



Получена: 13.04.2017 г.

Приета: 20.04.2017 г.

## ФИЗИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРЕМИНАВАНЕТО НА КАТАСТРОФАЛНИ ВЪЛНИ ПРЕЗ УРБАНИЗИРАНА ТЕРИТОРИЯ

И. Кукурин<sup>1</sup>

*Ключови думи:* катастрофална вълна, физическо хидравлично моделиране, урбанизирана територия

### РЕЗЮМЕ

В настоящата статия е направено описание на методите за представяне на елементите на застрояването в математическите модели, описващи преминаването на катастрофални вълни през урбанизирани територии. Посочени са основните разлики в подходите при използване на 1D и 2D модели. Еднодименсионалните (1D) модели са традиционно най-широко използвани в хидравличното моделиране поради тяхната сравнителна простота и необходимостта от сравнително ограничена информация, представяща речното течение и прилежащите заливаеми низини. Съществуват различни техники за представяне на взаимодействието между тези елементи с отчитане на ретензионната способност на системата основно течение – заливаеми територии. При този тип модели влиянието на застрояването се отчита чрез коефициента на грапавина по Манинг. Последният зависи от много фактори, но не винаги неговото определяне е лесна задача, независимо от наличието на голям брой изследвания и препоръки. Въз основа на резултати от хидравлични моделни изследвания са получени стойности на коефициента на грапавина при преминаване на високата вълна през урбанизирани територии.

### 1. Въведение

Значителните климатични и хидроложки промени през последните десетилетия и зачестяващите стихийни проявления на валежите поставят нови предизвикателства при изследванията на наводнения. Разпространението на високите вълни в следствие от

---

<sup>1</sup> Ивайло Кукурин, инж., кат. "Хидравлика и хидрология, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kukurin@gmail.com

обилните валежи са тема, която вълнува редица специалисти в хидростроителството. Провеждани са множество изследвания и експерименти с цел анализиране на процесите на разпространение на катастрофални вълни, както и тяхното формиране. Въпреки това има множество въпроси, които не са категорично решени от гилдията. Основните причини за това са сложните структури, които се изследват и множеството допускания, които трябва да се приемат с цел най-близко до действителността представяне на реалните хидравлични параметри на сложните течения [1], формиращи се при разпространението на високи и катастрофални вълни. Подходите за решаване на този сложен хидравличен въпрос често се свеждат до основни теоретични приемания, което в голяма част от изследванията води до значително опростяване и пренебрегване на множество фактори, при които се разпространява течението [2]. Известните към момента математически зависимости, даващи връзката между геометричните параметри на изследваната територия, хидравличните и морфоложки характеристики от една страна и параметрите на високата вълна имат предимно емпиричен или теоретико-емпиричен характер. В повечето случаи натурните изследвания дават значителни разлики с лабораторните наблюдения, което е и основна предпоставка за извършване на по-голям и задълбочен анализ при изготвяне на математически модели. Провежданите към момента изследвания не могат да претендират за пълнота и са в пряка зависимост от конкретните условия. Те биха могли да служат като отправна точка и насока към детайлно проучване, с което да се определят основните параметри на течението, които биха определили най-точно действителните процеси на разпространение на високата вълна в натурни условия.

При разглеждане на процесите на разпространение на катастрофалните вълни в рамките на урбанизирани територии все още няма еднозначност при определяне на водещите кинематични и динамични характеристики на течението. Сложната топография в тези зони, както и проблемите с обекти на застрояването, възпрепятстващи речното течение, са основният проблем при моделиране на разпространението на високата вълна, както в лабораторни условия, така и чрез използване на изчислителни модели [3]. Основен акцент в настоящото изследване се поставя върху влиянието на степента и формата на застрояване върху разпространението на високата вълна. В резултат на направените изследвания ще се даде възможност за развитие на методи и подходи при определяне на хидравличните параметри, както и концепции за моделиране на разпространение на катастрофални вълни в урбанизирани територии.

## **2. Описание на основните принципи за представяне на сградите при математическото моделиране**

Математическото моделиране се явява основен инструмент при моделирането на високи вълни, като най-често прилаганите модели в инженерната практика са еднодименсионалните (1D). Те дават възможност за бързо и просто изчисление на основните параметри на течението, но при работа с тях трябва да се имат предвид някои техни ограничения. При преминаване на високи вълни през урбанизирани територии течението обикновено е със сложен пространствен характер, което е сериозна предпоставка за ползване на двуменсионални (2D) модели. Това от своя страна води до необходимост от адекватно представяне на застрояването в математическия модел, което е важно условие за получаване на верни резултати от изчисленията. В настоящата точка са описани някои от най-често използваните методи за представяне на елементи на застрояването в изчислителната мрежа на еднодименсионалните и двуменсионалните модели.

## **2.1. Представяне на сградите в двуменсионален (2D) модел**

### **2.1.1. Изключване на елементи на изчислителната мрежа**

Изключването на 2D елементи за представяне на сгради е често използван метод [4]. Той е най-ефективен и подходящ, когато сградите са така проектирани и изградени, че в тях няма отвори и предпоставки за проникване на води. Все пак, това се случва рядко, тъй като повечето сгради „поглъщат“ вода, като по този начин се допринася за ретензиране на вълната. Поради тази причина, използването на този метод не е особено подходящ за жилищни сгради. Трябва да се има предвид, че в урбанизирани територии често се срещат и търговски сгради, при които е наличен и подземен паркинг, като по този начин се допринася допълнително за акумулиране на водни обеми в самите сгради [5].

Друг проблем, свързан с изключване на елементи, е, че ще има „дупки“ в резултатите от 2D модел, а нивото на наводнения ще трябва да се интерполира от околните нива, което дава големи неточности при оценка на щетите от наводненията.

### **2.1.2. Повдигане на елементи на мрежата над околния терен**

Като алтернатива на изключването на елементи може да се използва настоящият метод. При него е необходимо да имаме значително по-гъста мрежа, за да могат да се оформят коректно граничните пунктове (стените), като вътрешните за сградата елементи се повдигат локално спрямо околния терен [6]. По този начин не се позволява тяхното заливане и де факто те се изключват от изчисленията.

Към момента литературните данни за подобен тип модели са минимални и детайлното изследване представлява трудност.

### **2.1.3. Моделиране на външните стени**

Подходът на моделиране само на външни стени на сградата има своите предимства в това, че може да се даде възможност за проникване на водата във вътрешността на сградата. По този начин се използва ретензионния ефект на сградите [7].

Голям недостатък на този метод е, че са необходими предварителни данни за посоката на движение на потока и как водата навлиза в сградите, което е изключително трудно при по-голяма гъстота на застрояване. Освен това този подход намира приложение само в някои по-специфични софтуерни пакети и не е широко използван в практиката.

### **2.1.4. Увеличаване на коефициента на грапавина**

Увеличаването на грапавината е един от най-използваните методи за представяне на загубите на енергия на преминаващото покрай сгради течение. Този метод е предпочитан пред изключването на елементи с оглед на това, че дава възможност и за симулиране на ретензионния ефект на сградите.

Друго преимущество е, че грапавината може да варира. Например чрез коефициента на Манинг можем да представим различни гъстоти на застрояване [8]. Варирането с коефициента на Манинг се оказва много полезно при по-груби мрежи (обикновено при резолюция над 10 m) [9].

## 2.2. Представяне на сградите в еднодименсионален (1D) модел

Поради спецификата на еднодименсионалните модели и представянето на терена като поредица от напречни профили, представянето на обектите на застрояването в модела донякъде се различава от това при двуменсионалните модели. Най-често в практиката се използват два подхода – моделиране на сградите чрез поставяне на препятствия и увеличаване на коефициента на грапавина.

### 2.2.1. Използване на препятствия за моделиране на сгради

При този подход на мястото на сградата в напречния профил се поставя препятствие, което е непронускливо, като по този начин се редуцира светлото напречно сечение на профила. Това донякъде наподобява изключването на елементи на изчислителната мрежа при двуменсионалното моделиране, като по този начин не се отчита ретензиращата способност на сградите. Преимуществото му е, че поставяйки препятствия, хидравличните модели автоматично изчисляват новия намокрен периметър и новия хидравличен радиус при всяко сечение.

### 2.2.2. Използване на коефициент на Манинг за моделиране на сгради

При втория подход, аналогично на двуменсионалните модели, се увеличава изкуствено коефициентът на грапавина, като това може да стане или локално в зоната на сградите, или да се изчисли обобщен коефициент за цялото сечение.

Въпреки множеството изследвания на коефициента на Манинг, едва малка част от тях засягат проблемите в градска среда [10], където е на лице гъсто застрояване на сгради и множество съоръжения и препятствия.

Формулата на Манинг е следната:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I_e^{1/2}, \quad (1)$$

където  $V$  е средна скорост на течението, m/s;

$R$  – хидравличен радиус, m;

$I$  – наклон на енергийната линия;

$n$  – коефициент на Манинг.

Основен проблем при използването на този метод, както при еднодименсионалното, така и при двуменсионалното моделиране, е изборът на подходящ коефициент. За урбанизирани територии в литературата се наблюдават данни в широк диапазон – от 0,08 до 20,0 [11], което е и един от основните мотиви за провеждане на настоящото изследване.

## 3. Изследване с помощта на изграден физически модел

Целта на настоящото изследване е да се набавят конкретни данни за построяването на максимално точни и достоверни математически модели, с чиято помощ да се дадат основни насоки при определяне на територии под заплаха от наводнения, чрез което да се предвидят съответните защитни мероприятия за предотвратяване на тежки наводнения и да се минимализира влошеното въздействие върху околната среда, степента на застрашеност на живота и здравето на хората и на материални ценности.

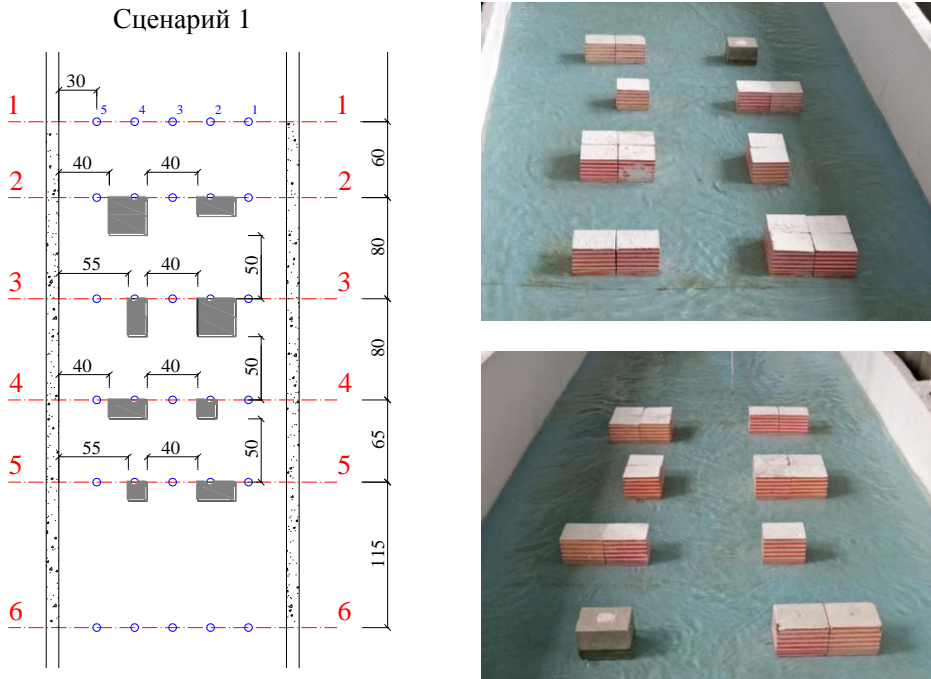
### 3.1. Описание на модела и работна програма

Чрез провеждането на физически хидравлични моделни изследвания върху умален идеализиран модел в лабораторни условия са определени основните хидравлични параметри на течението. Резултатите от измерванията ще послужат за калибриране на числени моделни изследвания на по-късен етап. Подобни подходи все по-често навлизат в практиката, като съпоставките между математическите и физическите модели често показват сходни резултати, даващи увереност при използването на числени модели [12].

Концептуалното моделно изследване е извършено в правоъгълен канал с напречно сечение от 1,80 m и обща дължина от 15 m (фиг. 1).

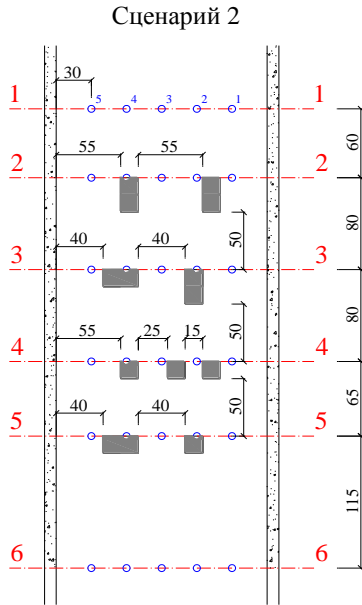


Фиг. 1. Общ план на изградения канал

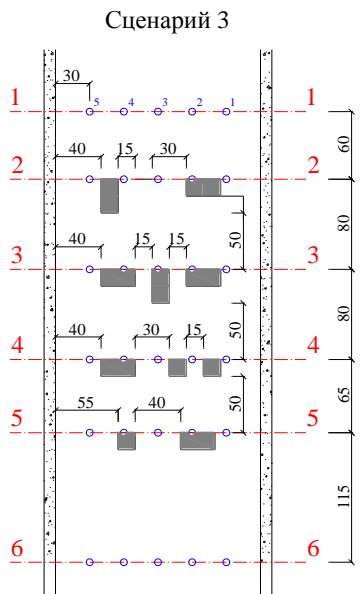


Фиг. 2. Разположение на препятствия при Сценарий 1

По оста на канала са обособени 3 зони. Началният участък служи за успокояване на течението. Средната част е разделена на 6 основни профила, като в 4 от профилите са разположени бетонни блокчета с размери 15/15 cm, с помощта на които концептуално се моделира урбанизирана територия, през която преминава висока или катастрофална вълна. Разгледани са 3 различни сценария за разположение на сградите в моделния участък (фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4).



**Фиг. 3. Разположение на препятствия при Сценарий 2**



**Фиг. 4. Разположение на препятствия при Сценарий 3**

С оглед на оптималното използване на избраната геометрия са изследвани 3 протичащи водни количества – 10 l/s, 15 l/s и 25 l/s. По този начин се цели максимално да се обхванат явления, както за първоначалния етап на настъпването на катастрофални вълни – значителни водни количества и високи водни нива, така и за количествата в долния участък на населените места след ретенцията от урбанизираната територия.

Всички сценарии на разположение на сградите и протичащото водно количество са изследвани при три различни долни водни нива, което обуславя и различни скорости на течението. Тяхното поддържане се извършва с помощта на монтирани при изхода на канала дамбалкени, а измерването на долните водни нива е осъществено в крайната точка на изследвания участък – 1,50 m от крайния профил 6.

При изследването се измерват водните нива на 6 напречни профила в основните 5 надлъжни, както и във всяка една крайна точка на елементите, разположени в канала.

Всички единични измервания на водните нива са отчетени и резултатите са обобщени в индивидуални таблици за всяко едно от измерванията. Общият им брой е над 550 за всички отделни водни нива, сценарии и долни водни нива.

Обобщена работна програма е дадена в табл. 1.

**Таблица 1. Експериментална програма**

Водно количество	Сценарий 1			Сценарий 2			Сценарий 3		
	Дълбочина в края на участъка (cm)			Дълбочина в края на участъка (cm)			Дълбочина в края на участъка (cm)		
$Q = 25 \text{ l/s}$	6,3	10,3	12,7	6,3	10,3	12,7	6,3	10,3	12,7
$Q = 15 \text{ l/s}$	4,4	8,8	11,2	4,4	8,8	11,2	4,4	8,8	11,2
$Q = 10 \text{ l/s}$	3,3	7,2	9,7	3,3	7,2	9,7	3,3	7,2	9,7

### 3.2. Резултати

От проведените лабораторни измервания са получени характеристиките на течението в избраните характерни профили (6 бр. в напречна и 5 в надлъжна посока). В същите профили са представени измерените водни нива за двата най-екстремни случая – максимално водно количество  $Q = 25 \text{ l/s}$  и минимални долни водни нива  $h_1 = 6,3 \text{ cm}$ , както и минимално водно количество  $Q = 10 \text{ l/s}$  и максимално долно водно ниво  $h_1 = 9,7 \text{ cm}$ . Съпоставени са резултатите и от трите разгледани сценария.

**Таблица 2. Резултати от изследване на Сценарий 1 при  $Q = 25 \text{ l/s}$  и  $h_1 = 6,3 \text{ cm}$**

$Q = 25 \text{ l/s}$	Сценарий 1				
$h_1 = 6,3 \text{ cm}$	т.1	т.2	т.3	т.4	т.5
Профил 1	7,7	7,8	7,5	7,3	7,2
Профил 2	7,4	8,3	7,1	7,8	6,8
Профил 3	7,0	6,5	6,6	6,2	6,2
Профил 4	6,7	6,7	6,5	6,4	6,5
Профил 5	6,6	6,7	6,0	6,4	6,2
Профил 6	6,6	6,3	6,3	6,3	6,3

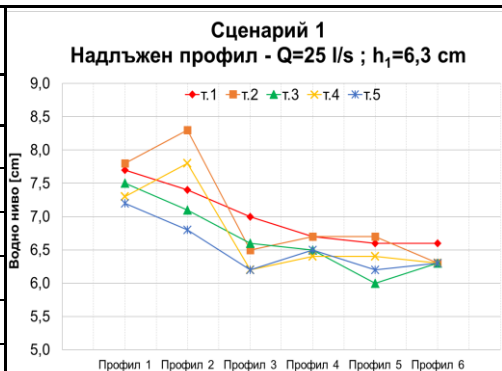


Таблица 3. Резултати от изследване на Сценарий 1 при  $Q = 10$  l/s и  $h_1 = 9,7$  cm

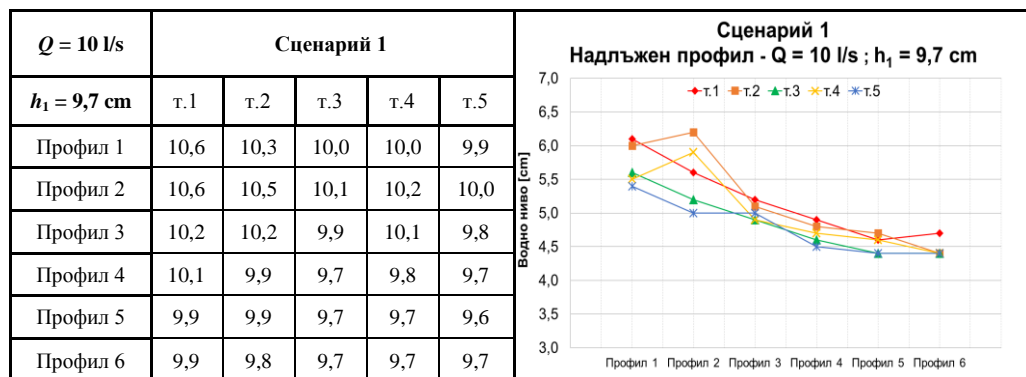


Таблица 4. Резултати от изследване на Сценарий 2 при  $Q = 25$  l/s и  $h_1 = 6,3$  cm

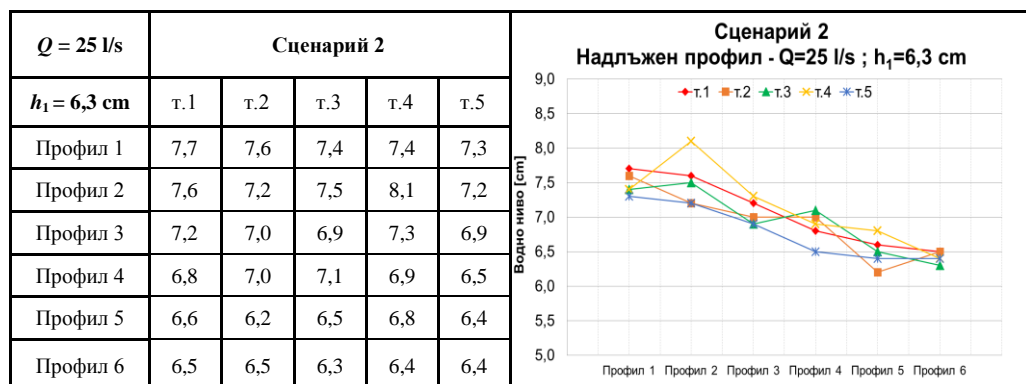


Таблица 5. Резултати от изследване на Сценарий 2 при  $Q = 10$  l/s и  $h_1 = 9,7$  cm

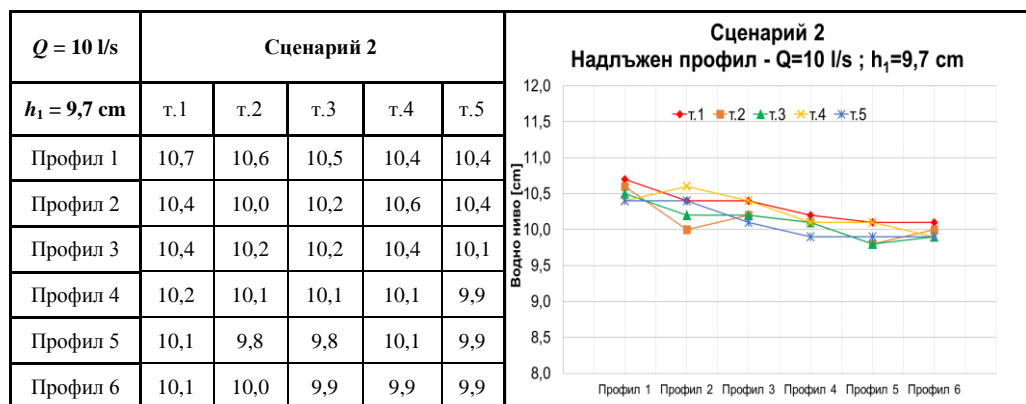


Таблица 6. Резултати от изследване на Сценарий 3 при  $Q = 25$  l/s и  $h_1 = 6,3$  cm

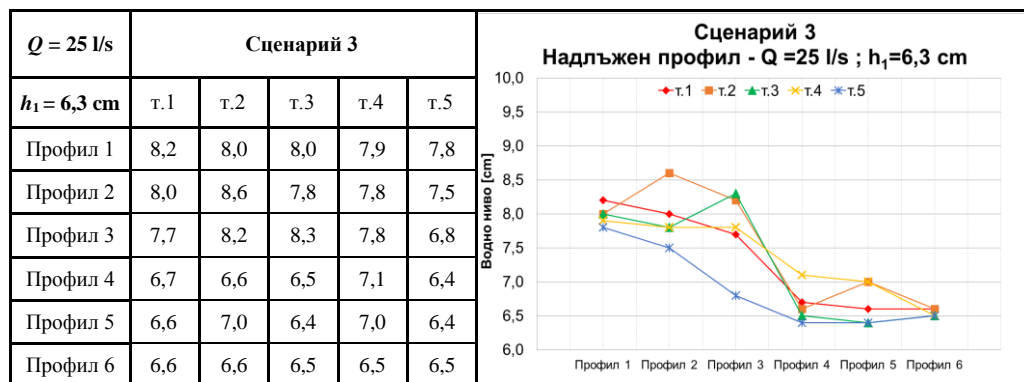
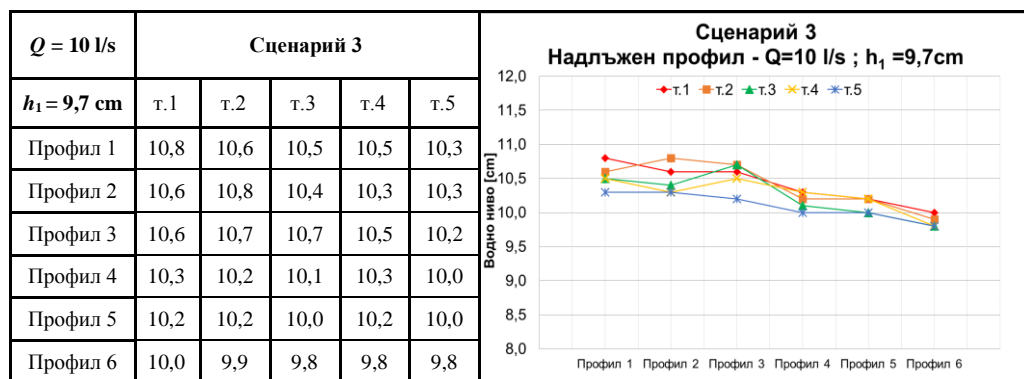


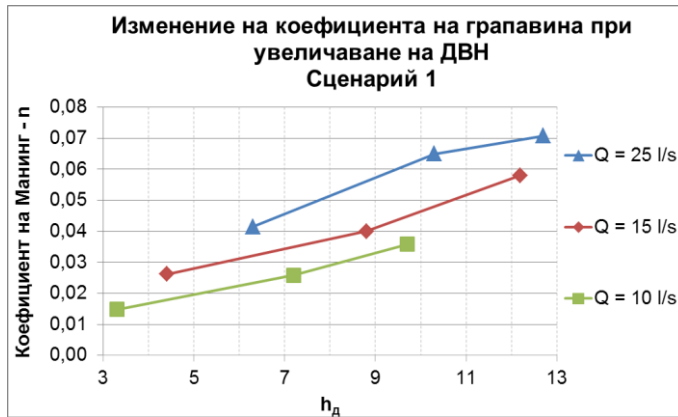
Таблица 7. Резултати от изследване на Сценарий 3 при  $Q = 10$  l/s и  $h_1 = 9,7$  cm



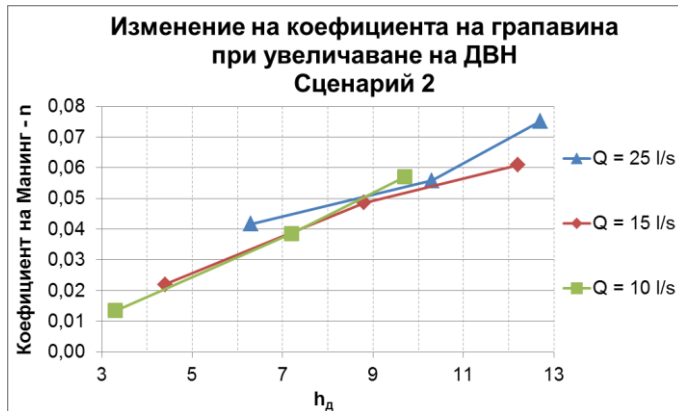
Въз основа на измерените водни нива са изчислени средните наклони на водната повърхност в участъка и въз основа на зависимост (1) е изчислен обобщен коефициент на грапавина  $n$  за всяко водно количество и всяко долно водно ниво при различните сценарии.

На фиг. от 5 до 7 е представена връзка между коефициента на грапавина по Манинг и изменението на долното водно ниво. Ясно се вижда, че при увеличаване на долното водно ниво, респ. на дълбочините в изследвания участък, коефициентът на грапавина нараства и при трите сценария. При Сценарий 1, поради ясно оформените зони с голяма проводимост между блокчетата в надлъжна посока, се наблюдава ясно изразена тенденция за нарастване на коефициента на грапавина с увеличаване на водното количество. Този ефект видимо намалява при Сценарии 2 и 3 поради наличието на ясно изразени напречни течения.

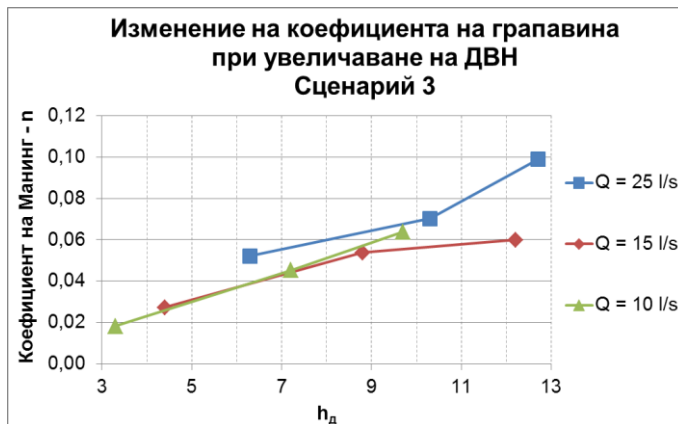
Изменението на дълбочините в изследвания диапазон води до нарастване на коефициента от ок. 0,020 до ок. 0,100. Приведено в натура при мащаб 1:50 например, тези стойности биха довели до натурни коефициенти на грапавина в диапазона 0,038 – 0,200.



Фиг. 5. Изменение на коэффициента на грапавина при увеличаване на долно водно ниво за различни водни количества при Сценарий 1



Фиг. 6. Изменение на коэффициента на грапавина при увеличаване на долно водно ниво за различни водни количества при Сценарий 2



Фиг. 7. Изменение на коэффициента на грапавина при увеличаване на долно водно ниво за различни водни количества при Сценарий 3

## 4. Заключение

Въз основа на проведените хидравлични моделни изследвания са получени зависимости за коефициента на грапавина по Манинг във функция на протичащите водни количества и дълбочините на водата.

Наблюдава се ясна тенденция на нарастване на коефициентите на грапавина с увеличаване на дълбочината на течението и при трите изследвани сценария, което на пръв поглед противоречи на установените в литературата тенденции за естествени водни течения. Причина за това е обобщаването на коефициента за цялата урбанизирана територия като по този начин в него косвено се отчита и изменението на хидравличния радиус, респективно на намокрения периметър.

Представените графики позволяват същите да бъдат лесно приведени към натурни коефициенти на грапавина чрез избор на подходящ мащабен множител.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-193/2016 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Hervouet, J.-M., Samie, R., Moreau, B.* Modelling urban areas in dam-break flood wave numerical simulations.
2. *Alcrudo, F.* Mathematical modelling techniques for flood propagation in urban areas, Universidad de Zaragoza, Spain.
3. *Gonzalez-Ramirez, N.* Simulating Flood Propagation in Urban Areas using a Two-Dimensional Numerical Model, University of Miami, 2010.
4. *Bellos, V., Tsakiris, G.* Comparing Various Methods of Building Representation for 2D Flood Modelling In Build-Up Areas, 2013.
5. *Zhou, Qi., Ya, Wangyng, Chen, A. S., Chunbo, Juang, Guangtao, Fu.* Experimental Assessment of Building Blockage Effects in a Simplified Urban District, 2016.
6. *Hunter, N. M., Bates, P. D., Neelz, S., Pender, G., Villanueva, N. G., Wright, N. G., Liang, D., Falconer, R., Lin, B., Wallers.* Benchmarking 2D hydraulic models for urban flooding, 2008.
7. *Gems, B., Mazzirana, B., Hofer, T., Sturum, M., Gabl, R., Augleger, M.* 3-D hydrodynamic modelling of flood impacts on a building indoor flooding processes, 2016.
8. *Syme, W. J.* Flooding in Urban Areas – 2D Modelling Approaches for Buildings and Fences, 9<sup>th</sup> National Conference of Hydraulics in Water Engineering Darwin Convention Centre, Australia, 2008.
9. *Chen, A., Djordjevic, S., Leandro, J., Evans, B., Savic, D.* Simulation of the building blockage effect in urban flood modelling, University of Exter, England, 2008.
10. *Chow, V.* Open-channel Hydraulics, 1988.
11. *Abderrezzak, K., Paquier, A., Mignot, E.* Modelling flash flood propagation in urban areas using a two-dimensional numerical model, 2008.
12. *Smith, G. P., Wasko, C. D., Miller, B. M.* Modelling of the influence of Buildings on flood flow, 2012.

# PHYSICAL MODEL STUDY OF FLOOD WAVES IN URBAN AREAS

I. Kukurin<sup>1</sup>

*Keywords: dam break flood wave, physical hydraulic modeling, urban areas*

## ABSTRACT

This paper summarizes some of the ways to represent buildings in numerical 1D and 2D models, developed in order to simulate flood wave in urban areas. Some of the approaches simulate the retention of the buildings, while others do not. Manning's roughness coefficient takes central place in the paper as one of the main parameters used to simulate correctly the urban areas. Since its values vary in a big range, it is difficult to obtain the right one in each situation. This is the reason to carry out a physical model study of flood wave in idealized urban area. The paper presents and summarizes the results of the model study and gives hints about the choice of proper values of Manning's  $n$  coefficient.

---

<sup>1</sup> Ivailo Kukurin, Eng. PhD Student, Dept. "Hydraulics and Hydrology", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kukurin@gmail.com