook, Part I., Technica State Publishing House, 415 p.
- Monev E. S., (1998) Engineering Hydrology and Hydraulics - Hydrological and Hydraulic Calculations, Water Supply Equipment, Correction, Drainage, Inspection and Targeting of Overflow Systems.
- Rantz, S. E. et al. (1982) Measurement and Computation of Streamflow, USGS Water Supply Paper 2175. <http://water.usgs.gov/pubs/wsp/wsp2175/index.html>.

*Основни величини при определяне на моментните водни количества при  
открити речни течения*

Тодоров, П., Лисев, Н., Кукурин, В., Тачев. С. (2014) Съоръжение за измерване на водните количества, преминаващи през долното течение на р. Провадийска, Science & Technologies, Volume IV, Number 4, 136-140. <https://www.sustz.com/journal/VolumeIV/Number4/Papers/PeterTodorov1.pdf>

US Bureau of Reclamation, Water Measurement Manual, Third Edition. (available online at <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm>), 1997.

Young, K.B. (1950) A comparative study of mean-section and mid-section methods for computations of discharge measurements, USGS open-file report, 52 p.

Accepted for publication