

## УКРЕПВАНЕ НА ДЪЛБОКИ СТРОИТЕЛНИ ИЗКОПИ

Стойна Любенова Костова  
[kostova.stoyna@gmail.com](mailto:kostova.stoyna@gmail.com)

*ВТУ “Тодор Каблешков”, ул. „Гео Милев” № 158, София 1574,  
катедра “Транспортно строителство и съоръжения,  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** укрепителни конструкции, илицови стени, пилотни стени, Еврокод 7-1.*

***Резюме:** В статията са разгледани видовете укрепвания прилагани в строителството. Укрепванията са разделени според срок на действие на укрепването, според статическата схема на укрепващата конструкция, според начина на изпълнение и др. Използване на укрепвания в градски условия. Избор на вида на укрепителната конструкция в зависимост от вида на почвата, дълбочината на изкопа и наличието на подпочвени води. Използване на илицови стени, пилотни стени, шпунтови стени, стени берлински тип и др. за укрепване на дълбоки изкопи. Земен натиск върху укрепителната конструкция. Определяне натоварването от активен и пасивен земен натиск върху укрепванията. Влияние на водата при различните видове укрепвания. Особенности и новости при изчисляване на укрепителни конструкции според Еврокод 7-1. Изчислителен подход използван за изчисляване на укрепителни конструкции според БДС Еврокод 7-1. Частни коефициенти за материали, за натоварвания и за носеща способност според новите норми. Изчислителни и характеристични стойности на земния натиск и водния натиск. Прилагане на препоръките на Еврокод 7-1 при оразмеряване на укрепителните конструкции. Конструктивни решения при укрепване на дълбоки строителни изкопи. Дадени са изводи и препоръки за прилагане и изпълнение на различни укрепвания при съществуващи улици и сгради.*

### **I. УВОД.**

В съвременното строителство и най - вече в градски условия все по - често се използват различни видове укрепвания на дълбоки изкопи. Укрепването се налага поради голямата дълбочина на изкопите, при които има четири или пет подземни нива, в които се развиват площи за гаражи или други помещения. Укрепителните конструкции се подбират в зависимост от дълбочината и от съществуващите инженерно - геоложки условия на обекта. Укрепванията се прилагат при стеснено строителство, където няма възможност за направа на изкоп с наклонени стени.

За укрепване на дълбоки изкопи в строителството се използват илицови стени, пилотни стени, шпунтови стени. При по-малки дълбочини и за по-кратки срокове на укрепване се използват и дървени укрепителни конструкции. При по-големи дълбочини укрепителните конструкции, могат да налагат и допълнителното им стабилизиране с

анкери, разпънки, подпори и др. Ако е необходимо да се предпази изкопа от навлизане на вода е препоръчително да се използват шлицови стени или шпунтови стени. При песъчливи почви при по-голяма продължителност на укрепването е препоръчително да се използват шлицови стени, шпунтови стени или пилотни стени с плътно наредени пилоти. За изпълнението на голяма част от укрепителните конструкции се използват специализирани строителни машини (фиг.1) .



**Фиг. 1. Процес на набиване на втори ред анкери при укрепване с пилотна стена**

## **II. ВИДОВЕ УКРЕПВАНИЯ.**

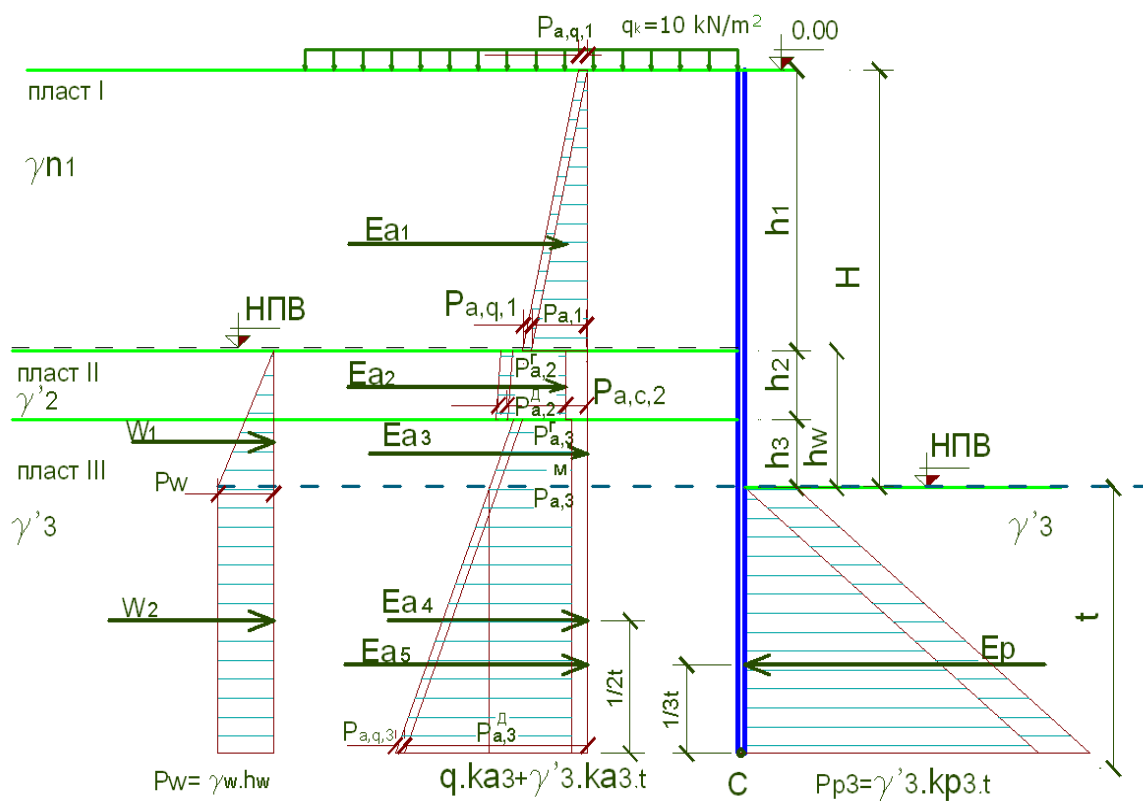
Укрепванията, използвани в строителните изкопи биват няколко вида. Според срока на действие на укрепването биват постоянни и временни. Според статическата схема на използваната укрепваща конструкция - свободно стоящи (запънати в почвата конструкции) и подпрени с анкери или греди-разпънки. Според начина на изпълнение могат да бъдат пилотни укрепителни стени, шлицови стени, шпунтови стени, берлински стени, дървени укрепвания, комбинирани укрепвания и др. Пилотните стени могат да бъдат едноредови и двуредови. При по-дълбоки изкопи за намаляване на сечението и усилията в укрепителната стена, се прилагат анкери. Могат да се прилагат едноредно или двуредно или с повече редове анкерно укрепване. В случай на многоредово укрепване с анкери е необходимо изчисляване на стената при различните етапи на разкриване на изкопа. При разкриване на първи етап на първо ниво на изкопа обикновено се полага първия ред анкери, следва втори етап на разкриване и полагане на втори по - долен ред анкери и т.н. На фиг.1 е показан процес на набиване на втори ред анкери при едноредова пилотна стена. Анкерите са набити в обща укрепваща греда.

## **III. ЗЕМЕН НАТИСК ПРИ УКРЕПИТЕЛНИ СТЕНИ.**

При укрепване с различните видове стени е необходимо те да бъдат изчислени и оразмерени на активен и пасивен земен натиск. При оразмеряване по класическата схема диаграмите на активния и пасивния земен натиск са триъгълниково – трапецовидни (фиг. 2).

Разликата между сегашните европейски норми [1] и по - старите български норми за проектиране [2] е предимно в коефициентите на сигурност, които се използват. В [2] за изчисляване на конструкциите на земен натиск са записани

коэффициентите за получаване на изчислителните стойности от вертикални външни натоварвания - от автомобилни колони  $gf = 1,40$ ; от единични тежки возила (НК-800)  $gf = 1,10$ ; от жп състави -  $gf = 1,30$ ; от разпределени насипни товари, складирани материали, оборудване и др. -  $gf = 1,20$ ; В [3] якостните характеристики на строителните материали и на земната основа се представят чрез нормативните им съпротивления, определени с минимална обезпеченост  $0,95$ . Оразмеряването на укрепителните конструкции се извършва за  $1m$ .



Фиг. 2. Схема на натоварване на конзолна шпунтова стена от земен натиск

Според Еврокод 7-1 [1] укрепителните стени се оразмеряват по втори изчислителен подход (DA 2). Изчисленията по DA 2 се извършват по крайни гранични състояния (ULS – ultimate limit states). Оразмеряването се извършва с изчислителни стойности на въздействия и реакции от въздействия, изчислителни стойности на материалите и изчислителни стойности на носимоспособността [4]. Изчислителните стойности се бележат с индекс “d”, а характеристикните с индекс „k”. По DA 2 частните коефициенти са както следва: за материали  $\gamma_\phi = 1$ ,  $\gamma_\gamma = 1$ ,  $\gamma_c = 1$  т.е. изчислителните стойности съвпадат с характеристикните; за натоварвания от собствено тегло са  $\gamma_F = 1,35$  за неблагоприятни, и  $\gamma_F = 1,0$  за благоприятни ситуации; за подвижни товари са  $\gamma_Q = 1,5$  за неблагоприятни ситуации и  $\gamma_Q = 1,0$  за благоприятни ситуации и по носеща способност  $\gamma_R = 1,4$ .

**1. Определяне на активния земен натиск.** Коефициентът на активен земен натиск за вертикални укрепителни стени се дава с формулата на Ранкин:

$$(1) \quad k_{a,i} = \tan^2(45^\circ - \varphi_k / 2)$$

1.1. Специфичен активен земен натиск от собствено тегло почва  $p_{a,i}$ . Земният натиск се прилага хоризонтално - перпендикулярно на укрепителната стена. Обща формула за характеристикни стойности е:

$$(2) \quad p_{a,i,k} = k_{a,i} \cdot \sum_i \gamma_i \cdot h_i = k_{a,i} \sigma_{\gamma,i} \quad [kN/m^2 / m']$$

Напреженията от собствено тегло почва (геоложки товар)  $\sigma_{\gamma,i} = \sum_i \gamma_i \cdot h_i$  се натрупват в дълбочина. Изчислителните стойности на специфичния активен земен натиск от собствено тегло почва се получават с използване на частния коефициент  $\gamma_F$ :

$$(3) \quad p_{a,i,d} = \gamma_F \cdot k_{a,i} \cdot \sum_i \gamma_i \cdot h_i = 1.35 \cdot k_{a,i} \cdot \sum_i \gamma_i \cdot h_i \quad [kN/m^2 / m']$$

В съответствие със схемата за характеристични стойности на специфичния активен земен натиск съгл. (фиг.2) от собствено тегло почва записваме формулите:

$$(4) \quad p_{a,1,k} = k_{a,1} \cdot \gamma_{n1} \cdot h_1 [kN/m^2 / m']$$

$$p_{a,2,k}^{\circ} = k_{a,2} \cdot \gamma_{n1} \cdot h_1 [kN/m^2 / m']$$

$$p_{a,2,k}^{\circ} = k_{a,2} \cdot (\gamma_{n1} \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2) [kN/m^2 / m']$$

$$p_{a,3,k}^{\circ} = k_{a,3} \cdot (\gamma_{n1} \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \gamma'_3 \cdot h_3) [kN/m^2 / m']$$

$$p_{a,3,k}^{\circ} = k_{a,3} \cdot (\gamma_{n1} \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \gamma'_3 \cdot h_3 + \gamma_3 \cdot t) [kN/m^2 / m']$$

В последния израз имаме неизвестна - дълбочината на забиване  $t$ .

1.2. Специфичен активен земен натиск от полезен товар  $q$ . Характеристичната стойност на полезният товар от складираните материали или строителни машини на обекта се приема  $qk=10 \text{ kN/m}^2$  или по-голям в зависимост от предполагаемите товари, които се очакват. Теритично влиянието на полезните товари върху съоръжението е под ъгъл  $u_{a,i} = 45^\circ + \varphi/2$  спрямо хоризонта, до съответната височина на укрепителното съоръжение. При оразмеряване на съоръжения, в полза на сигурността, приемаме товара на повърхността с достатъчна площ, така че влиянието му да е върху цялата височина на укрепителната стена. Активният земен натиск от полезен товар представлява правоъгълников товар със характеристична стойност:

$$(5) \quad p_{a,q,i,k} = k_{a,i} \cdot q_i \quad [kN/m^2 / m']$$

За изчислителна стойност на специфичния активен земен натиск от полезен товар почва записваме формулите:

$$(6) \quad p_{a,q,i,d} = 1.5 \cdot k_{a,i} \cdot q_i \quad [kN/m^2 / m']$$

1.3. Специфичен активен земен натиск от кохезия. Кохезията намалява активния земен натиск. Диаграмата на напреженията от кохезия е правоъгълников товар с интензивност:

$$(7) \quad p_{a,c,i,k} = -2 \cdot c_i \sqrt{k_{a,i}} \quad [kN/m^2 / m']$$

Изчислителните стойности на специфичния активен земен натиск от кохезия са равни на характеристичните.

**2. Определяне на пасивния земен натиск.** За коефициента на пасивен земен натиск се използва формулата на Ранкин:

$$(8) \quad k_{p,i} = tg^2(45^\circ + \varphi_k / 2)$$

2.1. Специфичен пасивен земен натиск от собствено тегло почва. Характеристичната стойност на пасивния земен натиск е:

$$(9) \quad p_{p,i,k} = k_{p,i} \cdot \sum_i \gamma_i \cdot h_i \quad [kN/m^2 / m']$$

За точка на дълбочина  $t$  под дъното на изкопа за характеристичния пасивен земен натиск имаме:

$$(10) \quad p_{p,3,k} = n \cdot k_{p,3} \cdot \gamma'_3 \cdot t [kN/m^2/m']$$

С коефициента  $n$  се взема в предвид работата на съоръжението. Коефициентът на пасивен земен натиск  $Kp$  определен по Ранкин се умножава с  $n$ . Коефициентът  $n$  се използва само при конзолни укрепителни съоръжения. При анкерирани стени пасивният земен натиск не се завишава с този коефициент.

$$(11) \quad n=1 \text{ при } \varphi=20^\circ; n=1,5 \text{ при } \varphi=25^\circ; n=1,8 \text{ при } \varphi=30^\circ; n=2,0 \text{ при } \varphi=35^\circ.$$

2.2. Специфичен пасивен земен натиск от кохезия:

Кохезията увеличава пасивния земен натиск. Диаграмата на напреженията от кохезия е правоъгълников товар с интензивност:

$$(12) \quad p_{p,c,i,k} = 2 \cdot c_i \sqrt{k_{p,i}} [kN/m^2/m']$$

2.3. Специфичен пасивен земен натиск от от полезен товар  $q$ . Полезният товар увеличава пасивния земен натиск. Диаграмата на напреженията от полезен товар е правоъгълникова. Земен натиск от полезен товар се изчислява, ако ще имаме полезен товар по дъното на изкопа. Обичайно в полза на сигурността този товар се пренебрегва. Характеристичната му стойност е:

$$(13) \quad p_{p,q,i,k} = k_{p,i} \cdot q_i [kN/m^2/m']$$

**3. Специфичен воден натиск.** Натоваарването от водата се дава в зависимост от водните нива от двете страни на шпунта. Разпределеният товар е по хидростатичен закон. В полза на сигурността може да се приеме воден натиск по цялата височина при плътни съоръжения откъм страната на активния земен натиск. По – ниското водно ниво откъм изкопа обичайно се приема на дъното на строителния изкоп. С отчитане на разликата между двете водни нива се получава сумарната диаграма от воден натиск дадена на фиг.2. Характеристичната стойност на водния натиск е:

$$(14) \quad p_{w,k} = \gamma_w \cdot h_w [kN/m^2/m'] \quad , \quad \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Изчислителната стойност се получава от характеристичната, като се умножи с частния коефициент за неблагоприятни ситуации.

$$(15) \quad p_{w,d} = 1.35 \cdot \gamma_w \cdot h_w [kN/m^2/m']$$

Равновесното условие по Еврокод 7-1 се дава със зависимостта:

$$(16) \quad F_d \leq R_d \quad , \quad \text{където:}$$

$F_d$  е изчислителната стойност на земният натиск предизвикващ дестабилизирането на укрепителното съоръжение – към него се причислява активния земен натиск и водния натиск, а  $R_d$  е изчислителната стойност на земният натиск, който стабилизира съоръжението. Това е пасивния земен натиск, или още наречен отпор на почвата.

$$(17) \quad R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R_k}{1.4}$$

Изчислителната стойност на носещата способност на почвата се получава, като характеристичната ѝ стойност се раздели на коефициента по носимаспособност  $\gamma_R=1.4$ . Пасивният земен натиск осигурява носимоспособността - оттук следва, че се разделя пасивният земен натиск с този коефициент  $\gamma_R$ .

**4. Определяне на резултатите на земния натиск и водата.** Резултантите на земния натиск  $Ei$  се определят с методите на статиката. Големините на силите са резултанти на диаграмите от пасивен и активен земен натиск за един линеен метър. Приложните им точки са в центъра на тежестта на получените сумарни диаграми от активен и пасивен земен натиск и диаграмата от вода.  $A_i$  са площите на фигурите на които сме разделили диаграмите.  $E_i=A_i \cdot 1m'$ .

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията са дадени особеностите на изчисляването на укрепителните конструкции според Еврокод 7-1. Направена е класификация на укрепителните конструкции по различни признаци.

### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] БДС EN 1997-1:2005, Еврокод 7: Геотехническо проектиране. Част 1: Основни правила, 2007, и Национално приложение към Еврокод 7– БДС EN 1997-1 / НА.
- [2] Норми за проектиране на подпорни стени (НППС) (отпечатани в БСА, бр. 10 от 1986 г.; изм., БСА, бр. 8 от 1990 г.).
- [3] НАРЕДБА № 3, „За основните положения за проектиране на конструкциите на строежите и за въздействията върху тях” 21 юли 2004 г. изм. и доп., бр. 33 от 2005 г.
- [4] Костова Ст., Анализ на процедурата за изчисление на носещата способност на земната основа според Еврокод 7 научно списание 'Механика транспорт комуникации' art. ID:1558, 1 / 2018

## STRENGTHENING OF DEEP BUILDING PITS

**Stoyna Kostova**

[kostova.stoyna@gmail.com](mailto:kostova.stoyna@gmail.com)

*Todor Kableshkov University of Transport, 158, Geo Milev str., Sofia 1574,  
Department of Transport and structure engineering,  
BULGARIA*

**Key words:** *sheet wall, retaining wall, diaphragm walls, pile walls, Eurocode 7-1.*

**Abstract:** *The article reviews the types of strengthening structure used in building engineering. The strengthenings are divided depends on the duration of the fortifying, depends on the static scheme of the structure, and on the way of execution. Using reinforcements in urban condition. Choice of the type of fortifying structure according to the type of soil, the depth of the pit and the presence of ground water. Use of diaphragm walls, pile walls, sheet walls, „Berlin” type walls and others to strengthen deep building pits. Earth pressure on the retaining structure. Determination of the load of active and passive earth pressure on the strengthening structure. Impact of water on different types of walls. Features and novelties in the calculation of fortifying constructions according to Eurocode 7-1. Design approach used to calculate strengthening structures according to BDS Eurocode 7-1. Partial coefficients for materials, loads, and bearing capacity according the new standards. Design and characteristic values of earth pressure and water pressure. Applying the Eurocode 7-1 recommendations in designing of retaining structures. Construction solutions for strengthening of deep excavations. Conclusions and recommendations for the implementation and building of different fortifying structure in existing streets and buildings are given.*