

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  
„65<sup>th</sup> Anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15<sup>th</sup> Anniversary Hydraulic Engineering in German”

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

XLVII <sup>ТОМ</sup>  
vol.

2014

св.  
fasc. I-A

## МЕТОДИКА И ПРОГРАМА ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА СТРАНИЧЕН ДЪЖДОПРЕЛИВНИК

Р. Арсов<sup>1</sup>, Т. Игнева-Данова<sup>2</sup>

*Ключови думи:* страничен преливник, хидравлично оразмеряване, методика и програмен продукт

*Научна област:* водоснабдяване, канализация и пречистване на водите

### РЕЗЮМЕ

Хидравличното оразмеряване на странични преливници обикновено се извършва по адаптирана опростена формула за челен преливник, без да се отчита видът на движението на водата в преливника (бурно или спокойно) и на скоростния напор. Това обикновено води до получаване на некоректна дължина на преливния ръб.

В настоящата статия се предлага преливният напор да бъде редуциран със стойността на скоростния напор на основния поток на всяка дискретна стъпка по неговата дължина. При бурни течения, особено при големи скорости на основния поток, тази корекция е значителна. В статията се предлагат методика и програмен продукт за точното определяне на дължината на преливния ръб чрез използване на основното диференциално уравнение на страничен преливник, с отчитане влиянието на формата на преливната линия, на скоростния напор и вида на течението (бурно или спокойно) в границите на преливния канал. Представен е и числен пример, решен с програмния продукт.

### 1. Въведение

Основното уравнение на неравномерно движение на поток в призматичен канал с правоъгълно напречно сечение в обхвата на страничен преливник е изведено на

<sup>1</sup> Румен Арсов, проф. дтн инж., кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на водите“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: r\_arsov\_fhe@uasg.bg

<sup>2</sup> Таня Игнева-Данова, д-р инж., кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на водите“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: igneva@mail.bg

основата на закона за изменение на количеството на движението (втория закон на Нютон) и с приемане на предпоставката на Де Марки, т.е.  $i = I$  и може да бъде представено в следния вид [1, 3]:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{\omega Q}{BQ^2 - g\omega^3} \left( -\frac{dQ}{dl} \right), \quad (1)$$

където  $h$  е водният стоеж в дадено сечение по дължината на канала на преливника;

$Q$  – водното количество в дадено сечение по дължината на канала (винаги намаляващо, което се индикира чрез отрицателната стойност на неговия градиент  $dQ/dl$ );

$B$  – широчината на канала; приема се равна на диаметъра на довеждащия тръбопровод;

$l$  – линейната координата по оста на канала;

$\omega$  – площта на живото сечение на потока в дадено сечение по дължината на канала;  $\omega = Bh$ ;

$i$  – наклонът на дъното на канала в обсега на преливника;

$I$  – хидравличният наклон в обсега на преливника.

В горното уравнение неизвестните параметри, променливи по дължината на канала, са водният стоеж  $h$  и водното количество  $Q$ . За тяхното еднозначно определяне във всяко сечение по дължината на потока е необходимо още едно уравнение. Например елементарното водно количество  $dQ_{np}$ , преливащо през елементарна дължина на страничния преливен ръб  $dl$  може да бъде определено с достатъчна точност по формулата за челен преливник [1]

$$\frac{dQ_{np}}{dl} = m\sqrt{2g(h-p)^3}, \quad (2)$$

където  $p$  е височината на преливния ръб;

$m$  – коефициентът на водното количество;  $m = \frac{2}{3}\mu$ ;

$\mu$  – коефициентът на стеснение на преливащата струя;  $\mu = 0,65 - 0,75$ ;

$g$  – земното ускорение.

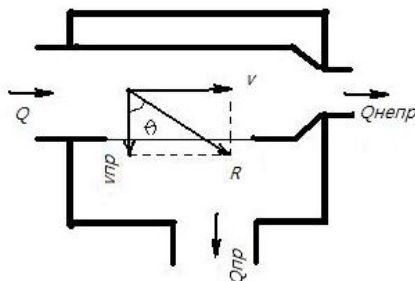
Трябва да се има предвид, че при страничния преливник основният поток има определена инерция, чиято големина зависи от скоростта му, която е насочена успоредно на преливния ръб. Това обстоятелство трябва да бъде отчетено при прилагането на формулата за челен преливник, където липсва такъв инерционен компонент, перпендикулярен на посоката на преливане.

Известно е, че върху всяка точка от праволинеен флуиден поток действа налягане, определено от баланса между съответното хидростатично налягане и това, определено от скоростта на потока (т.е. налягането, асоциирано със скоростния напор съгласно уравнението на Бернули. Предвид на това, преливният напор  $h - p$  в уравнение (2) трябва да бъде коригиран с определена величина, зависеща от стойността на скоростния напор на основния поток

$$\frac{dQ_{np}}{dl} = m\sqrt{2g(h - \alpha v^2 / 2g - p)^3} = m\sqrt{2g(h - \alpha Q^2 / 2gB^2 h^2 - p)^3}, \quad (3)$$

където  $Q$  и  $B$  са както при формула (1);

$\alpha$  – параметър, отразяващ степента на влияние на скоростта на основния поток върху преливащото водно количество при страничен преливник.



Фиг. 1. Схема на скоростните вектори на потоците при страничен преливник

Параметърът  $\alpha$  може да бъде интерпретиран теоретично като синус от ъгъла  $\theta$ , който сключва сумарният вектор на потока  $R$  с неговия компонент, насочен по оста на основния поток (фиг. 1)

$$\alpha = \sin \theta = \frac{v}{R} = \frac{v}{\sqrt{v^2 + v_{np}^2}} = \frac{v}{\sqrt{v^2 + 2g(h-p)}}, \quad (4)$$

където  $v_{np}$  е скоростта на преливащия поток.

Предвид формула (4), уравнение (3) може да бъде представено в следния вид:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_{np}}{dl} &= m\sqrt{2g(h-v^3/2g\sqrt{v^2+2g(h-p)}-p)^3} = \\ &= m\sqrt{2g(h-Q^3/2gB^2h^2\sqrt{Q^2+2gB^2h^2(h-p)}-p)^3}. \end{aligned} \quad (5)$$

При спокойно течение, където скоростта на основния поток е сравнително малка, корекцията на преливния напор е незначителна и може да бъде пренебрегната. При бурни течения, особено при големи скорости на основния поток, тази корекция е значителна. При много големи скорости може да се окаже, че скоростният напор е равен или по-голям от пиезометричния напор  $h$ , при което страничното преливане става невъзможно поради свиването на струята в границите на основния поток.

С уравнение (3) в системата от двете уравнения се въвежда още една – трета неизвестна величина, променлива по дължината на потока и на преливния ръб – преливащото водно количество  $Q_{np}$ , поради което за определяне на неизвестните променливи е необходимо още едно уравнение. Като трета необходима зависимост относно страничен преливник може да бъде използвано уравнението на непрекъснатостта, което за всяко сечение по дължината на потока може да бъде записано във вида

$$Q_0 = Q + \int_{i=1}^l Q_{np,i} = \text{const}, \quad (6)$$

където  $Q_0$  е водното количество в канала непосредствено преди страничния преливник.

Системата от горните три уравнения може да бъде решена с числен метод – например чрез дискретизация по крайни разлики, при зададена (приета) височина  $p$  на преливния ръб. Тя се определя от водния стоеж в довеждащия колектор при протичане в него на непреливащото водно количество  $Q_{непр}$ , което се задава съгласно израза

$$Q_{непр} = Q_c(1 + n_0), \quad (7)$$

където  $Q_c$  е максималното часово водно количество, протичащо в канала в сухо време;  $n_0$  – коефициент (степен) на разреждане на битовите отпадъчни води с дъждовните;  $n_0 = 4 \div 8$ , обикновено се приема  $n_0 = 5$ .

Дължината на преливния ръб  $L$  трябва да осигури преливането на сумарното преливащо водно количество  $Q_{np} = \int_{i=1}^L Q_{np,i}$ . Относно последното е валидно следното

балансово уравнение:

$$\int_{i=1}^L Q_{np,i} = Q_0 - Q_{непр} = Q_{np}, \quad (8)$$

където  $L$  е дължината на преливния ръб.

Сумата от променливите водни количества, преливащи през преливния ръб –  $Q_{np}$  е фиксирана чрез стойностите на постоянните (известни, зададени) величини в дясната част на горното балансово уравнение. От друга страна, нейната стойност зависи от дължината на преливния ръб  $L$ , която е горната граница на интегралната сума в лявата част на уравнение (8). Необходимата дължина на преливния ръб  $L$  може да бъде определена чрез балансовото уравнение (8) при такава стойност на горна граница на интегралната сума, която осигурява предварително определената стойност на сумарното преливащо водно количество  $Q_{np}$ .

## 2. Числено решение

Практическото решаване на задачата за определяне на необходимата дължина на страничен преливен ръб  $L$  може да бъде реализирано на базата на разгледаните по-горе зависимости (1), (3), (6) и (8), представени в крайни разлики с приета стъпка  $\Delta l$  на линейната координата  $l$ , съответно – уравнения (9), (10), (11) и (12):

$$\Delta h = \frac{\bar{Q}_i \bar{h}_i}{\bar{Q}_i^2 - gB^2 \bar{h}_i^3} (\bar{Q}_i - \bar{Q}_{i-1}); \quad (9)$$

$$\Delta \bar{Q}_{np,i} = m \Delta l \sqrt{2g(\bar{h}_i - \bar{Q}^3 / 2gB^2 \bar{h}_i^2 \sqrt{Q^2 + 2gB^2 \bar{h}_i^2 (\bar{h}_i - p) - p})^{\frac{2}{3}}}; \quad (10)$$

$$\bar{Q}_i = \bar{Q}_{i-1} - \Delta \bar{Q}_{np,i}; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^k \Delta \bar{Q}_{np,i} = Q_{np} \pm \varepsilon, \quad (12)$$

където  $\Delta h$  е градиентът на водното ниво в обхвата на елементарна дължина  $\Delta l$ ;

$\bar{h}_i$  – средната стойност на водния стоеж в обхвата на елементарната дължина  $\Delta l$ ;

$\bar{Q}_i$  – средната стойност на водното количество в канала на преливника в обхвата на елементарната дължина  $\Delta l$ ;

$\Delta \bar{Q}_{np,i}$  – средната стойност на преливащото водно количество в обхвата на елементарната дължина  $\Delta l$ ;

$k$  – броят на изчислителните стъпки, при който е изпълнено условието (12);

$\varepsilon$  – зададената точност на изчисленията относно удовлетворяването на балансовата зависимост (12).

Чрез съвместното решаване на алгебричните уравнения (9), (10) и (11) в изчислителен цикъл със стъпка  $i = 1 \div k$  при пространствена дискретизация  $\Delta l$  могат да бъдат получени съответните стойности на променливите по дължината на потока негови параметри  $h_i$ ,  $Q_i$  и  $Q_{np,i}$ . От уравнение (12) може да бъде определен броят на изчислителните стъпки  $k$ , при който е изпълнено балансовото условие. Тогава търсената дължина на преливния ръб  $L$  може лесно да бъде определена чрез зависимостта (13)

$$L = k\Delta l. \quad (13)$$

Точното числено хидравлично оразмеряване на страничен преливник зависи от точното определяне на пиезометричната (преливната) линия по дължината на преливния канал.

При странични преливници могат да бъдат наблюдавани следните форми и тенденции на изменение на преливните линии, т.е. на изменението на водния стоеж по дължината на канала  $h = f(l)$ :

- понижаваща (вдлъбната или изпъкнала) линия;
- повишаваща (изпъкнала) линия.

Формата и тенденцията на изменение на преливната линия зависи от енергийното състояние на потока около и в обхвата на преливника – бурно или спокойно движение на водата.

Видът на течението в границите на преливния канал се определя чрез отношението на действителната дълбочина  $h_{прел}$  и критичната дълбочина  $h_{кр,прел}$  на потока, които са променливи по неговата дължина в зависимост от формата на преливната линия, която на този етап не е известна.

Видът на течението преди и след преливника може да бъде определен чрез отношението на действителните дълбочини  $h_i$  и критичните дълбочини  $h_{кр,i}$  на поток, съответно в довеждащата тръба ( $Q = Q_0$ ), в отвеждащата тръба ( $Q = Q_{непр}$ ) и в преливния канал ( $Q \neq const$ ):

$$h_{кр,1} = \sqrt[3]{\frac{Q_0^2}{gB^2}}; \quad h_{кр,2} = \sqrt[3]{\frac{Q_{непр}^2}{gB^2}}. \quad (14)$$

Критичната дълбочина в преливния канал  $h_{кр,прел}$  не може да бъде определена еднозначно поради променливото водно количество по дължината на преливника. За

вида на течението в преливния канал обаче, в началото на изчислителния процес може да се съди индиректно, чрез съотношенията на действителните дълбочини в довеждащата и в отвеждащата тръба  $h_1$  и  $h_2$  и съответните критични дълбочини  $h_{кр,1}$  и  $h_{кр,2}$ , както и според наклона на дъното на преливния канал  $i_{прел}$ .

В процеса на изчисленията с дискретна стъпка  $\Delta l$  може да бъде проследявана и динамиката на бурно течение в преливния канал, което при определени условия може да премине спокойно в рамките на преливния ръб. В такъв случай, поради преходното състояние на потока чрез хидравличен скок, хидравличните условия не могат да бъдат дефинирани точно, поради което решението губи физическата си основа и трябва да бъде прекратено. Наличието на такъв преход може да бъде установено чрез проверка при всяка дискретна стъпка  $\Delta l$  на условието

$$\bar{h}_i \leq \bar{h}_{кр,i}; \quad h_{кр,i} = \sqrt[3]{\frac{\bar{Q}_i^2}{gB^2}}, \quad (15)$$

където  $\bar{h}_i$  е средна стойност на водния стоеж в обхвата на елементарната дължина  $\Delta l$ ;

$\bar{Q}_i$  – средна стойност на водното количество в канала на преливника в обхвата на елементарната дължина  $\Delta l$ .

Ако условието (15) е изпълнено, то към този момент от изчислителната процедура течението остава бурно. В противен случай течението преминава в спокойно състояние чрез хидравличен скок и изчисленията трябва да бъдат прекратени, т.е. задачата няма решение, защото става неопределима.

Изчисленията по уравнения (9) ÷ (13) се провеждат в итеративен цикъл. Числените хидравлични изчисления на страничния преливник се провеждат в определена последователност по отношение на посоката на основния поток, в зависимост от формата на преливната линия, свързана с вида на течението в границите на преливния канал – бурно или спокойно. При бурно течение, изчисленията се провеждат с последователност на нарастване на броя на дискретните стъпки  $\Delta l$  по посока на основния поток, като се започне от началото на преливния ръб. При спокойно течение изчисленията се провеждат с последователност на нарастване на броя на дискретните стъпки  $\Delta l$  по посока, обратна на тази на основния поток, като се започва от края на преливния ръб.

Очевидно изчисленията по горните процедури е най-добре да бъдат проведени чрез съответна компютърна програма. Такъв програмен продукт е разработен от нас и е инсталиран на 25 локални работни места в компютърната лаборатория на Хидротехническият факултет. Той е на разположение за ползване при свободен достъп от студенти и от външни потребители.

### 3. Резултати

Софтуерният продукт „страничен преливник“ е разработен в интегрирана среда за разработка на софтуерни приложения Microsoft Visual Studio 2012. Използваният език за програмиране е Visual Basic.



Фиг. 2. Стартиращ екран на програма „страничен преливник“

След стартиране на програмния продукт (фиг. 2) се отваря прозорец за входни данни, където потребителят трябва да въведе следните хидравлични параметри, предварително изчислени в процеса на оразмеряване на разглежданата канализационна мрежа:

- оразмерително количество в довеждащия тръбопровод преди преливника,  $Q_{дов.тр.} = Q_0, \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- непреливащо водно количество след преливник,  $Q_{непр.}, \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- височина на преливния ръб (при проверовъчна задача),  $p, \text{ m}$ ;
- воден стоеж  $h_{1дов.тр.}$  в довеждащия тръбопровод при протичане в него на оразмерителното водно количество  $Q_0, \text{ m}$ ;
- воден стоеж  $h_{2отв.тр.}$  в отвеждащия тръбопровод при протичане в него на оразмерителното водно количество  $Q_0, \text{ m}$ ;
- диаметър  $D_{дов.тр.}$  на довеждащия тръбопровод,  $\text{ m}$ ;
- диаметър  $D_{отв.тр.}$  на отвеждащия тръбопровод,  $\text{ m}$ .

В опцията за проверовъчната задача височината на преливния ръб  $p$  е предварително известна и се въвежда. В опцията за оразмерителна задача се въвежда водният стоеж в довеждащия тръбопровод при преминаване на  $Q_{непр}$  в него.

След въвеждане на входните данни се преминава към изчисление на неизвестния параметър – дължина на преливния ръб  $L$ . Както бе споменато по-горе, начинът на извършване на изчисленията зависи от вида на течението в преливния канал. В следващия прозорец за резултатите се извеждат пресметнатите критични дълбочини на потока в довеждащия тръбопровод ( $h_{кр.1}$ ) и отвеждащия тръбопровод ( $h_{кр.2}$ ), както и дължината на преливния ръб  $L$ . Извежда се и съобщение за вида на течението в преливния канал (спокойно или бурно) или наличието на хидравличен скок. В последния случай се извежда съобщение за невъзможност за точно числено оразмеряване на преливника.

В табл. 1 са представени сравнителните резултати от оразмеряване на странични преливници при различни състояния на течението (спокойно и бурно). Разгледани са три двойки преливници с еднакво водно количество в довеждащия тръбопровод и непреливащо водно количество, но с различни скорости и диаметри на довеждащия и отвеждащия тръбопровод. В резултат във всяка двойка преливници се наблюдава съответно бурно и спокойно движение на потока. Разликата в режима на движение определя и различната изчислителна схема и различните резултати за дължина на преливния ръб (колона 11 на табл.1).

**Таблица 1. Резултати от оразмеряване на страничен преливник**

| Qдов.тр.          | Qнепр.            | vдов.тр. | Dдов.тр. | Dотв.тр. | p    | h1  | h2   | hкр.1 | hкр.2 | L(страничен преливник) | DL     | Вид движение | L (формула за челен преливник) |
|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|------|-----|------|-------|-------|------------------------|--------|--------------|--------------------------------|
| m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m/s      | m        | m        | m    | m   | m    | m     | m     | m                      | %      |              | m                              |
| 1                 | 2                 | 3        | 4        | 5        | 6    | 7   | 8    | 9     | 10    | 11                     | 12     | 13           | 14                             |
| 2.00              | 0.5               | 3.99     | 0.80     | 0.35     | 0.24 | 0.8 | 0.35 | 0.86  | 0.59  | 6.03                   | 24.24  | БУРНО        | 4.57                           |
| 2.00              | 0.5               | 1.55     | 1.00     | 0.50     | 0.30 | 1   | 0.5  | 0.74  | 0.47  | 2.49                   | -31.58 | СПОКОЙНО     | 3.27                           |
| 1.50              | 0.16              | 3.88     | 0.70     | 0.30     | 0.11 | 0.7 | 0.3  | 0.78  | 0.31  | 4.77                   | 21.88  | БУРНО        | 3.73                           |
| 1.50              | 0.16              | 3.00     | 0.80     | 0.35     | 0.12 | 0.8 | 0.35 | 0.71  | 0.28  | 2.59                   | -17.65 | СПОКОЙНО     | 3.05                           |
| 1.20              | 0.16              | 2.35     | 0.80     | 0.35     | 0.16 | 0.8 | 0.35 | 0.61  | 0.28  | 2.10                   | -23.46 | СПОКОЙНО     | 2.59                           |
| 1.20              | 0.16              | 4.23     | 0.60     | 0.30     | 0.12 | 0.8 | 0.3  | 0.74  | 0.31  | 3.08                   | 23.08  | БУРНО        | 2.37                           |

#### 4. Заключение

Анализът на резултатите показва, че при бурно течение за дължина на преливния ръб се получава много по-голяма стойност в сравнение с тази при спокойно течение на потока, което е очаквано и логично.

В приложената таблица са показани и относителните разлики в проценти между дължините на преливните ръбове, изчислени по традиционно използваната в практиката опростена формула за оразмеряване на страничен преливник [2], базирана на тази за челен преливник, съответно модифицирана (колона 14 на табл. 1) и тази, изчислена с програмния продукт. По традиционно прилаганата опростена формула [2], където преливният напор е прието да намалява линейно по дължината на преливния ръб, т.е. във всички случаи се приема бурно течение, се получават по-дълги преливни ръбове в сравнение с тези, изчислени с програмния продукт при спокойно движение (колона 12 на табл. 1). В случая на бурно движение се наблюдава обратната тенденция – преливните ръбове, изчислени по традиционно прилаганата опростена формула, са по-къси в сравнение с преливните ръбове, изчислени с програмата за страничен преливник, което в значителна степен се дължи на игнорирането в изчислителната схема на влиянието на скоростта на основния поток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Butler, D., J. W. Davies. Urban Drainage. Spon Press, London, 2004.
2. Гиргинов, Т. Ръководство за проектиране по канализация. Техника, С., 1981.
3. Казаков, Б. – ред. Справочник за хидравлични изчисления на водопроводящи системи и съоръжения, КИИП, С, 2008.

## METHOD AND SOFTWARE FOR SIDE OVERFLOW STRUCTURE DIMENSIONING

R. Arsov<sup>1</sup>, T. Igneva-Danova<sup>2</sup>

*Keywords:* side overflow, hydraulic dimensioning, method and software

*Research area:* water supply, sewerage, water and wastewater technologies

### ABSTRACT

The hydraulic dimensioning of side overflows is commonly performed applying an adapted, simplified formula, valid for front overflow, without taking into account the kind of the flow (supercritical or subcritical) and the velocity head. This usually leads to obtaining an incorrect length of the side overflow crest.

In this paper it is suggested the overflow head along the main flow to be reduced with the size of the velocity head at every discrete step along the overflow crest. This correction is significant with subcritical flows, especially when the velocities are very high. A method and software are suggested in the paper for correct dimensioning of the length of the side overflow crest, using the basic differential equation of the side overflow and taking into account the form of the overflow line, velocity head and the kind of the flow (supercritical or subcritical) in the scope of the overflow channel. A numerical solution is presented, performed by using the suggested software.

---

<sup>1</sup> Rumen Arsov, Prof. DSc. Eng., Dpt. "Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment", UACEG, 1 H. Smiranski Blvd., Sofia 1046, e-mail: r\_arsov\_fhe@uasg.bg

<sup>2</sup> Tanya Igneva-Danova, Dr. Eng., Dpt. "Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment", UACEG, 1 H. Smiranski Blvd., Sofia 1046, e-mail: igneva@mail.bg

