

## **TEMPORARY WATER FILLED TUBES FOR OPERATION IN EMERGENCY CASES**

Mariana Popova, Vesselin Iliev, Nikolay Velkov  
Department of Applied Mechanics, UCTM – Sofia  
Kliment Ohridski 8, Sofia 1756  
[verso@uctm.edu](mailto:verso@uctm.edu)

### **ABSTRACT**

In resent paper the results from investigations of the stability and the mechanical behavior of two and three chamber water filled tubes are presented. An analytical method for determination of the conditions in which these structures can berry significant loads without external anchorage is developed. Because of the cylindrical shape of the object and its plane stress state the investigations are limited into the cross section of the tube. Equations for determination of the cross sections shape and the internal forces are obtained. Validation of the obtained numerical results is made by full size experiments. This study is a basis for implementation of flood protection systems and estimation of their reliability.

## **ВРЕМЕННИ ВОДОНАПЪЛНЯЕМИ БАРАЖИ ЗА ДЕЙСТВИЕ ПРИ ИЗВЪНРЕДНИ СИТУАЦИИ**

Мариана Попова, Веселин Илиев, Николай Велков  
Химикотехнологичен и металургичен университет,  
бул. Климент Охридски №8, София, 1756  
[verso@uctm.edu](mailto:verso@uctm.edu)

### **РЕЗЮМЕ**

В настоящата работа са представени резултати от изследване на устойчивостта и механичното поведение на водонапълняеми баражи, изпълнени като двукамерни и

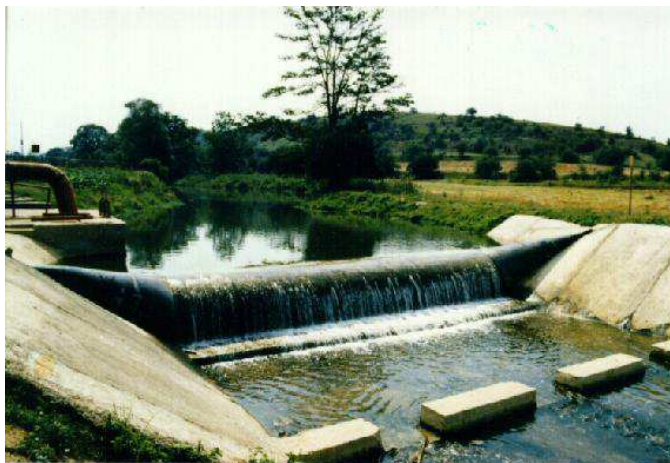
---

трикамерни тръбни конструкции. Изведена е аналитична методика за определяне на условията, при които тези конструкции могат да поемат значителни натоварвания без външно закрепване. Поради цилиндричната форма на обектите и равнинно напрегнатото им състояние, изследванията са ограничени в напречното сечение на тръбите. Получени са уравнения за определяне на формата на напречното сечение на конструкцията и вътрешните усилия. Извършена е валидация на числените резултати посредством натурни експерименти. Изследванията могат да послужат като основа при изпълнение на системите за защита от наводнения и оценка на тяхната надеждност.

### **1. Въведение**

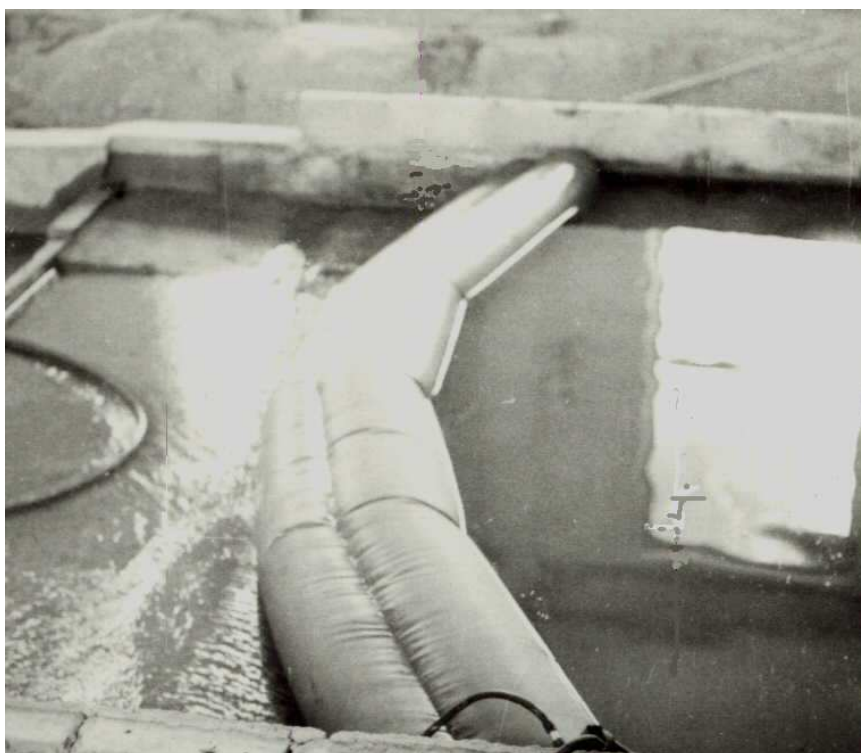
Според терминологията, въведена в [1], мобилните водонапълняеми баражи спадат към групата на многоелементните хидротехнически мембранни конструкции. Терминът “мембранни” определя носещите елементи на конструкцията в мембранно напрегнато състояние (без огъващи моменти). При хидротехническите мембранни конструкции тези елементи са изпълнени от тънък гъвкав материал, способен да носи само опънни напрежения (високоякоствена мембрана). При анализа на мембранните конструкции могат да бъдат разграничени два основни типа мембранни елементи – отворени и затворени. През 1984 г. колектив от Химикотехнологичен и металургичен университет – София под ръководството на проф. Попова започва работа върху проблемите, свързани с механичното поведение на гъвкавите мембранни материали и конструкции. Проучени са наличните изчислителни методики и опита на фирмите, изпълняващи такива конструкции към момента. Резултати от проучванията, както и формулираните задачи пред колектива, може да бъдат намерени в [2] и [3]. Значителна част от задачите, свързани с механичното поведение на еднокамерни отворени и затворени хидротехнически мембранни конструкции са формулирани и решени в [1]. До 2009 г. по темата са публикувани 16 статии в наши и чуждестранни научни издания, изнесени са доклади на 8 научни конференции и конгреси с международно участие и са защитени 3 дисертации [4], [5] и [6]. През 1984 г. СЕП «София окръг»

проектира и изпълнява първата стационарна мембранна хидротехническа конструкция на р. Макоцевска (фиг.1). През следващите години в системата на ДСО «Водно



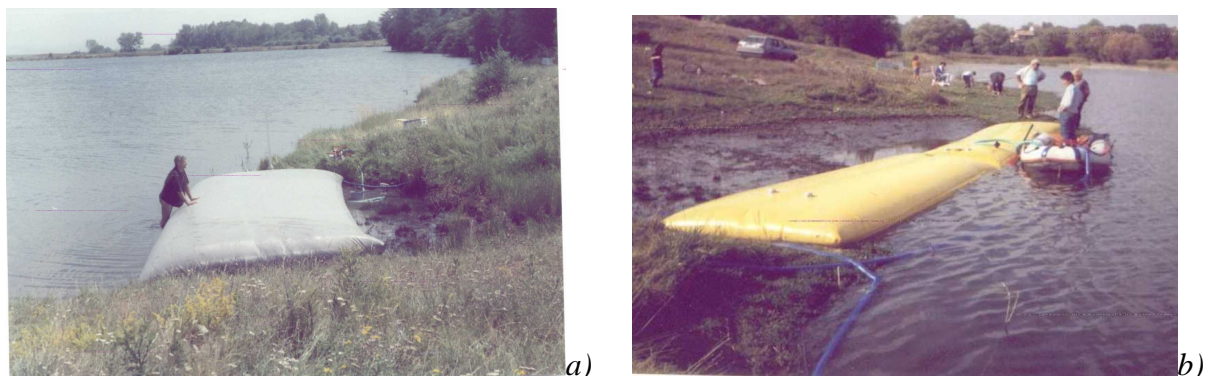
*Фиг.1*

стопанство» и «Енерго проект» са създадени 12 проекта на отворени и затворени стационарни хидротехнически мембранни конструкции, като 7 от проектите са реализирани. След 1989 г. работата по внедряването на тези конструкции в системата на водното стопанство се прекратява. От 1988 г. започва работа и върху мобилните свободнолежащи водонапълняеми мембранни конструкции. Разработени са математичен модел и изчислителна методика за определяне на напрегнато-деформираното състояние на носещите елементи и на условията при които тези конструкции могат да поемат значителни натоварвания без външно закрепване. За уточняване на параметрите на математичния модел са проведени лабораторни изследвания (фиг.2). По договор с «Гражданска защита», съвместно с ТУ-София е



*Фиг.2*

създадена технология за конфекционирание на двукамерни и трикамерни хидротехнически мембранни конструкции с голяма дължина, подходящи за защита на територии от наводнения и замърсяващи разливи. Изработени са пилотни двукамерни и трикамерни мембранни конструкции, с които са проведени експериментални изследвания за валидиране на изчислителните модели (фиг.3) и са проведени демонстрации пред «Гражданска защита» [7]. Въпреки решаването на поставените задачи и успешните изпитания, след завършването на проекта не се стига до практическа реализация на предложените конструкции. През последните години примерите за добри практики в останалите държави на ЕС и появата на европейския пазар на някои от големите чуждестрани производители [8] дават надежда, че работата по въвеждане на тези конструкции в практиката по защита на териториите от наводнения може да бъде възобновена.



*Фиг. 3 Свободнолежащи хидротехнически мембранни конструкции*  
*a) двукамерна    b) трикамерна*

В настоящата работа са изложени общите принципи за пресмятане на хидротехническите мембранни конструкции и конкретна изчислителна методика, познаването на които е необходимо условие за ефективното използване на мобилните водонапълняеми конструкции в рамките на експлоатационните условия, предписани от производителя и за проектиране на нови конструкции с индивидуални характеристики.

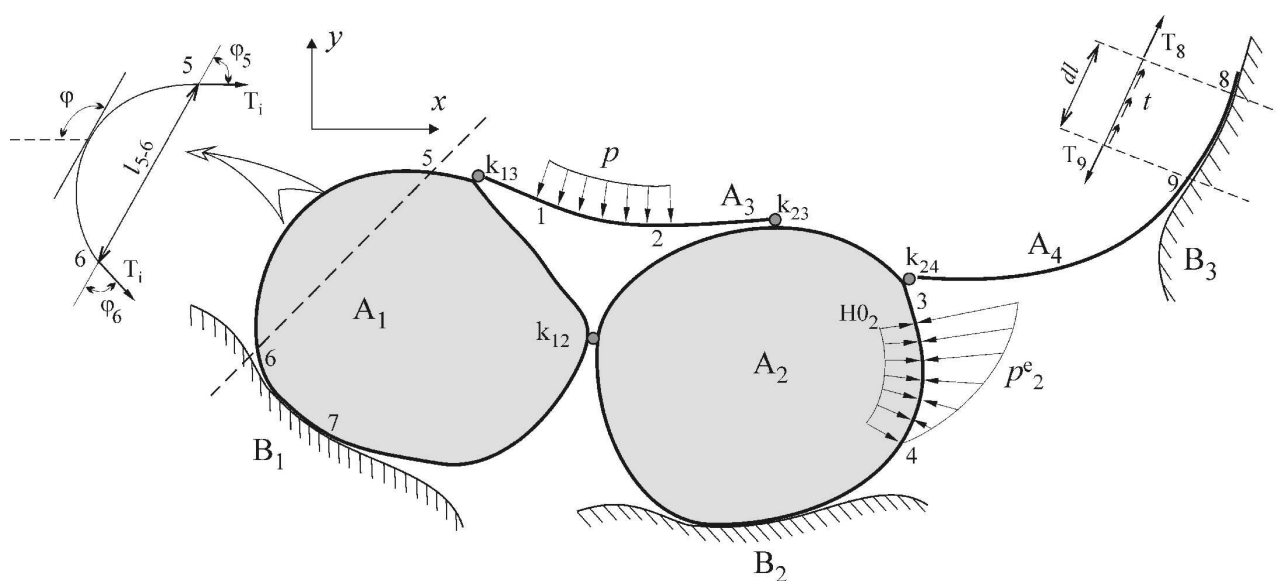
## **2. Обща изчислителна схема**

На фиг.4 е представена примерна обобщена схема на напречния разрез на многоелементна мембранна структура, съставена от два затворени ( $A_1$  и  $A_2$ ) и два отворени ( $A_3$  и  $A_4$ ) цилиндрични мембранни елемента, свързани във възлите  $K_{ij}$  и лежащи върху коравите основи  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$ . Характеристиките на всеки мембранен елемент ( $A_i$ ) са дължина  $L_i$ , вътрешно налягане  $H_{0i}$  (за затворените), усилие в окръжно направление  $T_i$  и поне един линеен размер  $H_i$ , различен от дължината. Математичният модел на обекта е създаден при следните опростяващи предпоставки:

- геометрията на носещите елементи представлява некръгов цилиндър
- удължението и собственото тегло на материала се пренебрегват
- напреженията се отнасят към средната равнина на мембраната и оразмеряването се извършва пряко с нормалното разрезно усилие.

При такава схема могат да бъдат формулирани три основни типа задачи:

- Права задача, при която са дадени линейните размери  $H_i$  и вътрешното налягане  $H0_i$ . Търсят се дължините на елементите  $L_i$  и действащите усилия  $T_i$ .
- Обратна задача, при която са дадени дължините  $L_i$  и линейните размери  $H_i$ . Търсят се вътрешното налягане  $H0_i$  и усилието  $T_i$ .
- Смесена задача, при която за част от елементите се решава права задача, а за останалите – обратна.



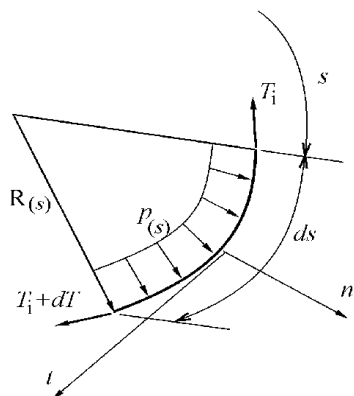
Фиг.4

За решаване на поставените задачи разполагаме със следните условия:

- Условия на свободната повърхност

Свободната повърхност на елементите се намира под въздействие на едностранно хидростатично натоварване ( $p$ ) (участък 1-2). При затворените елементи има възможност натоварването да е и двустранно, формирано от вътрешното налягане  $H0_i$  и външния товар  $p^e_i$  (участък 3-4). В тези случаи се извършва редукция към едностранно натоварване. От условията за равновесие на силите, действащи върху елементарен участък от повърхнината (фиг.5) се получава

$$\sum P_t = 0 \Rightarrow dT = 0 ; T_i = \text{const} \text{ и } \sum P_n = 0 \Rightarrow T_i = p_{(s)} R_{(s)}. \quad (1)$$



Фиг. 5

Тук  $s$  е криволинейна координата, а  $R(s)$  е радиус на кривина. Очевидно, ако  $p(s)=\text{const}$ , то и  $R(s)=\text{const}$ . Дължината  $L$  на участъка от елемента (например 5-6, фиг.4) може да бъде намерена от израза

$$L_{56} = \int_{x_5}^{x_6} \sqrt{1 + (y')^2} dx, \quad (2)$$

известен от аналитичната геометрия. Като заместим радиуса на кривина от (1.1) и преинем в параметричен вид спрямо ъгъла на допирателната  $\varphi$ , уравнение (1.2) добива вида

$$L_{56} = \int_{j_5}^{j_6} \frac{T_{56}}{\sqrt{2T_{56}(\cos(\varphi_6) - \cos(\varphi))}} dj. \quad (3)$$

- Локално равновесие на елементите

В някои случаи е удобно усилията  $T_i$  да бъдат намерени при силов анализ на характерни сечения. По принципа на локалното равновесие за всяка отделна част от мембранните елементи могат да бъдат записани изрази, аналогични на формулите за тънкостенни черупки. Например за участъка 5-6 на елемент А се получава

$$T_i = \frac{pl_{56}}{\sin \varphi_5 + \sin \varphi_6}. \quad (4)$$

- Условия по контактните повърхности и точки

В местата с корава основа (например в т.7, фиг.4), мембранныят елемент тангира към линията на основата. Друго условие в контактните области е равновесието на

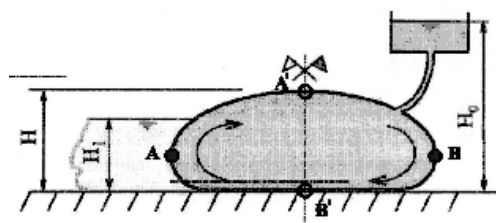
елементарен елемент от мембраната под действие на усилията и силите на триене. Например за елемента 8-9 се получава

$$T_9 - T_8 - \int_{s8}^{s9} t dl = 0, \quad (5)$$

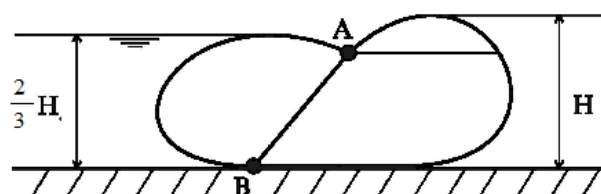
където  $t$  е специфичната сила на триене.

### 3. Двухкамерна свободнолежача водонапълняема конструкция

Мобилните водонапълняеми баражи се изпълняват най-често от затворени елементи, при които коравината на мембраната се осигурява от вътрешно свръхналягане а външното натоварване се предава на опорната равнина посредством силите на триене. На фиг. 6 е представена свободнолежача водонапълняема конструкция под действие на симетрично вътрешно налягане  $H_0$ , което определя и симетрична равновесна форма на напречното сечение. При наличието на едностранен хидростатичен натиск  $H_1$ , равновесието на конструкцията се нарушава, като мембраната, която оформя тялото на конструкцията, започва да се движи подобно на транспортна верига. По време на движението разстоянието между две срещулежачи точки се променя (например  $A^1$  и  $B^1$  се преместват в положение  $A$  и  $B$ ). Един от начините да се предотврати движението и да се получи стабилна равновесна форма е да се ограничи промяната на разстоянието между двете точки посредством вътрешна връзка. Получава се силовосвързана двухкамерна конструкция (фиг. 7).



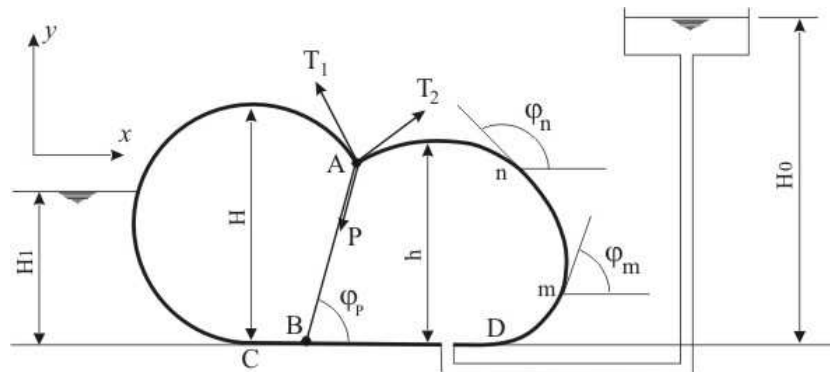
Фиг. 6



Фиг. 7

За двухкамерните водонапълняеми конструкции обобщената изчислителна схема от фиг.4 се трансформира до схемата на фиг. 8.





Фиг. 8

За решаване на правата задача при означенията на фиг. 8 са изведени следните уравнения:

- За определяне на нормалното разрезно усилие  $T_1$  без външно натоварване  $H_1$ :

$$T = \frac{1}{4} (2H_0H - H^2) \quad (6)$$

- За определяне на нормалното разрезно усилие  $T_2$  с външно натоварване  $H_1$ :

$$T = \frac{1}{4} (2H_0H - H^2 - H_1^2) \quad (7)$$

- За определяне на дължина на елемент от мембраната между две точки m и n:

$$l_{mn} = \int_{\varphi_m}^{\varphi_n} \frac{T d\varphi}{\sqrt{k^2 - 2T(\cos \varphi_m - \cos \varphi_n)}}, k = H_0 - H. \quad (8)$$

- За определяне на координатите на точка от равновесното положение на мембраната (т.м)

$$y = k - k^2 - \sqrt{k^2 - 2T(\cos \varphi_m - \cos \varphi_n)}, \quad (9)$$

$$x = \int_{\varphi_m}^{\varphi_n} \frac{T \cos \varphi_m d\varphi}{2\pi \sqrt{k^2 - 2T(\cos 2\pi - \cos \varphi_n)}}.$$

- За определяне на големината и направлението на силата във вътрешната връзка:

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{P} = 0 \quad (10)$$

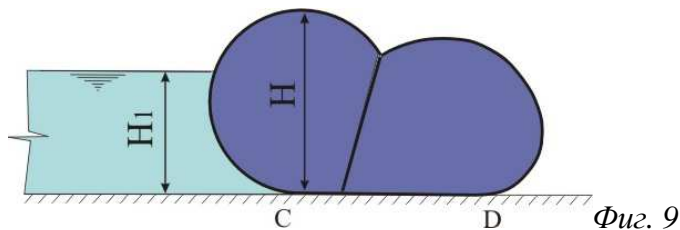
На базата на горните уравнения е създадена изчислителна процедура за определяне на контактната дължина C-D, осигуряваща конструкцията срещу плъзгане и на дължината на вътрешната връзка A-B, осигуряваща конструкцията срещу преобръщане.

#### **4. Обсъждане**

Наличието на надеждна изчислителна методика прави възможно включването на водонапълняемите свободнолежащи конструкции в проекти за цялостни решения на защитата на територии от наводнения и замърсяващи разливи, както и ефективни оперативни действия при тяхната експлоатация.

- Стандартно изпълнение

Създадената изчислителна методика е използвана при проектиране на конструкции, предназначени за преграждане на течения с различна дълбочина и динамика при различни характеристики на основата. Резултатите могат да бъдат обобщени със схемата на фиг. 9 при  $H_1 \leq 2/3 H$  и  $L_{CD} \geq (3 \div 5) H$ .

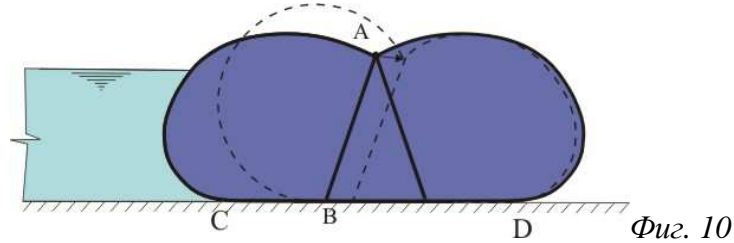


Понастоящем съществуват редица производители [9] [10] [11], които предлагат водонапълняеми подвижни прегради с различна структура при подобни характеристики.

- Трикамерни конструкции

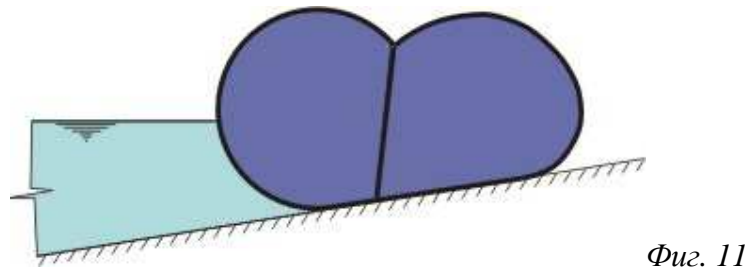
Експлоатационните характеристики на конструкцията значително се подобряват с прибавяне на трета камера. Устойчивостта се повишава, тъй като ключовата точка (т.А, фиг.10) в този случай е кинематично неподвижна. В допълнение контактът с основата

не се скъсява, както при двукамерните, което е благоприятно по отношение на филтрацията под конструкцията. Отрицателен ефект е оскъпяването.

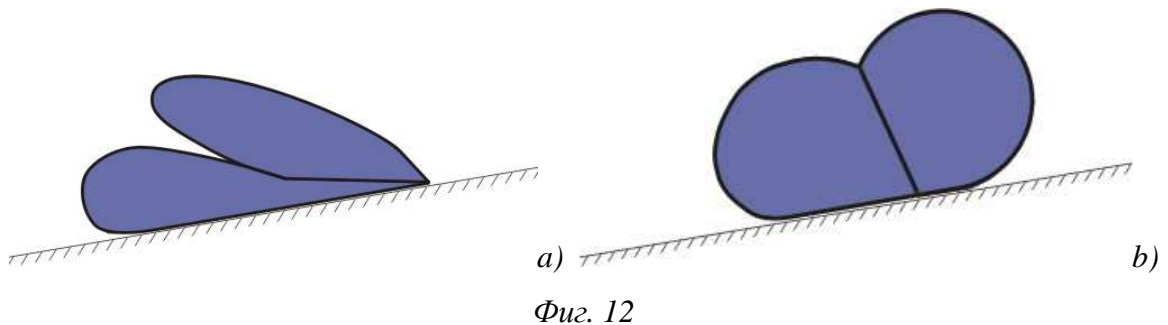


- Наклонена основа

Болшинството производители дефинират ограничения относно наклона на основата върху която се разполага преградата. Това очевидно не се основава на крайното експлоатационно положение на конструкцията, тъй като наклонът обикновено е към прииждащата вода и по-скоро помага на конструкцията, отколкото да пречи и да намалява височината на подприщване (фиг. 11).



Проблемите са свързани с поведението на конструкцията по време на предварителното напълване, където има опасност от преобръщане в началния етап (фиг. 12a) и плъзгане по основата в крайно напълнено състояние (фиг.12b).

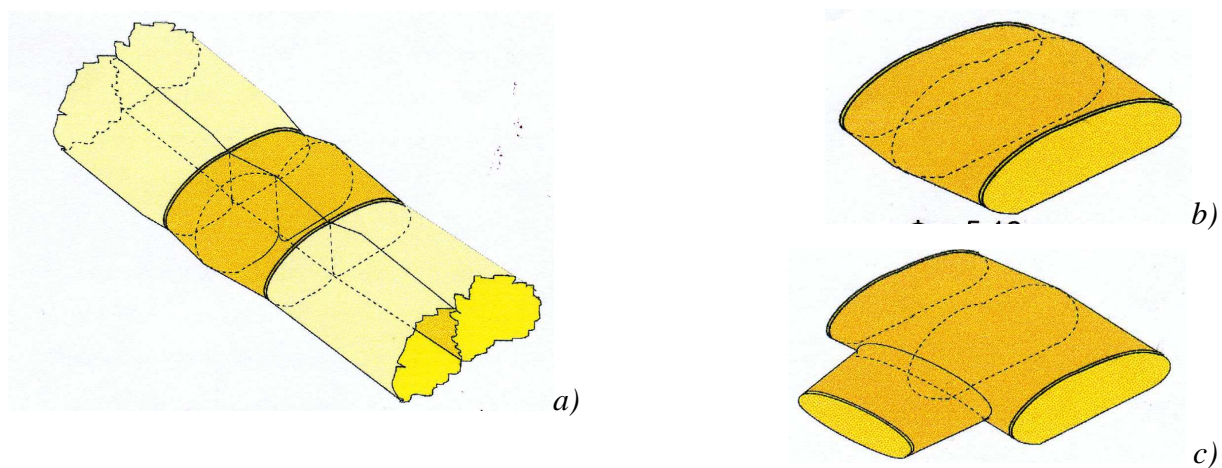


- Асамблирани конструкции

Основно изискване към мобилните прегради прилагани в аварийни ситуации е малкото собствено тегло. Поради тази причина водонапълняемите конструкции се

---

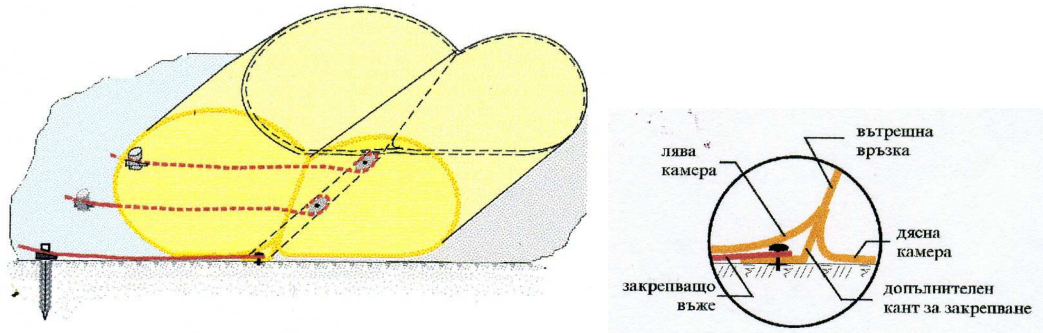
изработват на модули, които да бъдат пренасяни и сглобявани на място от 4 работника. Един от възможните начини за свързване на два модула по дължина е да се използва съединяващ елемент (маншон), обхващащ двата модула (фиг. 13a). Маншонът има форма на два пресечени конуса, съединени по голямата си основа (фиг.13b). Периметърът на малката основа на конуса е приблизително 10% по-малък от периметъра на конструкцията и прищипва корпусите на двата модула, като ги съединява посредством силите на триене. При необходимост могат да се използват свързващи елементи, даващи възможност модулите да се свързват под ъгъл (фиг.13c).



Фиг. 13

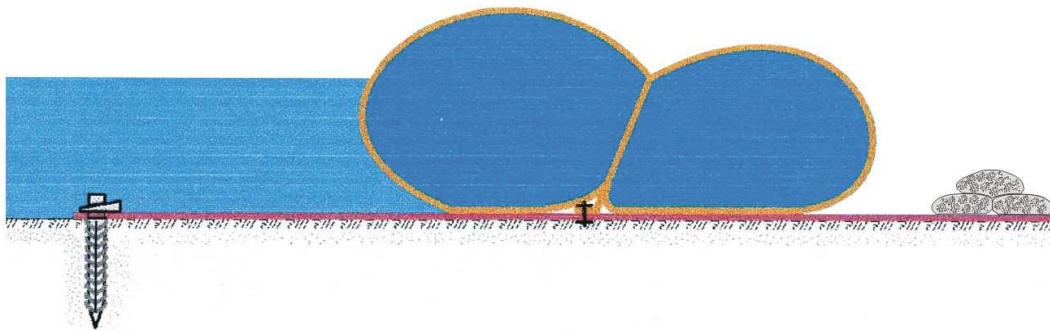
- Комбинирани конструкции

За повишаване на експлоатационните им качества, водонапълняемите елементи на конструкцията могат да бъдат използвани в комбинация с други елементи и връзки. На фиг.14 се показва един вариант за допълнително закрепване, осигуряващо конструкцията против плъзгане. За неговото осъществяване още при конфекционирание на мембраната при долния шев (т.В на фиг.8) се оформя допълнителен кант с отвори през 1-2 м. При необходимост през отворите се прекарват въжета, които се анкерират, както е показано на фигурата. Не се препоръчва ограничаване на преместванията на други точки от носещата мембрана, тъй като това би се отразило на връзката между натоварването и формата ѝ и би довело до концентрация на вътрешните усилия.



Фиг. 14

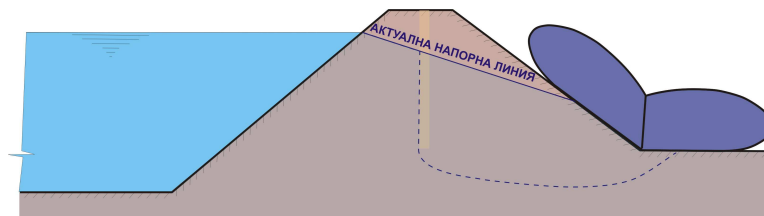
Ако освен допълнително закрепване се налага и прекъсване на филтрацията под конструкцията, затворените елементи могат да бъдат комбинирани с отворени, които да са анкерирани пред линията на преграждане и притиснати към основата зад нея (фиг.15).



Фиг. 15

- Укрепване на диги

Водонапълняемите конструкции могат да бъдат използвани за уплътняване на земната маса и удължаване на филтрационния път при диги с нарушени експлоатационни качества по схемата на фиг.16.



Фиг. 16

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Попова М., Механично поведение на полимерни мембранни материали и конструкции. Хабилизационен труд за получаване на научно звание “професор”, ВХТИ, София, 1988
- [2] Inflatable rubber gate Sumigate, Sumitomo Corporation, Tokyo, 1987
- [3] Затворницкий О., Конструкции из мягких оболочек в гидротехническом строительстве. Энергетика, М., 1975
- [4] Илиев В., Математическо моделиране на механичното поведение на хидротехнически мембранни конструкции. Дисертация за получаване на научна степен “кандидат на техническите науки”, ВХТИ, София, 1988
- [5] Велков Н., Илиев В., Математическо моделиране на механичното поведение на самозадържащи се хидротехнически мембранни конструкции. Дисертация за получаване на научна степен “кандидат на техническите науки”, ВХТИ, София, 1992
- [6] Славчева М., Илиев В., Изследване на механичното поведение на многоелементни хидротехнически мембранни конструкции. Дисертация за получаване на научна степен “доктор”, ХТМУ, София, 2004
- [7] Преносими мембранни прегради за използване при наводнения. Отчет по дог. 769/2000, НИС при ХТМУ, София, 2001
- [8] Temporary and Demountable Flood Protection Guide. Environment Agency, Horizon House, Bristol, 2011
- [9] Lee D., GET PREPARED FOR THE FLOOD SEASON BY USING THE WORLD'S #1 FLOODPROTECTION PRODUCT. U.S.FloodControlCorp., <http://www.usfloodcontrol.com/>
- [10] Temporary Water Control User's Guide. Aqua Dam and Diversion Ltd., Salmon Arm, CA
- [11] Cofferdam: The Aqua-Barrier Solution. Hydrological Solutions Inc., <http://www.hydrologicalsolutions.com/aqua-barrier>