

An optimum distribution of the anchors rows at anchored retaining wall.

Оптималното разпределение на акерните редове при многоредово анкериране на укрепителни стени

Инж. А. Тоцев, инж. Г. Илов

I Част: Параметри, влияещи върху напрегнатото и деформираното състояние на многоредово анкерирана стена

Често при проектирането на жилищни и административни (най-общо) сгради се предвиждат 2, 3, а понякога и повече сутеренни нива, чието изпълнение е немислимо без предварително конструктивно укрепване на изкопите. У нас обикновено се изпълняват такива с дълбочина до 15 m. В други страни се проектират изкопи с дълбочина 35,0 m и повече (С-MAX Cinema Nuernberg-35,5m). Немалко са и аварията с особено дълбоките строителни изкопи .

Укрепителните конструкции, използвани в подобни случаи, са най-често пилотни или шлицови стени, анкерирани (подпрени) на едно или няколко нива в зависимост от дълбочината на изкопа, хидро-геоложките условия на терена и заобикалящата инфраструктура.

При необходимост от многоредово анкериране задачата значително се усложнява. Параметрите, които влияят върху напрегнатото състояние на стената са:

- схема и големина на натоварване от земен натиск;
- коравината на укрепителната стена;
- подаваемост на анкерните “опори” и допускането на определени премествания в тях;
- възможности за регулиране на усилията в анкерите (донатягане);
- разположението на анкерите по височина;
- последователност на изпълнение на анкерите;
- начинът на моделиране на земната основа, включително нейното закоравяване в дълбочина и др.

Приемането на всеки един от тези параметри съдържа известна доза условност и крие риска по отношение отразяване на действителната работа на конструкцията.

Специализираната литература [1,3] и нормативните

документи [2,6,7], не са категорични по тези въпроси. Безспорно те дават свобода (особено Eurocode 7 [7]) като се разчита на опита и преценката на проектанта.

Предмет на настоящата статия е определяне степента на влияние на някои от параметрите споменати по-горе, при решаването на конкретен проблем. Разглежда се едно проектно изследване на четириредово анкерирана пилотна стена. Търсен е подход при определяне оптималното разположение на анкерите по редове във височина.

Укрепителната (пилотна) стена (фиг.1) е с обща височина 18,5 m, от които 4,5 m “забита” част и 14 m разкрита. В зоната на конструкцията, след обработка на резултатите от геотехническите проучвания, са приети условно два пласта с характеристики, показани на схемата. Решено е анкерирането да бъде в четири хоризонтални реда, като нивата не са установени. Задачата се решава като равнинна. Разстоянието между анкерите е един метър за всеки ред (в последствие ветрилообразно се “разбягват”).

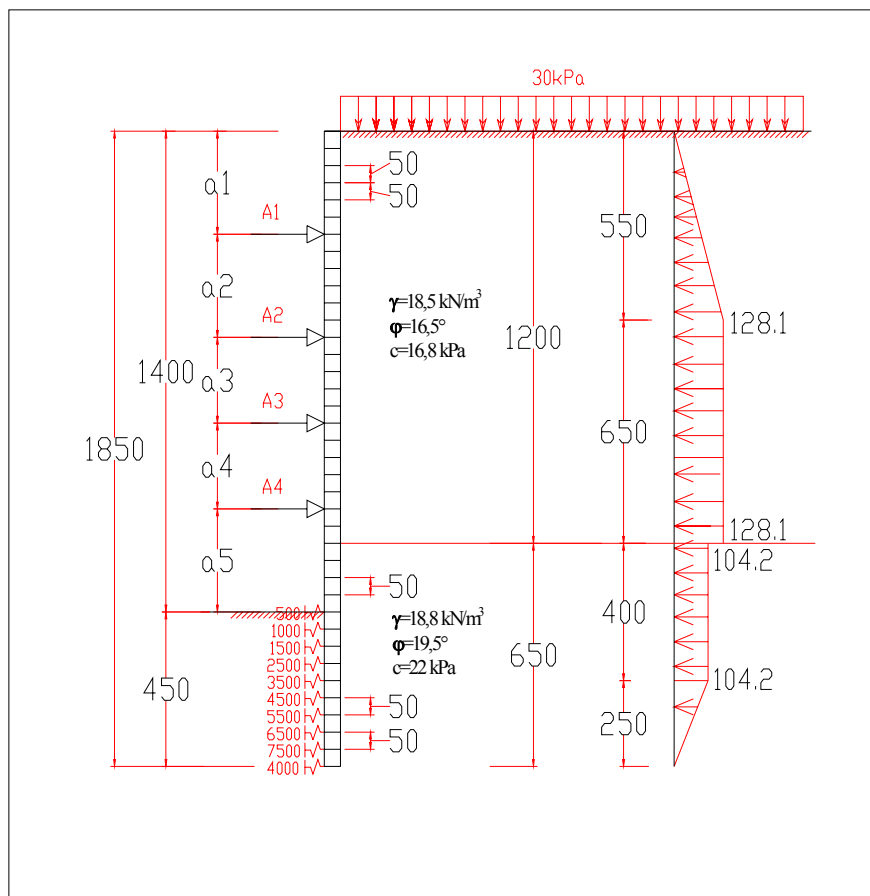
Изследванията са извършени със SAP2000.

Моделът за решението се базира на линейни крайни елементи и земен натиск, препоръчван за подобни технологии за изпълнение на укрепени изкопи (изкопаване-подпиране). Позовавайки се на нормативните изисквания [2,6,7], както и на някои предварителни анализи [4] земната основа под дъното на изкопа във всеки етап на изпълнение се моделира с закоравяващи в дълбочина винклерови пружинни опори с базова коравина 4000 kPa/m^2 . Нелинейност на коефициента на леглото се наблюдава единствено в участъка обхващащ първите 2m, непосредствено под дъното на изкопа. С последното се цели намаляване на съпротивителни възможности на почвата в тази зона. Коравините на отделните пружини за последния технологичен етап са показани на фиг.1.

Укрепителните елементи – анкерите са от инжекционен тип и са моделирани като подаваеми Пружинни опори с различна коравина (вкл. и като неподдаеми - безкрайно корави).

В литературата съществуват редица схеми за натоварване от земен натиск и полезен товар при многоредово анкерирани стени - Verdeyen, Rowe, Terzaghi, Peck, Spilker, Tschebotarioff, Terzaghi-Peck [3,5,8,12] В разглеждания случай са възприети препоръките за натоварването от земен натиск на Terzaghi-Peck - трапецовидно разпределение в дълбочина – фиг.1. В последващите разсъждения се приема, че това натоварване остава непроменено при различните

схеми на решения, свързани с отделните технологични етапи на изпълнение на стената. Тази предпоставка според нас не поставя под съмнение получените резултати. От друга страна обаче, тя позволява по-ясно разграничаване на влиянието на отделните параметри, което е една от основните цели.

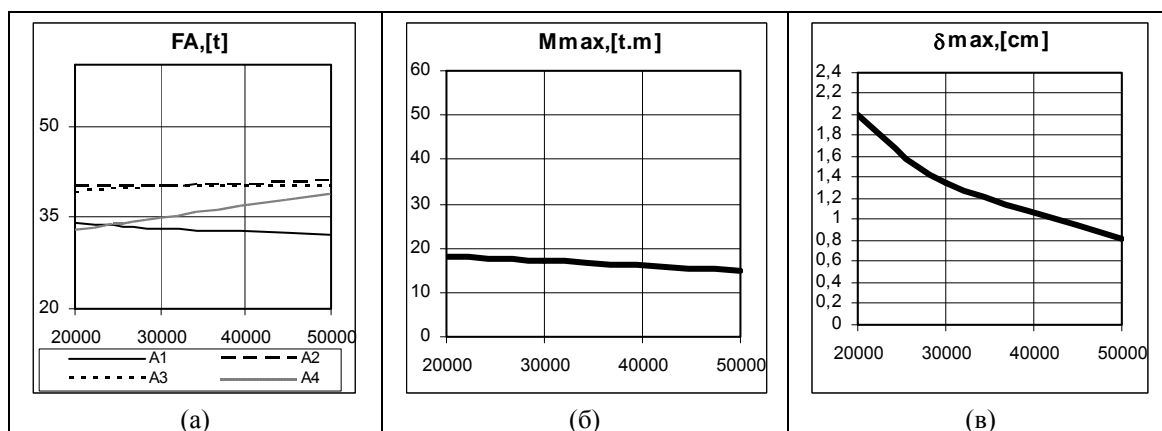


Фиг.1. Изчислителен модел с натоварване от земен натиск

1.1. Влияние на коравината на анкерните опори

Първият въпрос е какво става с напрегнатото и деформирано състояние на конструкцията при **промяна коравината на анкерните опори**. За целта са решени няколко варианти на стената по отношение положението на анкерните редове. За всеки вариант коравините в анкерите се изменят от 20000kN/m до 50000kN/m. Прието е, че константите на пружинните опори са еднакви, т.е. $K_{A1}=K_{A2}=K_{A3}=K_{A4}$ и, че стената е от пилоти с диаметър 80cm.

Натоварването и параметрите на Винклеровата основа са приети съгласно фиг.1.



Фиг.2. Резултати за влиянието на коравината на опорите върху тяхната големина (а), върху максималния огъващ момент (б) и върху деформацията на стената (в).

Изследвано е крайното технологично състояние. От обобщените резултати показани на фиг.2 се вижда, че влиянието на коравината на опорите е незначително върху усилията в анкерите. Изключение прави последната опора, където изменението (нарастването) на усилияето от около 18% за двете гранични стойности за K_A .

Резултатът е логичен и той се дължи на коравината на основата, която в този анализ не е променяна (а само коравината на опорите). Съвсем логично е коравината на основата най-силно да повлияе на най-долния ред анкери.

По отношение на максималните огъващи моменти може да се приеме, че измененията в тяхните стойности от промяна на коравината на опорите е в приблизително същите граници (20%). И това е логично, както логичен е и факта, че моментът в близост до “пружинната основа” е най-изменчив.

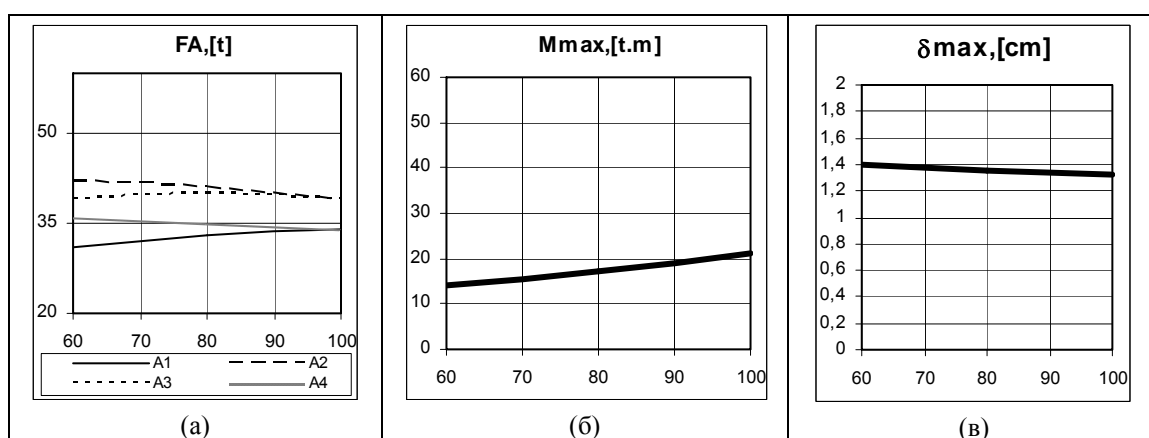
По отношение на коравината на опорите най-чувствителни са преместванията на конструкцията. И отново това в най-малка степен важи за преместванията в близост до “пружинната основа”.

1.2. Влияние коравината на пилотната стена

Доколко и в какви граници промяната на избрано вече напречно сечение на пилоти, е допустима без допълнително преоразмеряване. В търсене отговора на този въпрос са решени

различни вариантни схеми при диаметри на сечението на пилота, вариращи от 60 до 100см. В този анализ коравините на анкерните опори са приети по 30000kN/m. Натоварването от земен натиск се запазва, запазва се и пружинното моделиране на земната поснова под дъното на изкопа чрез пружини с константи k_z .

Изчисленията и обобщаването на резултатите (фиг.3) показват, че в най-голяма степен промяна, следствие изменение на огъвателната коравина на стената, настъпва в огъващите моменти. Следва да се отчете, че огъващите моменти нарастват с увеличаване на сечението на пилотите. Влиянието на коравината на пилота върху хоризонталните премествания и анкерните сили е малко в рамките на 5-10%.



Фиг.3. Влияние на коравината на стената (чрез коравината на пилотите) върху анкерните усилия (а), върху максималните огъващи моменти (б) и върху максималните премествания (в)

Горните заключения са направени за диаметрите, изменящи се в посочените “близки” граници. При други сечения извън този диапазон поведението на конструкцията е различно и направените изводи са невалидни. Например при $D=30\text{cm}$ преместванията нарастват многократно.

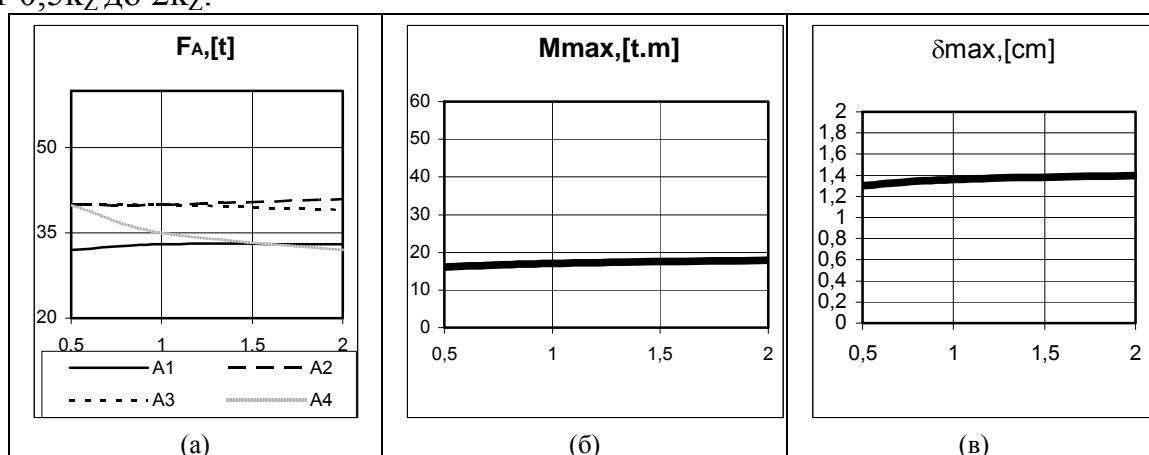
1.3. Влияние на коравината на основата.

Моделиране на поведението на земната основа от страната на изкопа, при този тип конструкции, е дискутиран въпрос. Винклеровият модел, макар и опростен в сравнение с заложените в съвременните специализирани програмни продукти модели отчитащи нелинейното поведение на почвата, си остава един от популярните в инженерната практика. В почти всички водещи в

областта на геотехническото инженерство страни няма консенсус по въпроса кои подход е по-верен [7]. Един пример в това отношение е експериментът направен в рамките на немско-холандски проект [10,11], при който на 43 организации (проектантски и научни) от 14 страни, сред които Германия, Франция, Великобритания и др., се възлага проектирането на анкерирана шпунтова стена. Ограничения по отношение на използваните методи на решение не са наложени. Укрепителната стена е изградена в последствие, при което са извършени множество натурни измервания с най-съвременна техника по време и след изпълнението, с цел да се направи едно сравнение с получените по изчислителен път стойности. Обобщаването на 43-те резултата дава разликите достигащи до стотици проценти, независимо от методът на изчисление.

Спирайки се на **Винклеровия модел** остава въпросът как и колко да се приеме коравинат на леглото. В литературата [1,3,9] и нормативната база [2,6,7] са дадени много зависимости и таблици за връзка между експериментално получените почвени параметри и k_z , но за едно точно определяне на Винклеровата константа са необходими съответните полеви изпитвания за конкретния терен. Предвид фактът, че проектантът не винаги разполага с подобни точни данни, възниква въпросът доколко отклонения при приемането на k_z влияе върху верността на крайните резултати.

Разглеждаме пилотна стена (D80cm), с натоварване показано фиг.1 и анкерни опори с $K_A=30000\text{kN/m}$. Приети са различни варианти на разпределение на анкерните редове (виж Част II). Характерът на изменението на коравината на леглото в дълбочина принципно се запазва, като се променя стойността на k_z , варираща от $0,5k_z$ до $2k_z$.



Фиг.4. Влияние коравината на опорите в/у усилията, огъващите моменти и преместванията

Резултатите (фиг.4) показват, че при такова многоредово

анкерирани с не много голяма дълбочина на забиване, влиянието на коравината на анкерните опори върху усилията в анкерите, върху максималните огъващи моменти и премествания се ограничава до 10%. Изключение прави само последният ред анкери където с нарастване коравината на основата, силата в анкера намалява (с 20% от $0,5k_z$ до $2k_z$).

Получените резултати в тази част първа на статията са обобщени в Таблица 1. От стойностите, макар и получени за един конкретен пример могат да се направят и някои общи заключения. Някакви особени отклонения не биха се получили, ако примерът бъде многократно обобщаван.

Таблица 1. Крайни резултати от численото изследване

Величина	Влияние на:		
	Коравина на укр. стена	Подаваемост на анкерите	“Коравина” на земната основа
M_{max}	50%	20%	12%
A	11%	18%	20%
δ_{max}	4%	>200%	7%

II част. Определяне на оптималните нива на анкерите.

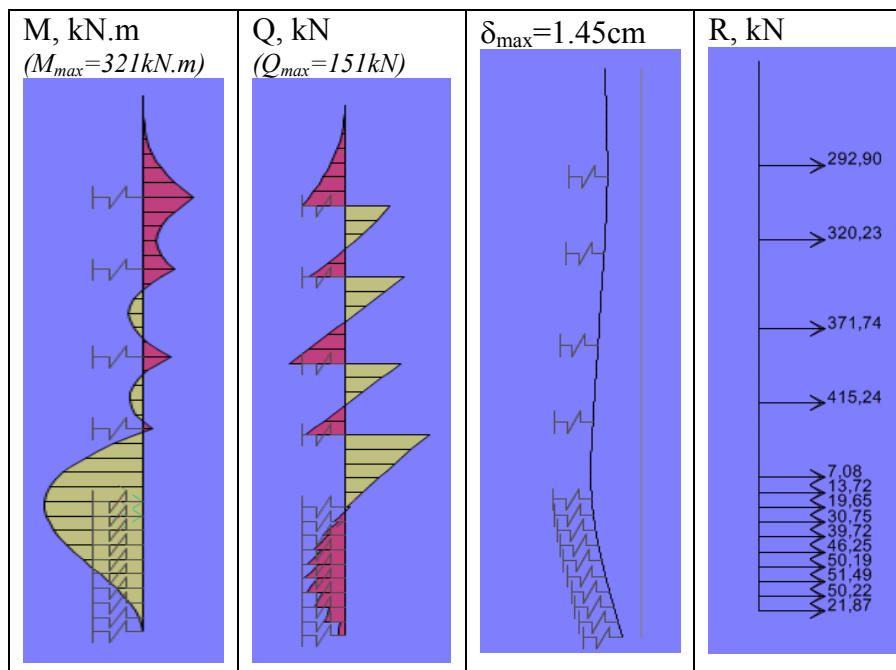
В тази част търсим онова оптимално разпределение на анкерите във височина, при което имаме минимални усилия, т.е. търси се едно икономично решение от гледна точка на усилия в стената и в анкерите. Приети са два подхода, разгледани независимо един от друг.

II.1. Удовлетворяване на условието $A_1 \approx A_2 \approx A_3 \approx A_4$

Първоначално е прието, че при еднакво натоварени анкери, усилията в стената ще бъдат равномерно разпределени и с минимални стойности. Задачата се решава за два вида анкерни опори - подаваеми с параметър на коравина $K_A=30000\text{kN/m}$ и неподдаваеми с $K_A=\infty$. Диаметърът на пилотите от стената е 80см. Натоварването и земната реакция са съгласно фиг.1.

В резултат от решените различни комбинации като оптимално по отношение на това първо условие се получава следното

разпределение (фиг.5): $a_1=3,5\text{m}$; $a_2=2,5\text{m}$; $a_3=3,0\text{m}$; $a_4=2,5\text{m}$; $a_5=2,5\text{m}$ (за $K_A=30000\text{kN/m}$). При неподдаваеми опорите удовлетворяването на подобно условие е невъзможно, тъй като натоварването в много по-голяма степен се поема от най-долния ред анкери.



Фиг.5. Напрегнато състояние на стената при приблизително еднакви анкерни сили.

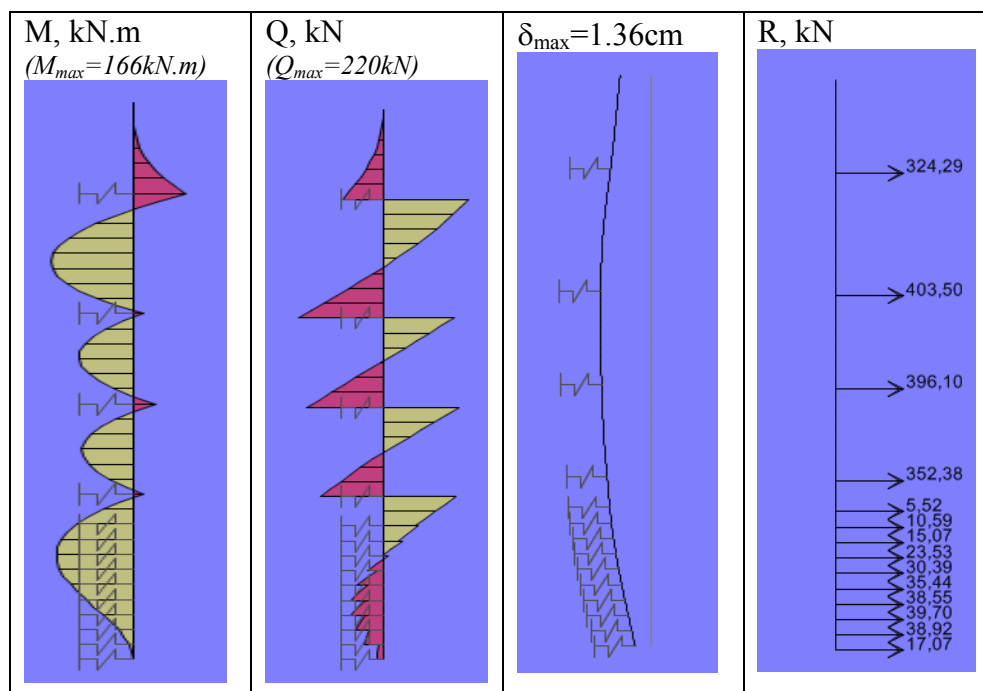
При неподдаваеми опори и съответното им разположение е възможно в някои от тях да възникне натисково усилие, което показва, че при подобна изчислителна схема не винаги увеличаване броя на анкерните редове помага съществено.

Независимо от нивата и подаваемостта на анкерите $\sum A_i \approx \text{const}$. Този резултат се използва в последващите разсъждения като условие за $A_{\max,i} = \sum A_i / 4 \approx 400\text{kN}$.

II.2. Удовлетворяване на условието “ $M_{\text{опт}}$ ”.

При втория подход за определяне нивата на анкерите се изхожда от условието за равномерно разпределение на моментовата диаграма по дължината на пилота. Това би довело до оптимално натоварване на укрепителната стена и минимални стойности на огъващите моменти. От направените изчисления за стената, анкери с $K_A=30000\text{ kN/m}$, при натоварване от активен земен натиск и коравина на земната основа в зоната на изкопа съгласно фиг.1 се

получава следното оптимално разпределение на анкерните редове (фиг.6): $a_1=3,0\text{m}$; $a_2=4,0\text{m}$; $a_3=3,0\text{m}$; $a_4=3,0\text{m}$; $a_5=1,0\text{m}$.



Фиг.6. Напрегнато състояние на стената при втория подход (M_{omn}).

Вижда се, че това разположение е различно в сравнение с полученото в т.П.1. Въпросът е кое състояние е меродавно и следва да се приеме за проектно.

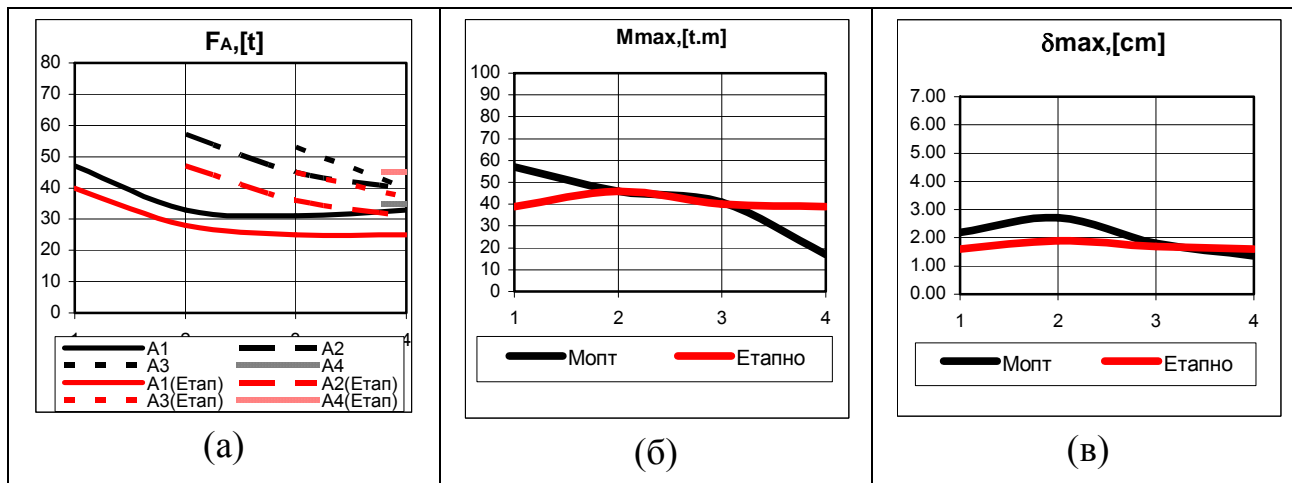
Едно сравнение показва, че подходът “ M_{opt} ” дава почти два пъти по-малки огъващи моменти, при едва с около 20% по големи анкерни сили и то само в отделни редове. Това от гледна точка на строителната стойност на съоръжението е по-добрия вариант. Фактът, че усилията както в конструкцията, така и в анкерите са сравнително равномерно разпределени, предполага и по-добри условия на работа на стената по време на експлоатацията.

До тук проблемите са разгледани в стационарен вид или състояние, свързано с краен етап на изпълнение на стената. Следователно получените резултати имат в известна степен относителен характер. Безспорно за крайни заключения е необходимо да се разгледа стената в развитие, т.е. анализ да се извърши комплексно за различните (отделните) строителни състояния. За целта с получените оптимални нива на анкерните редове в двата варианта са решени всички възможни изчислителни схеми отразяващи отделните етапи на изпълнението (“изкопаване-анкерирание-изкопаване-анкерирание”).

Оказва се, че крайното (експлоатационното) състояние (което беше оптимизирано) не винаги е меродавно при оразмеряване на конструкцията. През различните етапи от изграждането на стената анкерните усилия нарастват с до 42%, а разрезните усилия в стената се изменят почти двойно в сравнение с “оптимизираните”..

II.3. ”Етапен” подход

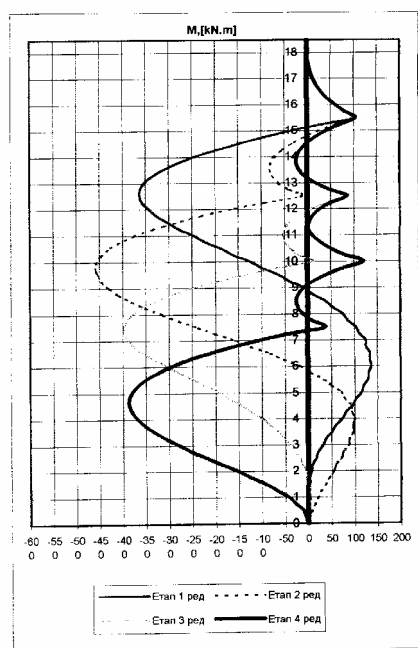
Процесът на оптимизиране продължава. Търсят се тези анкерни нива, които във всяко едно строително състояние дават равномерност в натоварването. Решението е поетапно, при спазване на условието $A_{\max,i} \approx 400\text{kN}$. При този подход не се интересуваме от работата на конструкцията в експлоатационно състояние. То се получава като следствие от получените оптимални анкерни нива за всеки етап от изпълнението: търси се най-рационалното положение на първия ред анкери от решаване на конзолната стена; от решението на едноредово подпряна стена (с вече установено първо ниво на анкерирание) се установява второто ниво на “подпиране”. Така се получава нивото на втори анкерен ред и т.н.



Фиг.7. Усилия в анкерите (а), стойността на огъващите моменти(б) и преместванията в стенат за четирите етапа на изпълнение

Резултатът от подобен подход дава следното разпределение:
 $a_1=3,0\text{м}$; $a_2=3,0\text{м}$; $a_3=2,5\text{м}$; $a_4=2,5\text{м}$; $a_5=3,0\text{м}$.

При така полученото решение, силите в анкерите и огъващите моменти също варират през отделните етапи на изпълнение; натоварването в експлоатационно състояние не е равномерно, но както се вижда от фиг.7 и фиг.8 максималните им стойности в сравнение с “подходът M_{opt} ” са значително по-малки, както и диапазонът на тяхното изменение.



Фиг.8 Огъващи моменти за всеки от четирите етапа на изпълнение на стената.

Заклучение

В статията са получени резултати за влиянието на най-важните геометрични параметри на една пилотна укрепителна стена върху разрезните усилия, преместването на стената и усилията в анкерите. Изследването е числено и показва, че ако няма други конструктивни съображения, чрез оптимизиране на нивата на анкерите (по отношение на усилия в тях и на разрезните усилия в стената) може да се достигне до едно икономично проектиране – намаляване на усилията в анкерите и намаляване на огъващите моменти в стената. Показано е, че оптимизиране, свързано само с крайното технологично състояние не е необходимо, защото във всяко едно от предишните състояния поведението на конструкцията може да се окаже “по-критично” по отношение на крайното. Например много висок огъващ момент. В подкрепа на казаното, са резултатите показани на фиг.8, където е прието приблизително равенство на

максималните моменти за отделните строителни състояния. Този принцип може да се използва успешно за оптимизиране на решенията на многоредово анкерирани стени.

Литература.

1. Божинов Б., Т.Етимов, Д.Райкова, Изчисляване на конструкции върху еластична основа, Техника, 1982.
2. Норми за проектиране на пилотно фундиране, БСА, кн.6/1993г.
3. Стефанов Г., Наръчник по земна механика и фундиране, Техника, 1989.
4. Тоцев А., Илов Г., Едноредовод подпряна (анкерирана) стена, "Строителство" бр.1/ 2005 г.
5. Шнеебели Ж., Шлицови стени, Техника, 1979.
6. DIN 4014 Teil 2, 1977.
7. Eurocode 7. Geotechnical Design. 1999.
8. Terzaghi K., R.Peck, Soil mechanics in Engineering practice, New York, London, Sydney, 1967.
9. Terzaghi K., Evaluation of coefficient of subgrade reactions, Geotechnique
- 10.von Wolfesdorff P.-A., Feldversuch an einer Spundwand in Sandboden: Versuchsergebnisse und Prognosen, Geotechnik 17, 1994.
- 11.von Wolfesdorff P.-A. , Gebrauchstauglichkeitsnachweise fuer Stuetzkonstruktionen, Geotechnik 19, 1996.
- 12.Vredeyen I.,V.Rosini, J.Nuyens, Applications de la mecaniqu des solls, Paris, 1971

Оптималното разпределение на анкерните редове при многоредово анкериране на укрепителни стени

Инж. А. Тоцев, инж. Г. Илов

Резюме

Статията представя на едно числено изследване (със SAP 2000) на многоредово анкерирани стени. Изложена е в две части. Първата разглежда влиянието на някои параметри върху напрегнатото и деформирано състояние на една четириредово анкерирана пилотна укрепителна стена с пилоти D800. Получени са зависимости, които дават полезна информация при проектиране на подобни задачи.

Втората част на статията разглежда проблема за оптимизиране на решението като се търси такова разпределение на анкерните редове по нива, при което усилията в тях да бъдат приблизително еднакви, както и огъващите моменти в гредата. Усилията са насочени към оптимизиране на крайното или експлоатационното строително състояние. Оказва се, че за да бъде достигнато то (в оптималния си вид) се преминава през други (първо, второ и трето) състояния, които се оказват определящи по отношение разположението на анкерните редове. Крайните резултати от изследванията показват, че максималните моменти в четирите строителни състояния са приблизително еднакви, което е показател за оптималност при решението на задачата.

An optimum distribution of the anchors rows at anchored retaining wall.

Totsev A., Ilov G.

A numerical analysis of anchored retaining walls is presented. The case of several anchors levels are investigated.

The influence of some parameters on the stress-strain behaviour of pile retaining wall anchored on four level are considered. Some relationships, that can be used for design of similar cases are received.

The second part of the report presents some studies for receiving an optimal solution concerning the number of the anchor rows, when the actions and bending moments are approximately equal. The solution is direct to optimizing the final or exploitation state. The results from this study showed that the maximum bending moments and anchors forces are approximately equal for all four states. That means an optimal solution of the problem is received.