

Фундиране с кладенци.

1. Същност и област на приложение.

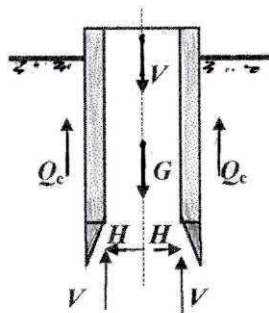
Кладенците са кухи, бетонни или най-често стоманобетонни тела, които са отворени от двата края (долен и горен) и се спускат до проектната дълбочина в земната основа, като почвата във вътрешността им се изкопава.

Кладенците имат широко приложение в строителството. *Като дълбоко заложен фундамент* в мостовото, пристанищното, промишленото и общественото строителство, те пренасят натоварванията на много по-голяма дълбочина и следствие взаимодействието със земната основа те имат много по-голяма носимоспособност от другите дълбоко заложен фундамент.

В много случаи кладенците се използват за създаване в дълбочина на експлоатационен обем. Тогава те работят като фундаменти, а като *подземни съоръжения*. С такова предназначение кладенците се използват предимно в строителството на водоснабдителни и канализационни мрежи и пречиствателни станции (крайбрежни кладенци на водоснабдителни съоръжения; водопроводни бункерни станции; водопроводни шахти на почвени води; канализационни помпени станции; резервоари при главните помпени станции; вертикални утаители; и други).

В промишленото и гражданското строителство кладенците се използват за подземни помещения, доменни пещи, подземни гаражи и други. В световната практика са познати съоръжения изградени с кладенчово фундиране, на дълбочина 100 - 200m (например: сграда на банка в Токио е фундирана върху кладенци с дълбочина от 67 - 100m; при строителството на сухия док в Генуа през 1961г. са спуснати кладенци с дълбочина от 52 до 200m. У нас, опорите на моста Русе-Гюргево са фундирани с използването на кесони - затворени кладенци под налягане).

От гледна точка на земната механика и фундирането, кладенците представляват интерес поради факта, че при тях най-добре се проявява съвместната работа на съоръжението със земната основа и почвения масив. Отчитането на това съвместно действие е наложително.



Фиг. 1. Схема на силите на взаимодействие с кладенеца при спускане

Съвместната работа на кладенците и земната основа се проявява както по време на строителството, така и при експлоатацията. Специфична е и технологията на изграждане на кладенците. Кухото стоманобетонно (метално или бетонно) тяло, за да достигне проектната кота, следва да преодолее съпротивлението на земната основа (реакцията на долната част на кладенеца H и V и триенето по околната повърхнина Q_c). Обикновено, преодоляването на съпротивлението на земната основа става следствие собственото тегло на кладенеца G или чрез допълнителни въздействия V (Фиг.1). По време на спускането на кладенеца почвата във вътрешността се изкопава. В зависимост от начина на изграждане, те могат да бъдат *сглобяеми* или *монолитни*.

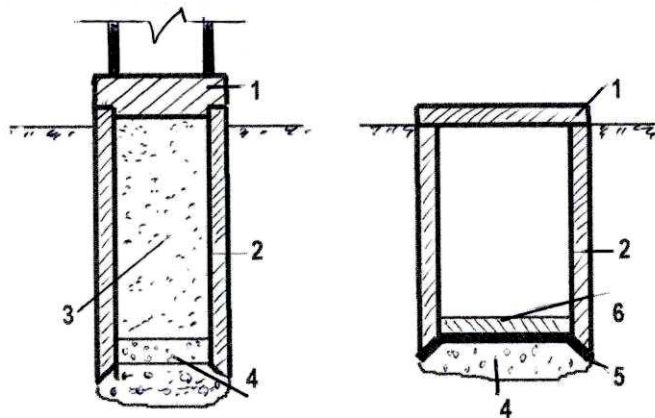
На фиг.2 са представени основните елементи на кладенчовите фундаменти в напречен разрез.

Горната плоча (1) е предназначена да предаде товара от върхната конструкция върху кладенчовото тяло или да оформи подземното съоръжение.

В долната част обикновено се прави бетоново или стоманобетонно дъно (4) за предаване на товара от фундамента върху почвата.

Ако кладенецът се използва за подземно съоръжение отдолу се изгражда стоманобетонна плоча (6) е се прави хидроизолация (5).

Спусканите кладенци могат да се окажат оптимален метод за фундиране на обекти отдалечени от населените места и с минимален обем строителни работи на място. При съвременната строителна техника кладенците могат да се спускат на голяма дълбочина в различни почви. Най-добре се спускат в несвързани почви без камъни и валуни. При изкопаване и водочерпене могат да се спускат във всякакъв вид почви, включително и достигане до скали.



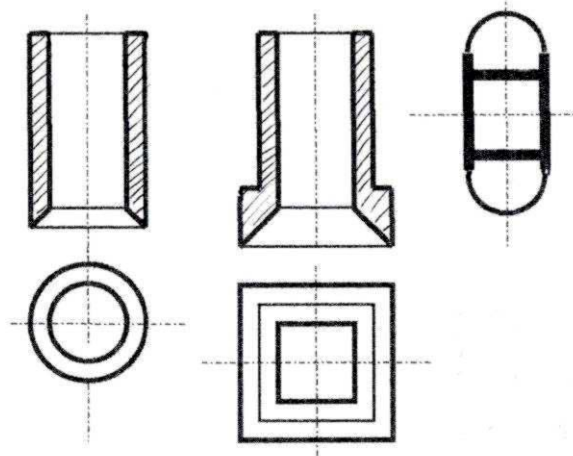
Фиг. 2. Елементи на кладенчовите фундаменти.

1. горна плоча; 2. кладенец (дебелина на стените 1 - 2м при гравитационни кладенци; 0,2-0,6м - при сглобяеми);
3. запълнител (пълнеж от пясък или бетон); 4. водозащитна възглавница; 5. хидроизолация;
6. долна плоча.

Основните *предимства* на фундирането с кладенци могат да се обобщят както следва:

- предава товарите на голяма дълбочина, което предполага по-пълно използване на носещата способност на земната основа;
- малко се нарушава началното напрегнато състояние на масива (незначително разуплътняване на почвата в страни), което позволява поемането на по-големи напречни сили от връхната конструкция;
- не е необходимо укрепване на строителната яма, самото кухо тяло може да се използва като ограждащо съоръжение;
- фундаменти се изграждат за по-кратки срокове;
- при съвременната строителна техника може да се прилага при всякакъв вид почви;
- имат значителна напречна коравина и голямо напречно сечение;
- при гравитационни кладенци не се изисква специално оборудване за спускане в почвата, което позволява да се намали обема на строително-монтажните работи;
- по принцип, голяма част от елементите се изготвят на повърхността, при което могат да се използват местни материали.

Основният *недостатък* на фундирането с кладенци е непълното използване на носещата способност на фундамента. Освен това, в сравнение с пилотите те се изпълняват по-бавно и изискват прецизен надзор по време на спускането.



Фиг. 3. Напречни сечения на спускани кладенци

Спусканите кладенци могат да се класифицират по следните признаци:

- а) по материал: предимно стоманобетонни или бетонни, рядко металически и много рядко каменни, тухлени и дървени;
- б) по вид на конструкцията: дебелостенни (масивни и с кухи стени) и тънкостенни;
- в) по начин на построяване: монолитни, сглобяеми и смесен тип;
- г) по начин на спускане: гравитационни (под действие на собственото тегло); принудително с вибратори и крикове; от повърхността или острови;

- е) по начин на изкопаване на почвата от вътрешността на кладенеца: открита изработка или чрез превръщане в кесон;
- ф) по форма на напречното сечение: кръгли (най-добре поемат усилията); правоъгълни; квадратни; със заоблени краища (Фиг.3).

2.Изпълнение на спускани кладенци.

Оразмеряването на спусканите кладенци се извършва за строителни и експлоатационни състояния. Във връзка с това, тук ще бъде разгледана в укрупнен план технологията на изпълнение кладенците. Последователността на строителните работи е следната:

- а) изграждане на една секция от кладенчовото тяло;
- б) спускане;
- в) увеличаване на височината по време на спускане;
- г) направа на бетоновата възглавница и запълване на празнините (при фундамент);
- д) направа на горната плоча.

2.1.Подготовка на строителната площадка за изграждане на първата секция

а) Площадка на сухо (липса на повърхностни води (Фиг.4)



Фиг.4

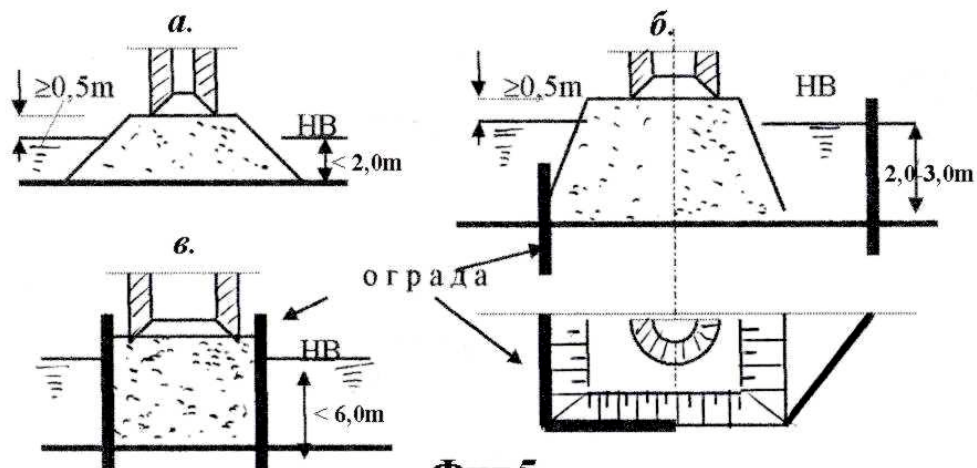
В този случай, в зависимост от проектните размери на кладенеца, терена се подравнява за да може да се направи кофража и да се изгради съоръжението. Ако НПВ е до 3-5м по терена, изкопава се яма, така че дъното ѝ да достигне 0,5-1,0м над най-високото НПВ (фиг.4а).

Почвата на строителната площадка трябва да издържи натоварването от първата секция и да не допусне неравномерни слягания по време на бетонирането (при монолитен кладенец) или по време на монтирането (при сглобяеми кладенци).

При слаби почви може да се направи може да се направи заздравяване на основата чрез пясъчна възглавница (фиг.4б).

б) Фундиране във водоеми (открити води) (Фиг.5).

При водно ново до 2,0м и сравнително бавно течащи води, се изграждат острови без ограждане(фиг.5а). При опасност от подмиване на откосите същите се ограждат с шпунтови или други огради, които не поемат натоварването от насипа (фиг.5б). При по-високи води се изграждат острови с огради, които поемат натоварването от засипката.



Фиг.5.

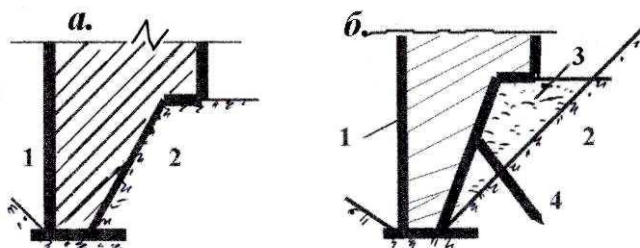
2.2. Изграждане на първата секция на кладенеца.

Разглеждаме бетонови и стоманобетонови кладенци. Обикновено те се изграждат на мястото на тяхното спускане. При използване на сглобяеми кладенци, те се транспортират до мястото на спускане.

При монолитни кладенци се извършват следните видове работи:

- направа на кофража;
- поставяне на арматурата;
- бетониране на секциите;
- декофриране, след като бетона придобие необходимата якост.

Специално внимание следва да се обърне на кофрирането на ножа (частта, с която кладенеца разрушава почвата при спускането. На фиг.6 е показан кофраж на ножа при здрава земна основа (фиг.6а) и при заздравяване (фиг.6б).



Фиг. 6. Кофриране на ножа.

1. кофраж; 2. почвата в траншеята; 3. насипана почва; 4. къси пилоти за укрепване

2.3. Спускане на кладенеца.

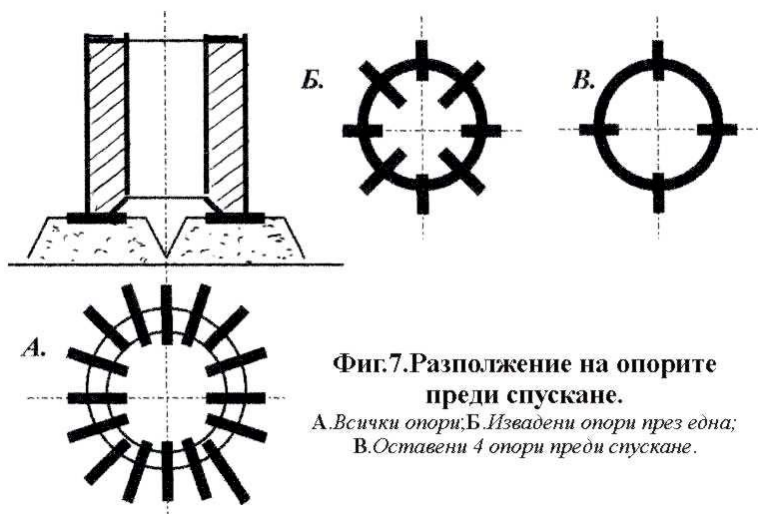
Ще разгледаме спускането от повърхността на почвата или от изкуствени острови.

а). Подготвителни работи:

- поставяне и изпробване на оборудването за водочерпене (ако се предвижда такова);
- поставяне и проверка на механизмите за изизкопаване и изваждане на почвата;
- декофриране и изваждане на опорите.

На последната операция следва да се обърне специално внимание. Подпорите се изваждат през една, като ножа се подбива на мястото на махнатите подпори. Накрая ножа остава подпрян на четири противоположно разположени подпори, които се изваждат две по две и се подбива. Целта е да не се получи пропадане на ножа и да не се изкривява първата секция.

Последователността на изпълнение е показана на фиг.7.



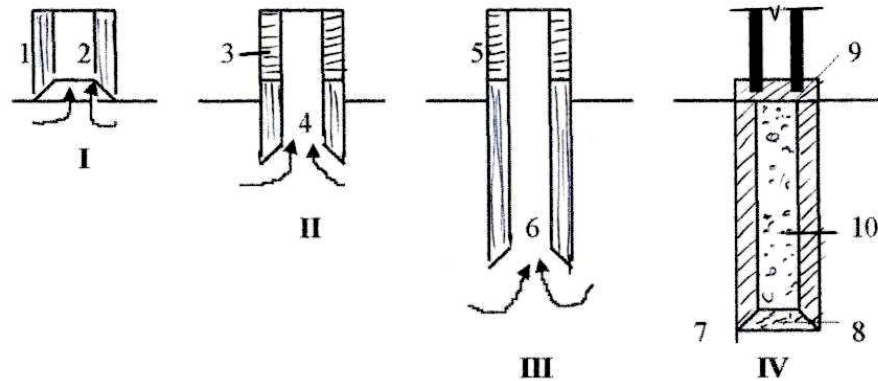
Фиг.7. Разположение на опорите преди спускане.

А. Всички опоры; Б. Извадени опоры през една; В. Оставени 4 опоры преди спускане.

Първата секция е обикновено с височина 4-6m, в зависимост от вида на почвата и диаметъра на кладенеца.

Б. По нататък следва *спускането на кладенеца*, и доизграждането му по височина. Етапите на изпълнение са показани на Фиг.8.

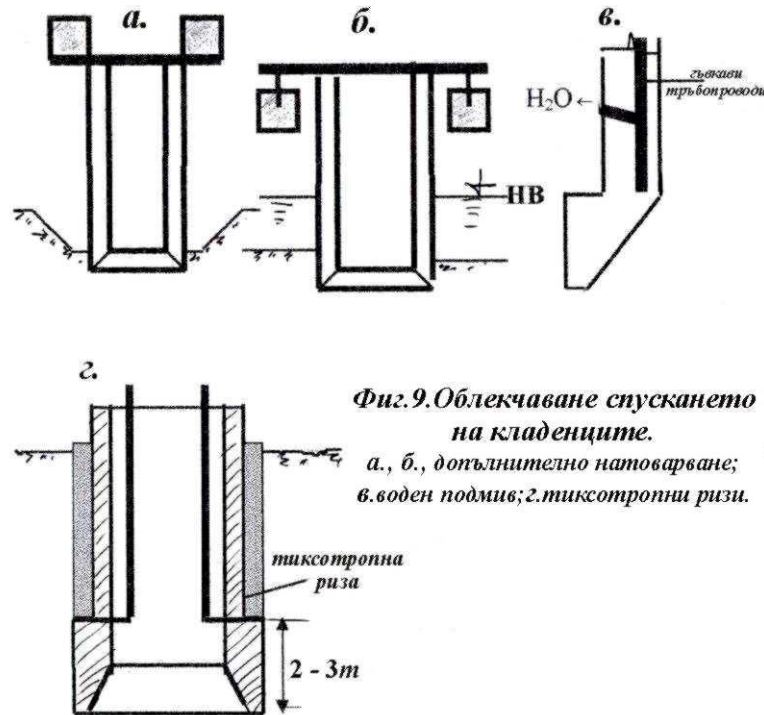
Начинът на изкопаване на почвата се избира в зависимост от вида на почвата, интензивността на филтрация на почвените води, формата и размерите на кладенеца и дълбочината до която ще се спусне. В изсушени кладенци се използват багери с грайфери, хидроелеватори и други. Скалните почви се разработват по взривен способ



Фиг. 8. Спускане на кладенеца. I, II, III, IV- етапи на изпълнение; 1.кладенчово тяло; 2,4,6 изкопаване на почвата; 3,5- донадзигждане на кладенеца; 7. Кладенеца спуснат до проектната кота; 8. дънна възглавница; 9. Горна плоча или връхна конструкция; 10.пълнеж при фундаменти)

Най-икономично се копае на сухо. Това е възможно при неголяма филтрация. Може да се направи водопонижение чрез иглофилтри.

Директно водочерпене се препоръчва в случаите когато се изключва възможността за извличане на почвата по ножа (при несвързани почви - опасност от суфозия). Обикновено това е възможно, когато притокът на водата не превишава $1\text{m}^3/\text{час}$ за m^2 площ.



Фиг.9.Облекчаване спускането на кладенците.

а., б., допълнително натоварване; в.воден подмив; г.тиксотропни ризи.

Спускането по начало се извършва под действие на собственото тегло, като ножа внимателно се подкопава. За намаляване на съпротивлението на триене се използват вибратори или *допълнително натоварване* (фиг.9а, 9б), *воден подмив* (фиг.9в) или *тиксотропни ризи* (фиг.9г).

Водният подмив е ефикасен при спускане на кладенци в пясъчливи почви.

При *тиксотропните ризи* в най-долната част на височина 2-3m се прави отстъп с ширина 15cm. При спускането остава празнина, която се запълва с тиксотропен глинест разтвор (обикновено бентонит). Образува се риза, която почти ликвидира триенето между почвата и съоръжението.

Прилагат се и други методи за облекчаване на спускането (вибратори, допълнително водно налягане и други). По време на спускането се извършва щателен надзор кладенеца да не се изкривява във вертикална посока.

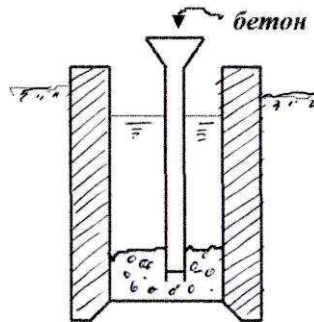
2.4. Запълване на кладенеца.

След спускане на кладенеца до проектната кота се бетонира дънната възглавница. При сухи ями, най-напред се поставя дренажен пласт с дебелина 10-30cm, след което се полага бетона. При използване на кладенеца за помещение, се бетонира долната плоча.

При изграждане на кладенеца с водочерпене, дънната възглавница се бетонира под вода.

По принцип за бетониране под вода се използват следните основни методи:

- **ВПТ - вертикално повдигаща се тръба** (контрактор) (Фиг.10). Използва се при дебелина на възглавницата до 2,0m и отвор не повече от 5,0m. Тръбата се поставя на дъното, а отгоре се излива бетон, който измества водата. Успоредно с бетонирането се изпомпва водата



Фиг.10.Метод на вертикално повдигаща се тръба

- **BP - метод на входящ разтвор.** Наричат го още *скелетен бетон*. Прилага се при спокойни и чисти води. Най-напред се насипва чакъл с празнини около 35%. След това се приготвя циментов разтвор с пясък е се нагнетява със специални помпи, които запълват празнините. Получава се бетон с много високи качества.

Технологията на изграждането на горната плоча или връхната конструкция се разглежда в специалните дисциплини.

Познаването на технологията на изграждане на кладенците е от значение с оглед правилно формулиране на отделните оразмерителни състояния по време на строителството и експлоатацията.

3.Изчисляване на спускани кладенци.

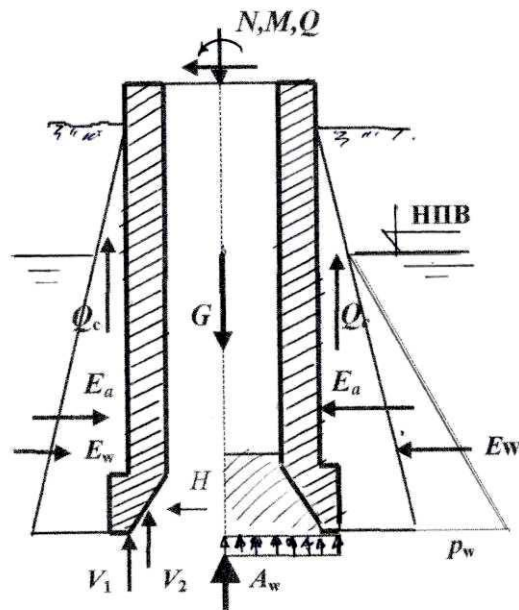
Разглеждаме изчисляването само на кръгли кладенци, тъй-като принципните въпроси свързани със земната механика са същите както при кладенци с друго напречно сечение.

Всички кладенци се изчисляват за строително и експлоатационно състояние. Независимо от предназначението им, т.е. дали кладенците са за фундаменти или за създаване на експлоатационен обем, изчисляването е еднакво - разликата е само в приемането на товарите за експлоатационно състояние.

3.1. Товари.

В процеса на строителството и експлоатацията върху кладенеца действат следните товари (фиг.11):

- собствено тегло на кладенчовото тяло - G ;
- околно триене - Q_c ;
- земен натиск - E_a ;
- хидростатичен натиск - E_w ;
- воден подем - A_w ;
- компоненти на земната реакция върху кладенчовия нож - V_1, V_2, H ;
- експлоатационни товари - N, M, Q .



Фиг. 11. Натоварване на спускани кладенци.

3.1.1. Собствено тегло на кладенеца.

Когато кладенецът е спуснат до проектната кота неговото тегло се определя в зависимост от начина на изпълнение.

При определяне на проектната кота е необходимо да се отчете здравината на пластовете. Обикновено кладенеца се спуска до здрав пласт. Ако това е скала, той ще стъпи върху нея. При нескална основа, кладенеца трябва да навлезе в здравия пласт най-малко 0,5 - 1,0m. Собственото тегло се изчислява с коефициент за условия на работа 0,9 - 1,0.

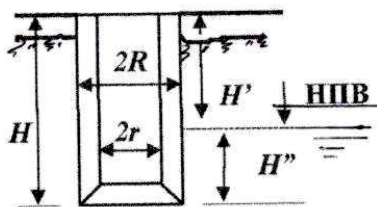
При изпълнение на кладенеца с водочерпене:

$$G = 0,9G = 0,9\pi(R^2 - r^2) \cdot \gamma_b \cdot H;$$

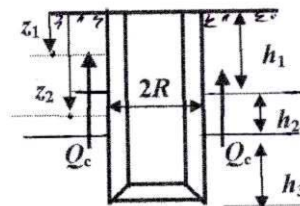
При изпълнение без водочерпене:

$$G = 0,9\pi(R^2 - r^2) \cdot \tilde{\gamma}_b H' + \tilde{\gamma}_b H''; \quad \tilde{\gamma}_b = \gamma_b - \gamma_w;$$

H' - височината на кладенеца над НПВ; H'' - височината под НПВ.



Фиг. 12



Фиг. 13

3.1.2. Околно триене.

Силите на околното триене са насочени нагоре. Те влияят върху избора на конструктивното решение. По повърхността на кладенеца се развива полусухо триене при плъзгане, когато почвата е при естествено водно съдържание.

Триенето зависи от зърнометричния състав, плътността на почвата и вида на бетонната повърхност. Обикновено се приема, че то линейно нараства по дълбочина.

Наличието на почвени води намалява триенето при свързаните почви до 2-3 пъти, а при несвързаните - до 1,5 пъти.

При слабо водопроникливи почви (когато не се работи с γ) хидростатичният натиск се намалява с 30%.

При изпълнение на кладенеца без водочерпене с оглед сигурността на кладенеца, вътрешният хидростатичен натиск се приема

$$p'_w = 0,5p_w$$

3.1.5. Воден подем.

Силата на водния подем F_w , която действа върху дъното с напречно сечение A се определя с израза

$$F_w = A \cdot p_w$$

Земната реакция върху ножа се приема линейно разпределена.

Експлоатационните товари се приемат съгласно предписанията на съответните правилници.

При изпълнение на кладенците с тиксотропни ризи се отчита *натиска на тиксотропната смес*.

3.2. Изчисление на кладенците за строителни състояния.

3.2.1. Определяне дебелината на кладенчовото тяло с оглед потъването.

За да може кладенецът да потъва от действието на собственото тегло, е необходимо то да бъде по-голямо от околното триене. Това изискване се удовлетворява от условието $\frac{G}{Q_c} \geq 1,25$, където G и Q_c са собственото тегло на кладенеца и околното триене, изчислени съгласно т.т. 3.1.1 и 3.1.2.

Тогава, при кръгли кладенци $G = 0,9\pi(R-r)(R+r)$, и ако се приеме $R+r \sim 2R$, а дебелината на кладенеца означим с $\delta = R-r$ горното условие приема вида

$$0,9 \cdot 2\pi R \cdot \delta \cdot \gamma_b \cdot H = 1,25 \cdot m \cdot \alpha \cdot 2\pi R \cdot \sum_0^H R_{f,i} \cdot h_i$$

Дебелината на кладенеца ще се определя с изразите:

$$a. \text{ При изпълнение на кладенеца с водочерпене } \delta = \frac{1,25 \cdot m \cdot \alpha \sum_0^H R_{f,i} \cdot h_i}{0,9 \gamma_b H};$$

$$b. \text{ При изпълнение на кладенеца без водочерпене } \delta = \frac{1,25 \cdot m \cdot \alpha \sum_0^H R_{f,i} \cdot h_i}{0,9(\gamma_b H' + \gamma'_b \cdot H'')},$$

H' и H'' са съгласно фиг.12.

3.2.2. Оразмеряване на якост при равномерно натоварване (на огъване в хоризонтална плоскост).

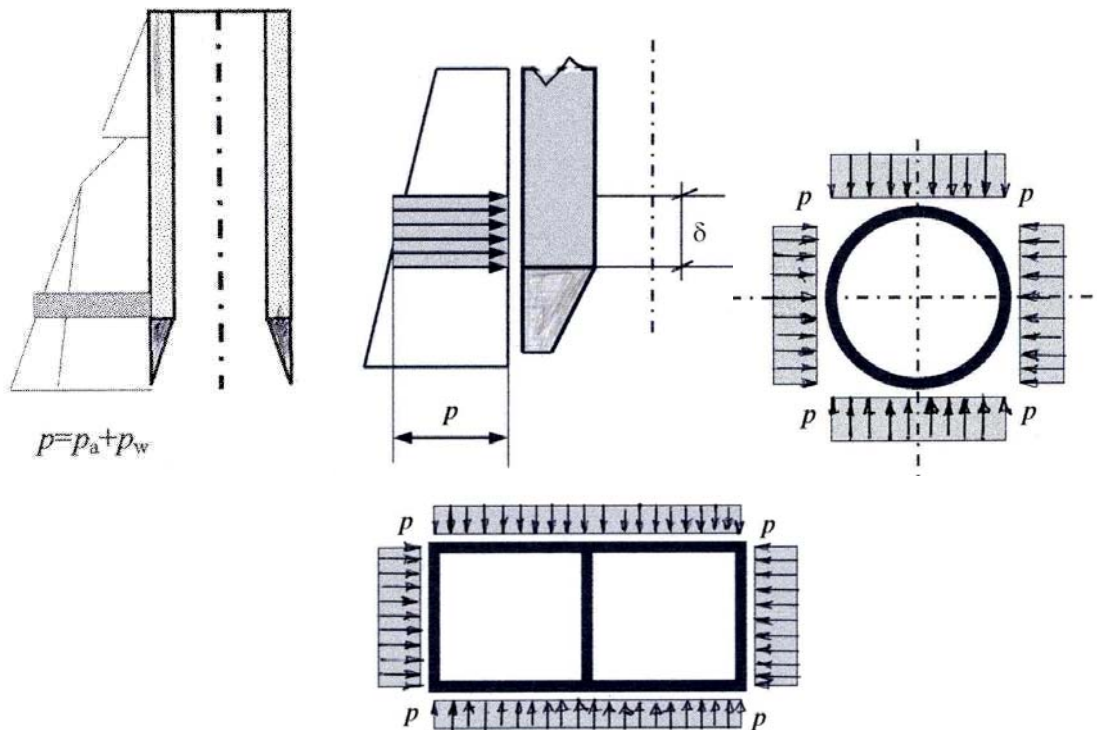
Изследва се най-неблагоприятното състояние: *кладенецът е спуснат до проектната kota и от външната страна действа натиска от водата и почвата*.

Като най-натоварен се приема участъка над ножа с височина равна на дебелината на стените. Следващите, по-горни участъци се разделят на ламели през 2 - 3m и за тях натоварването се приема равномерно.

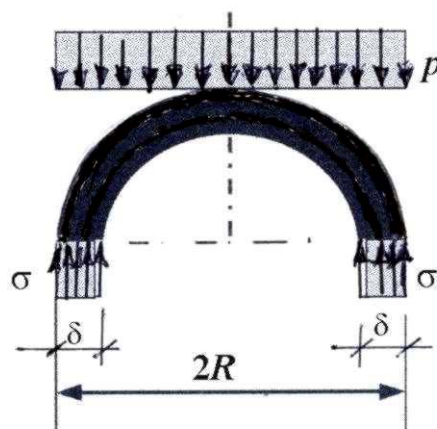
При кладенци с правоъгълно напречно сечение, определянето на разрезните усилия се извършва като се решава статически неопределима конструкция. Проверяват се сеченията на бетона на огъване.

При кладенци с кръгло сечение, стените на кладенеца поемат само натискови напрежения, определени по известната формула на котела.

$$p \cdot 2R = 2\sigma\delta; \quad \sigma = \frac{pR}{\delta} \leq R_b^n$$



Фиг. 15. Изчислителни схеми за натоварване на стените на кладенеца.



Фиг. 16. Схема за измеряване на кръгли кладенци при равномерно натоварване

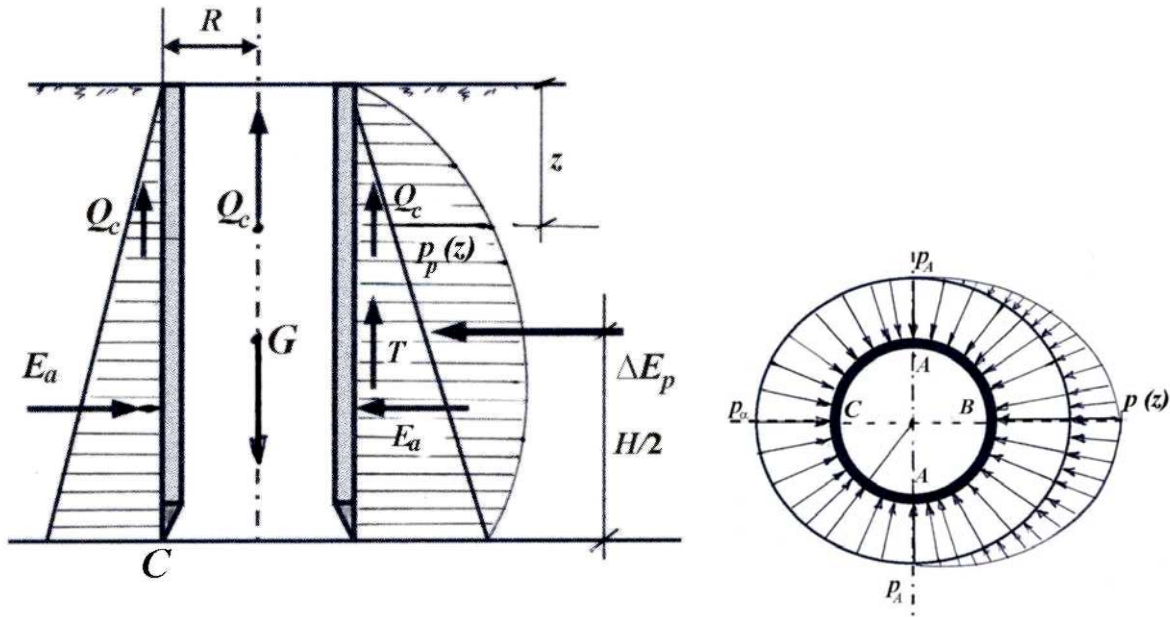
3.2.3. Оразмеряване на якост при неравномерно натоварване.

Равномерното около натоварване на кладенеца е само една теоретична възможност. В действителност, вследствие нееднородността на почвения масив около кладенеца, и най-малкото отклоняване от вертикалата, което почти винаги се явява, натоварването става *неравномерно*. Причина за неравномерното натоварване може да бъде и невъзможността ножа да бъде подкопан едновременно по целия периметър.

Неравномерно натоварване може да се яви и при нехомогенни почви, когато една част от триенето е по-малко и кладенецът ляга върху другата част и кладенчовия нож.

При такова състояние се образува момент от двойца сили на собственото тегло на кладенеца и реакцията на опората в ножа, която предизвиква неравномерно около натоварване (Фиг.17).

Неравномерното около натоварване създава в стените на кладенеца, независимо от напречното му сечение, *осови сили и огъващи моменти*.



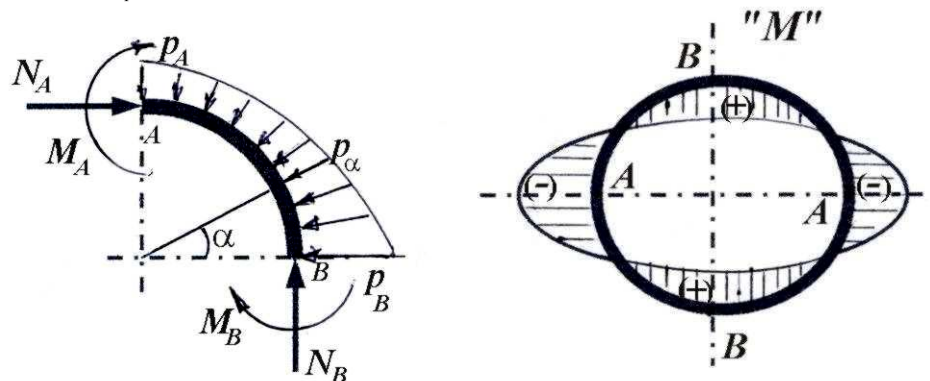
Фиг. 17. Схема на неравномерно натоварване на кръгли кладенци

Разрезните усилия в кръгли кладенци могат да се изчислят по метод предложен от *Feber*. Приема се, че специфичното околно натоварване е насочено радиално и се изменя между два взаимно перпендикулярни диаметри в т.А и т.В, от минимална стойност p_A до p_B съгласно израза

$$p_\alpha = p_A [1 + (\omega - 1) \cdot \sin \alpha] = p_A (1 + \omega' \cdot \sin \alpha),$$

където $\omega = p_B/p_A$ се нарича коефициент на неравномерност.

$$p_B = p_\alpha + p_p(z); R_1 = R - \delta/2.$$



Фиг. 17а. Разрезни усилия при неравномерно натоварване на кръгли кладенци

Разрезните усилия се определят с емпиричните формули:

$$M_A = -0,1488 p_A \cdot R_1^2 \cdot \omega'; M_B = +0,1366 p_A \cdot R_1^2 \cdot \omega';$$

$$N_A = p_A \cdot R_1 \cdot (1 + 0,785 \omega'); N_B = p_A \cdot R_1 \cdot (1 + 0,5 \omega'),$$

където $\omega' = \omega - 1$, $R_1 = r - \delta/2$ (r - вътрешния радиус на кладенеца, δ - дебелината на кладенчовите стени).

Съществуват различни методи за определяне на коефициента на неравномерност ω . Ще разгледаме методът предложен от проф. В. Минков.

Приема се, че кладенчовия нож е изцяло подкопан и се поддържа само в т.С (фиг.17). Под действието на собственото тегло, кладенецът се завърта и се опира в почвата, като предизвиква появата на пасивен земен натиск. Тогава, към равномерното околното натоварване p_a се прибавя едностранното натоварване $p_p(z)$ от превеса на специфичния пасивен земен натиск над активния. При тази предпоставка, по обиколката на кладенчовото тяло се появява неравномерно натоварване.

Силите, които действат върху кладенеца са:

G - собственото тегло на кухото кладенчово тяло, което се умножава с коефициент на натоварване 1,1;

E_a - активния земен натиск (респ. p_a) определен по метода на Rankin;

Q_c - силата на околното триене, за 1m дължина от обиколката, определена с израза

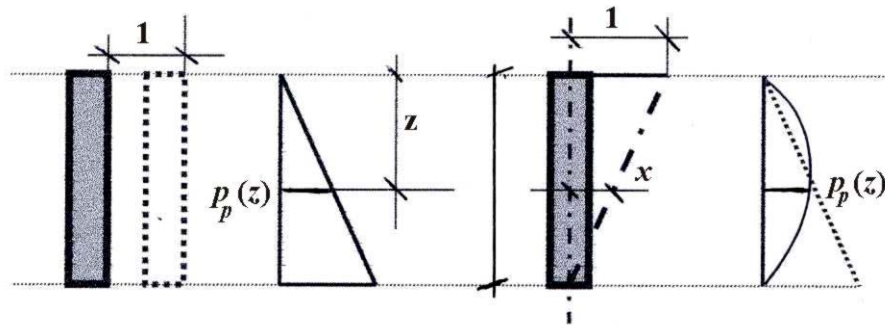
$$Q_c = m \cdot \alpha \sum_0^H R_{f,i} \cdot h_i \text{ или } Q_c = \mu \cdot E_a;$$

ΔE_p - превесът на пасивния над активния земен натиск;

T - допълнително триене предизвикано от превеса на пасивния земен натиск, определен с израза:

$T = \Delta E_p \cdot \mu$ (μ - осреднен коефициент на триене между кладенеца и почвата по височината H).

За определянето на допълнителния пасивен земен натиск се използват следните разсъждения:



Фиг.18. Схема за определяне на допълнителния пасивен земен натиск.

Ако кладенецът се премества успоредно на вертикалната ос, на разстояние единица, пасивният земен натиск на дълбочина z ще бъде

$$p_p(z) = z \cdot \gamma \cdot K_p = z \cdot \lambda_p; \quad p_p(z) = z \cdot f(\lambda_p).$$

λ_p - зависи от съотношението на силите, които поддържат кладенеца в равновесие. При равномерно преместване (фиг.18)

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$$

Ако кладенецът се завърти на разстояние единица, в съответствие с приетото състояние, пасивният земен натиск $p_p(z)$ ще бъде пропорционален на големината на преместването x на дълбочина z . Преместването x определяме отношението (подобие на триъгълниците на фиг.18)

$$\frac{1}{x} = \frac{H}{H-z}; \quad x = \frac{H-z}{H}; \quad \text{тогава } p_p(z) = z \cdot x \cdot \lambda_p = z \cdot \frac{H-z}{H} \cdot \lambda_p.$$

Следователно, пасивният земен натиск, при приетите условия на подпиране ще бъде парабола от втора степен. λ_p е неизвестен коефициент, зависещ от равновесието на силите които натоварват кладенчовото тяло. Той е постоянен за дадена почва и дадени параметри на кладенеца.

Функцията $p_p(z)$ удовлетворява граничните условия: $z=0, p_p(z)=0; z=H, p_p(z)=0$.

Силата ΔE_p за ширина единица ще бъде

$$\Delta E_p = \int_0^H p_p(z) dz = \frac{\lambda_p}{H} \int_0^H z(H-z) dz = \frac{\lambda_p}{H} \left[\frac{z^2}{2} \cdot H - \frac{z^3}{3} \right]_0^H =$$

$$= \frac{\lambda_p}{H} \left(\frac{H^3}{2} - \frac{H^3}{3} \right) = \lambda_p \frac{H^2}{6}, \text{ а за ширина } 2R; \Delta E_p = \lambda_p \frac{H^2 R}{3};$$

За определяне на λ_p използваме равновесното условие $\sum M_C = 0$ (фиг.17).

$$\sum M_C = 1,1.G.R - \Delta E_p.H/2 - T.2R - Q_c.2R - Q_c.R.2 = 0$$

Като се заместят изразите за G , ΔE_p , T и Q_c и решим израза по отношение на λ_p ще получим

$$\lambda_p = 3 \frac{1,1G - 3,9R \sum R_{f,i} h_i}{H^2 \left(\frac{H}{2} + 2R\mu_m \right)}$$

μ_m - среден коефициент на триене между бетон и почва (табл. IX.4, стр. 241, РЗМФ)

На дълбочина z околното натоварване ще бъде: в т.А - $p_A = p_a$; в т.В $p_B = p_a + p_p(z)$ (това е максималната стойност на околното натоварване).

Тогава, за коефициентът на неравномерност ще получим

$$\omega = p_B/p_A = [p_a + p_p(z)]/p_a = 1 + p_p(z)/p_a.$$

$$\omega - 1 = p_p(z)/p_a = [z(H-z) \cdot \lambda_p / H \cdot p_a]$$

С това, задачата е решена и могат да се определят разрезните усилия на определена дълбочина z , за която по Rankin е определен специфичния земен натиск p_a .

При известни разрезни усилия, всяко напречно сечение се проверява на нецентричен натиск за височина единица.

$$\sigma_{1,2} = N^{A(B)}/A \pm M^{A(B)}/W; A = \delta.1; W = 1.\delta^2/6.$$

3.2.4. Изчисляване на разрезните усилия в кладенчовите стени от вертикални натоварвания.

При гравитационните спускани кладенци, по време на спускането им, във вертикална посока действат силите на собственото тегло и околното триене. При тънкостенните кладенци, които се спускат с помощта на вибратори, се появява допълнителна вертикална сила, която може да създаде натискови или опънни напрежения.

а. Изчисляване на кладенчовото тяло на откъсване.

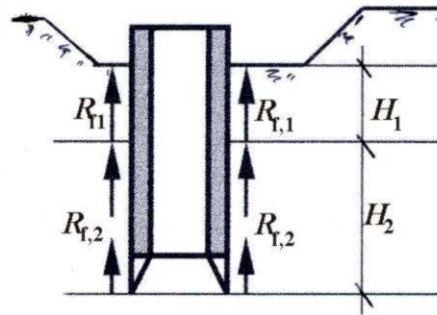
Такова състояние е възможно да се създаде в случаите когато кладенчовия нож е изцяло подкопан и при голяма разлика в околното триене, $R_{f1} \gg R_{f2}$. По такъв начин, горната част на кладенеца получава затягане. Тогава долната част ще виси, като силата, която се стреми да откъсне кладенеца ще бъде

$$Z = h_2(g_h - U.R_{f2}),$$

където: g_h - теглото на кладенеца на линеен метър височина, U - периметъра на кладенеца. Обикновено се приема $R_{f2} = 0$, а $h_2 = 0,65H$. Тогава

$$Z = 0,65H \cdot \pi \cdot D \cdot \gamma_b \cdot 1,1 \quad \text{Тази сила се поема от бетона, или с опънна армировка.}$$

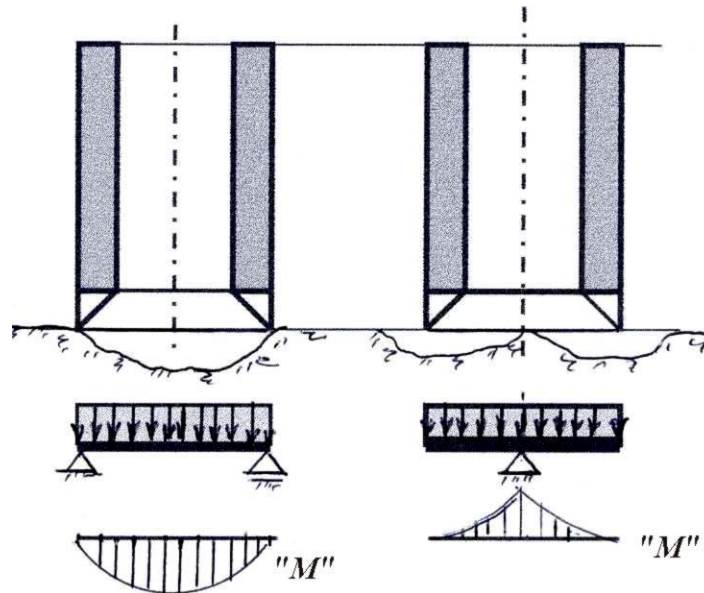
$$\sigma = Z/A < R_{от,б}; A = \pi(R^2 - r^2).$$



Фиг. 19. Схема за изчисляване на кладенчовото тяло на откъсване

б. Изчисляване на кладенчовото тяло на огъване във вертикална равнина.

Това състояние може да се появи преди началото на спускане на кладенеца. В този етап, преди спускането на първата секция, ножът на кладенеца се опира в определен брой фиксирани точки. Стените на кладенеца се огъват и усукват във вертикална равнина вследствие собственото тегло на секцията.



Фиг. 20. Схема за оразмеряване на кладенеца на огъване във вертикална равнина

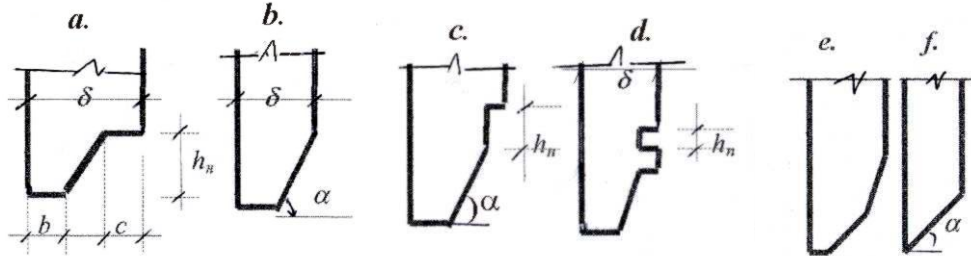
Ако първата секция не е по-висока от 5,0m и вътрешния диаметър не е по-голям от 8,0m това изчисляване не е необходимо. При по-големи размери се определя диаграмата на огъващите моменти, като с получените стойности се проверява сечението по височина на стената на първата секция и при нужда се армира.

3.2.5. Оразмеряване на кладенчовия нож.

а. Размери и форма на ножа.

Външните стени на кладенеца в долната си част са заострени. Тази част се нарича *ножова част*, или накратко - *нож*. Ножът на кладенчовото тяло осигурява по-лесното му потъване като се връзва в почвата. Той предпазва навлизането на външни почвени маси във вътрешността на кладенеца. Ножът е изключително тежко натоварен конструктивен елемент, който в процеса на спускането преминава през различни състояния, които не винаги могат да бъдат точно отразени при оразмеряването. Затова при оразмеряването на ножа се приемат опростени методи, които са на страната на сигурността.

Конструиране и избор на размерите на кладенчовия нож.



Фиг. 21. Конструкции на кладенчовия нож.

Напречното сечение на ножа е трапецовидно, със скосяване под ъгъл α и размери b и h_n . Горизонталната част с ширина b се нарича *банкет*. Ъгълът α се избира в зависимост от вида на почвата и обикновено се приема

- за плътни почви $\alpha = 60 - 70^\circ$
- за средно плътни почви $\alpha \leq 45^\circ$
- за слаби почви - $\alpha \leq 30^\circ$.

Височината на ножа (h_n) се избира в зависимост от ъгъла α и от начина на изпълнение на кладенеца:

- при изпълнение на кладенеца с водочерпене или при липса на почвени води, височината на ножа е равна на дебелината на дънната стоманобетонова плоча;
- при изпълнение под вода, без водочерпене, височината на ножа е равна на дебелината на дънната бетонова възглавница.

Отстъпът $c=0,2-0,4m$ служи за опора на дънната плоча и се проверява чрез изчисляване на местен натиск. Той служи и за предпазване на кладенеца от внезапно потъване по време на спускане при почва на зони от слаби почви.

Височината на този отстъп е равна на дебелината на дънната стоманобетонова плоча.

Ширината на банкета (b) е от 0,2 - 0,6m.

Профилите (a) и (b) (Фиг.21) се използват при липса на почвени води и при изпълнение на кладенеца с водочерпене. При тях се намалява разкливащото действие на почвата и се избягва бързото спускане (пропадане) при слаби почви.

Профилите (c) и (d) се използват при бетониране на дънната възглавница под вода.

При плътни почви по цялата височина на кладенеца, с оглед облекчаване на спускането се прилагат профилите (e) и (f). В този случай, с оглед предпазване от разрушаване на върха на ножа е необходимо направата на стоманена обувка.

б.Изчисляване на кладенчовия нож за строителни състояния.

Изследва се *един линеен метър* от пръстена на ножа при предпоставката, че той е *конзола запъната в най-долната част* на кладенчовото тяло, която се огъва в напречна посока. Работата на ножа като затворен пръстен не се отчита.

Разрезните усилия се изчисляват за три състояния.

Първо състояние: Изпълнена е първата секция на кладенчовото тяло, ножът се бетонира върху изкуствено насипана почвена призма или специален изкоп. Конзолата с дължина h_n е запъната в сечение I-I (фиг.22). Ако в стената на кладенеца има ниша и разстоянието d е до 0,25m, запъването се приема в сечение I'-I'.

Във вертикална посока действа силата G^2 - теглото за един линеен метър от първата секция, която има височина 4 - 6m.Теглото предизвиква земна реакция във върха на ножа, чиято вертикална компонента (върху хоризонталната част) е V_1 ,и наклонена - R (върху наклонената част). Силата R се отклонява от нормалата на ъгъл ζ , който характеризира триенето между почвата и наклонената част на ножа.

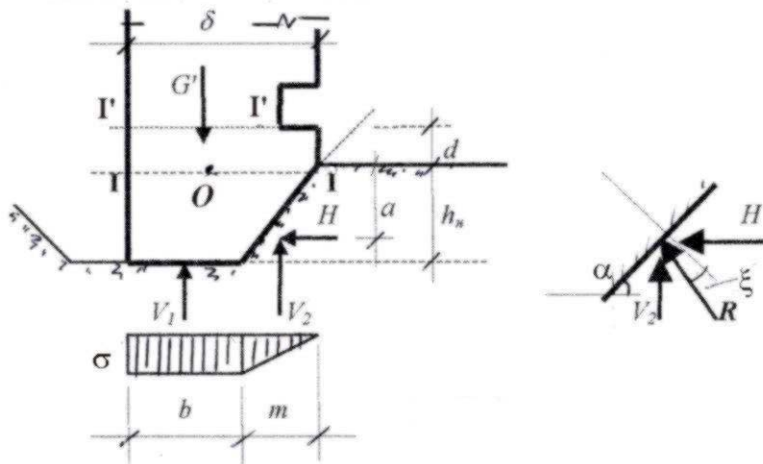
Силата R може да се разложи на една вертикална (V_2) и една хоризонтална (H) компоненти.

От фиг.22 следват следните равновесни условия:

$$\sigma b = V_1; \quad (\sigma m)/2 = V_2; \quad m = h_n \cdot \cotg \alpha.$$

$$\text{Тогава: } V_1/V_2 = (2b/m); \text{ или } V_1 = (2b/m) \cdot V_2;$$

$$\text{От } \sum V=0 \text{ следва } V_1 + V_2 = G';$$



Фиг. 22. Схема за измеряване на кладенчовия нож за първо състояние

Теглото на един линеен метър от първата секция ще бъде

$$G' = \frac{1,1\pi \cdot D \cdot \delta \cdot H_c \cdot \gamma_b}{2\pi \cdot R'}; \quad R' = R - \delta/2.$$

От записаните по-горе равновесни условия следва

$$G' = \left(\frac{2b}{m} + 1\right) \cdot V_2; \quad V_2 = G' \frac{m}{2b + m}; \quad V_1 = G' - V_2 = G' \left(1 + \frac{m}{2b + m}\right) = G' \left(\frac{b}{b + 0,5m}\right).$$

Големината на хоризонталната сила H ще бъде

$$H = V_2 \cdot \text{tg}(\alpha - \zeta).$$

Като се вземе предвид, че $\text{tg}\zeta = \mu$ - коефициентът на триене между почвата и първата секция (това е първият пласт върху е стъпила секцията), може да се определи ъгълът ζ и от там силите H , V_1 и V_2 . Изчисляват се разрезните усилия за сечение I-I (N , M_0 и Q), с които се определят напреженията.

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_0}{W}; \quad \tau = \frac{Q}{A}; \quad \text{където } A = \delta \cdot 1,0 \text{ (m}^2\text{); } W = (\delta^2 \cdot 1,0)/6 \text{ (m}^3\text{)}.$$

$$N = V_1 + V_2; \quad Q = H; \quad M_0 - \text{огъващият момент за центъра на сечение I - I.}$$

Тези напрежения трябва да се поемат от бетона или да се предвиди необходимата армировка.

Проверяват се също напреженията в ножа от хоризонтална сила H , когато ножът се разглежда като затворен пръстен, без да се отчита запъването му в стените на кладенеца.

Във всяко сечение на ножа се поражда опънна сила

$$Z_H = H \cdot r'; \quad r' = r + m/2.$$

За тази сила се проверява сечението на ножа $A=0,5(\delta+b).h_H$ и се определя необходимата кръгова армировка.

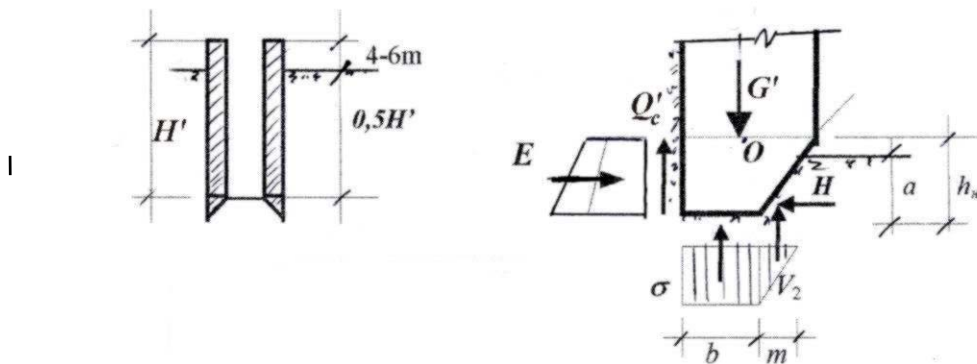
Освен това, вертикалната сила V_1 следва да бъде поета от почвата при достатъчна ширина на банката b . Ако R_n е изчислителното съпротивление на почвата, то следва да бъде изпълнено условието

$$\sigma = \frac{V_1}{b} \leq R_n.$$

Ако това условие не бъде изпълнено, следва да се увеличи ширината на банката или да се заздравя почвата под ножа.

Второ състояние.

Кладенчовото тяло е достигнало до половината от проектната дълбочина H_k ; изпълнена е поредната секция с височина 4 до 6 m; ако $0,5H_k \leq 6m$, се приема, че е изпълнено цялото тяло на кладенеца с височина H_k .



Фиг.23. Схема за изчисляване кладенчовия нож за второ състояние

Ножът е вкопан в почвата на дълбочина a и се огъва навън. Обикновено се приема $a = 1,0m$. При условие, че $h_H < 1,0m$ се приема $a = h_H$. В сравнение с първо състояние, тук допълнително от външната страна действат земния натиск p_a и евентуално хидростатичния натиск p_w и триенето между почвата и ножа Q'_c .

Теглото на кладенеца за един линеен метър и за цялата височина ще бъде:

$$G' = \frac{1,1 \cdot 2\pi R \cdot \delta \cdot \gamma_b \cdot H'}{2\pi \cdot R'}; \text{ при изпълнение на кладенеца с водочерпене или при липса на почвени води;}$$

$$G' = \frac{1,1 \cdot 2\pi R (\gamma_b \cdot H_1 + \gamma'_b \cdot H_2)}{2\pi \cdot R'}; \text{ при изпълнение без водочерпене.}$$

$$R' = R - \delta/2 \text{ (до оста на кладенеца).}$$

Вертикалната сила (за един линеен метър) ще бъде теглото намалено със силата на триене. Последната се приема по-малката стойност от

$$Q'_c = 0,5E_a \cdot 1,0; \quad Q'_c = 0,49 \sum_0^{0,5H} R_{f,i} \cdot h_i;$$

E_a - силите на активния и хидростатичния натиск на дълбочина $0,5H$.

От тук както при първо състояние определяме:

$$V = G' - Q'_c; \quad V_2 = V \cdot \frac{m}{2b + m}; \quad V_1 = V \left(\frac{b}{b + 0,5m} \right).$$

$$H = V_2 \cdot \text{tg} (\alpha - \zeta).$$

Освен това, ножът е натоварен от активния земен натиск на височина h_H . Понеже силите от активния земен натиск действат облекчаващо, то се приема те да не са по-големи от 70% от хидростатичния натиск на същата височина, т.е.

$$p_1 = p_{a1} + p_{w1} \leq 0,7(0,5H - h_H) \cdot \gamma_w$$

$$p_2 = p_{a2} + p_{w2} \leq 0,7 \cdot 0,5 \cdot \tilde{H} \cdot \tilde{\gamma}_w.$$

От тук се определя силата E за един линеен метър от кладенеца

$$E = (p_1 + p_2) \cdot h_H.$$

Силата на триене на височината на ножа е $Q_{\text{сн}} = Q'_c \cdot (h_H/0,5H)$.

В сечение **1-1** разрезните усилия са

$$M_O = H \cdot [(h_H - a) + (2/3)a] - V_2 \cdot (\delta/2 - b - m/3) + V_1 \cdot (\delta/2 - b/2) + Q_{\text{сн}} \cdot (\delta/2) - E \cdot s;$$

$$N_{1-1} = V_2 + V_1 + Q_{\text{сн}}$$

$$Q_{1-1} = H - E.$$

С изчислените разрезни усилия се определят напреженията.

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_O}{W}; \quad \tau = \frac{Q}{A}; \quad \text{където } A = \delta \cdot 1,0 \text{ (m}^2\text{); } W = (\delta^2 \cdot 1,0) / 6 \text{ (m}^3\text{)}.$$

Определя се необходимата армировка.

Както при първо състояние се осигурява поемането на опънната сила Z_H

Проверява се натоварването във върха на ножа

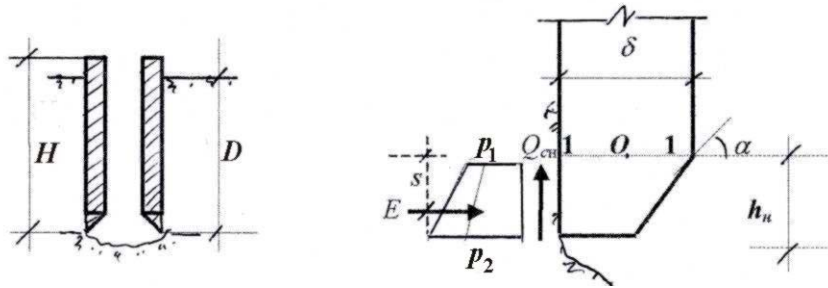
$$\sigma = \frac{V_1}{b} \leq R_n.$$

Трето състояние.

Кладенецът е потънал до проектната кота. Ножът е подклян и е подложен на огъване на вътре. *Теглото на кладенеца се уравновесява с околното триене.*

Теглото на кладенеца за един линеен метър и за един линеен метър и за цялата височина (в зависимост от начина на изпълнение) е:

$$G' = \frac{1,1 \cdot 2\pi R \cdot \delta \cdot \gamma_b \cdot H}{2\pi \cdot R'}; \quad G' = \frac{1,1 \cdot 2\pi R (\gamma_b \cdot H_1 + \gamma'_b \cdot H_2)}{2\pi \cdot R'}.$$



Фиг. 24. Схема за изчисляване на кладенчовия нож за трето

Силата на триене (за един линеен метър), която облекчава огъването на ножа се определя с израза $Q_{сн} = 0,9 \cdot G' \cdot (h_n/H)$.

Силата от активния и хидростатичния натиск

$$E = 0,5 \cdot (p_1 + p_2) \cdot h_n \cdot 1,0.$$

В сечение 1-1 разрезните усилия са

$$M_O = E \cdot s - Q_{сн} \cdot (\delta/2); N_{1-1} = Q'_{сн}; Q_{1-1} = E.$$

С изчислените разрезни усилия се определят напреженията.

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_O}{W}; \quad \tau = \frac{Q}{A}; \quad \text{където } A = \delta \cdot 1,0 \text{ (m}^2\text{)}; W = (\delta^2 \cdot 1,0)/6 \text{ (m}^3\text{)}.$$

Определя се необходимата армировка.

Армировката за трите състояния се оразмерява и конструира по правилата на стоманобетона. Конструктивно се поставя еднаква армировка от вътрешната и от външната страна, подобрена за максималния огъващ момент от трите състояния.

3.2.6. Оразмеряване на дънната възглавница.

При наличие на почвени води и спускане без водочерпене, след като кладенеца е достигнал до проектната кота, кладенчовото тяло се затваря с бетонова дънна възглавница. По такъв начин, се осигурява изпълнението на останалите строителни работи на сухо. В този случай, дебелината на дънната възглавница се определя от условието, нейното тегло да поеме водния подеи, т. е.

$$G_d = \pi \cdot R^2 \cdot \gamma_b \cdot h_B = p_w \cdot A_{kl} = F_w. \text{ Тогава, } h_B \geq \frac{p_w \cdot A_{kl}}{\pi \cdot R^2 \cdot \gamma_b}.$$

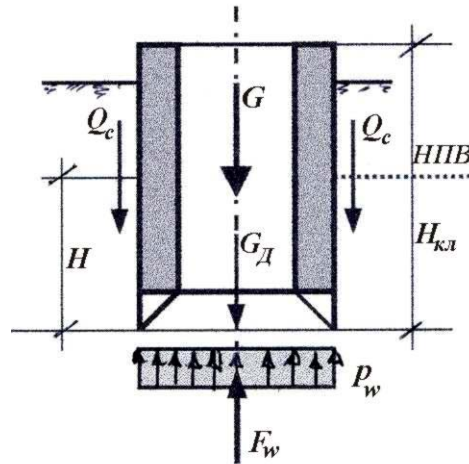
В другите случаи, при липса на почвени води и спускане с водочерпене, се приема $h_B = h_H$.

3.2.7. Проверка на кладенеца на воден подеи при затворено дъно.

Тази проверка е меродавна при изпълнение на кладенеца с водочерпене, или в случаите когато дънната възглавница не поема силата на водния подеи.

Проверява се коефициентът на сигурност

$$F_{s,w} = \frac{G + G_d + 0,5Q_c}{\gamma_w \cdot H_2 \cdot A_{кл}} \geq 1,25.$$



Фиг. 25. Схема за оразмеряване на кладенеца при затворено дъно

3.3. Изчисляване на кладенеца за експлоатационно състояние.

Описаните по-долу процедури, освен за кладенци, важат за всички корави дълбоко заложи фундаменти.

При тези изчисления се определят размерите на фундамента в план, уточнява се дълбочината на фундиране в зависимост от големината и характера на натоварването от връхната конструкция и теглото на фундамента.

При изчисляването се проверяват:

- натоварването в основната плоскост;
- натоварването върху стените на кладенеца (при нецентрично натоварване);
- хоризонталното преместване на ниво цокълна fuga;
- вертикалното преместване (слягането) на фундамента;
- якостта на фундамента.

По принцип, изчисляването в експлоатационно състояние включва:

- Определяне на натоварването от фундамента и експлоатационните товари върху почвата.
- Изчисляване на слягането и хоризонталното преместване на съоръжението.
- Определяне на усилията в конструкцията на фундамента.

3.3.1. Определяне на натоварването от фундамента и експлоатационните товари върху почвата.

Натоварването върху почвата в експлоатационно състояние се определя по първо гранично състояние (на носеща способност). За тази цел се работи с изчислителни експлоатационни товари и изчислителни почвени характеристики. Изисква се: натоварванията върху почвата да са по-малки от съответните съпротивления на почвата, определени съгласно изискванията на съответните правилници.

Натоварването върху почвата се определя в зависимост от коравината на съоръжението, в зависимост от произведението $\alpha \cdot H$ (H - височината на фундамента; α - коефициент на коравината).

При $\alpha \cdot H \leq 2,5$ се допуска фундамента да се разглежда като абсолютно корав прът запънат в почвата.

При $\alpha \cdot H > 2,5$ - натоварването се изчислява с отчитане коравината на фундамента.

Коефициентът на коравината се определя с израза

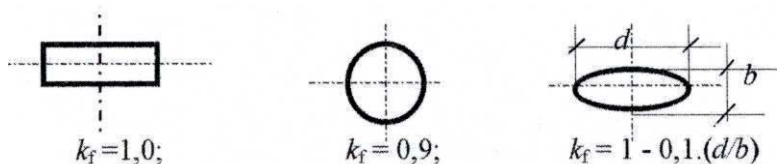
$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_u}{EI}}, \text{ където:}$$

EI - коравината на фундамента при огъване в равнината на действащите сили;

$b_u = k_f(b+1)$ - изчислителна ширина на фундамента;

b - действителната ширина на фундамента;

k_f - коефициент отчитащ формата на напречното сечение на кладенеца;

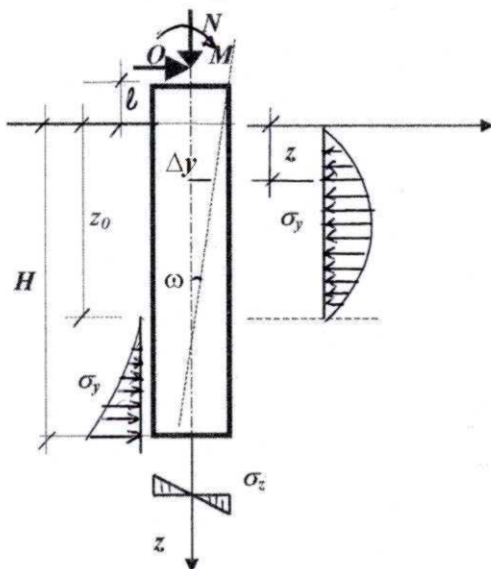


Фиг. 26. Схеми за дефиниране на коефициента отчитащ формата на кладенеца

m - коефициент на пропорционалност, характеризиращ преместването на фундамента в хоризонтално направление; той зависи от вида на почвата и се приема както следва:

- $m = 500 - 2000 \text{ kN/m}^4$ - за свързани почви в течно-пластична консистенция и тини;
- $m = 2000 - 4000 \text{ kN/m}^4$ - за свързани почви в меко-пластична консистенция, прахови и рожки пясъци;
- $m = 4000 - 8000 \text{ kN/m}^4$ - за твърдо-пластични глини и средно сбити пясъци;
- $m = 6000 - 10000 \text{ kN/m}^4$ - за твърди глини и едри пясъци;
- $m = 10000 - 20000 \text{ kN/m}^4$ - за чакълести пясъци.

При наличие на няколко пласта m се приема като средно пропорционално на височините.



Фиг.27.Схема за изчисляване на кладенеца в експлоатационно състояние

При действието на изчислителните товари $Q_1=Q, M_1=Q.l$, фундаментът (при условие, че е корав) ще се завърти под ъгъл ω около т.О разположена на разстояние z_0 от повърхността на терена. Нормалната сила N не влияе на хоризонталното преместване и завъртане на фундамента.

Хоризонталното преместване се определя с израза

$$\Delta y = (z_0 - z) \cdot \text{tg} \omega.$$

От завъртането върху почвата ще действат хоризонтални и вертикални напрежения:

$$\sigma_y = m \cdot z \cdot \Delta y = m \cdot z \cdot (z_0 - z) \cdot \text{tg} \omega; \quad \sigma_z = C_0 \cdot y \cdot \text{tg} \omega + N/A.$$

C_0 - коефициент на леглото, който се приема в зависимост от височината (дълбочината) H :
при $H \geq 10\text{m}$ - $C_0 = 10 \cdot m$; при $H < 10\text{m}$ - $C_0 = m \cdot H$.

Когато фундаментът стъпва върху скална основа, коефициентът C_0 не зависи от дълбочината на фундамента, а от якостта на натиск на скалата R_n :

при $R_n=1000 \text{ kN/m}^2$ - $C_0=3 \times 10^5 \text{ kN/m}^3$;
 при $R_n=20000 \text{ kN/m}^2$ - $C_0=1,5 \times 10^7 \text{ kN/m}^3$.
 За междинни стойности се интерполира.

От условията за равновесие се получава:

$$z_0 = \frac{b_u \cdot m \cdot H^3 (4M_1 + 3Q_1 \cdot H) + 6Q_1 \cdot C_0 \cdot W_o \cdot b_o}{2b_u \cdot m \cdot H^2 (3M_1 + 2Q_1 \cdot H)}; \quad \omega = \frac{12(3M_1 + 2Q_1 \cdot H)}{b_u \cdot m \cdot b_o^4 + 18C_0 \cdot W_o \cdot b_o};$$

W_o и b_o са съпротивителния момент и ширината на основната плоскост на фундамента.
 Ако се приеме $\text{tg} \omega \approx \omega$ за напреженията получаваме:

$$\sigma_y = m \cdot z \cdot (z_0 - z) \cdot \omega; \quad \sigma_{\max, \min} = \frac{N_u}{A_{kl}} \pm \frac{C_0 \cdot b_o}{2} \cdot \omega;$$

където:

$N_u = N + G_f - Q_c$; (ако кладенецът стъпва върху слегаема основа);

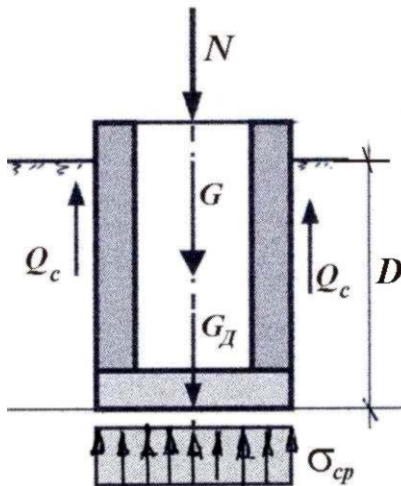
$N_u = N + G_f$; (ако кладенецът стъпва върху скална основа);

N - нормалната сила от експлоатационни товари на ниво цокълна fuga;

$G_f = G_{кл} + G_{дв} + G_{нълн}$ - изчислителното тегло на фундамента с коефициент на претоварване 1,1;

Q_c - изчислителното околно триене.

При центрично натоварване се определя средното натоварване върху земната основа.



Фиг.28 Схема за проверка на напреженията в основата

$$\sigma_m = \frac{N + G_{кл} + G_{дв} - Q_c}{\pi \cdot R^2}; \quad \text{Изисква се } \sigma_m \leq R_n;$$

R_n - изчислителното натоварване на земната основа, което съгласно "Норми за проектиране на плоскоструйно фундиране, 1996" се определя с израза:

$$R_n = R_0 \left[1 + k_1 \left(\frac{b - b_1}{b_1} \right) \right] + k_2 \cdot \gamma_D (t - t_1);$$

където:

R_0 - условно изчислително натоварване на земната основа, което зависи от вида на почвата;

b - ширината на фундамента (при кръгли кладенци това е диаметъра);

$t=D$ - дълбочината на фундиране; $b_1 = 1,0\text{m}$; $t_1=2,0\text{m}$;

γ_D - средно (средно тежестно на височините) обемно тегло на почвата на дълбочина D . k_1 и k_2 - коефициенти, които зависят от вида на почвата.

3.3.2.Изчисляване на слягането на кладенчовия фундамент.

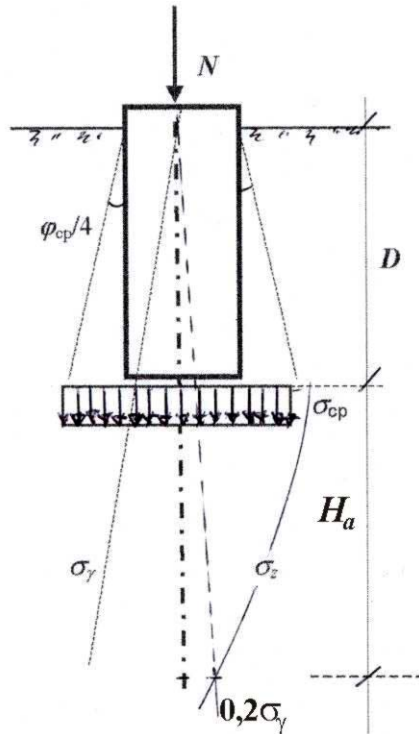
Изчисляването на слягането на кладенчовите фундаменти се извършва по втора група гранични състояния, на деформации. Оразмерителната проверка се изразява с условието:

$\Delta_{изч} \leq \Delta_{зр}$; $\Delta_{изч}$ - изчислената деформация на земната основа;

$\Delta_{зр}$ - граничната деформация за дадената конструкция.

Деформациите на земната основа се изчисляват за постоянни товари. Облекчаващото действие на околното триене се отчита чрез увеличаване на основната плоскост на фундамента с една призма под ъгъл $\varphi_{ср}/4$. Средният ъгъл на вътрешно триене се приема средно пропорционален на дебелините на отделните пластове.

$$\varphi_{ср} = \frac{\sum \varphi_i \cdot h_i}{D};$$



Фиг. 29. Схема за изчисляване слягането на кладенчови фундаменти

Основната плоскост на условия фундамент при кръгли кладенци ще бъде $A_y = \pi \cdot R_y^2$;

$$R_y = R + D \cdot \text{tg} \frac{\varphi_{ср}}{4} - \text{радиусът на условия фундамент.}$$

Средното слягане се изчислява по практическия метод за натоварване в основната плоскост

$$p = \sigma_{ср} - \gamma_D \cdot D = \frac{N_f^n}{A_y} - \gamma_D \cdot D.$$

N_f^H - нормативната нормална сила на ниво основна плоскост на фундамента.

Дълбочината на активната зона на деформациите се определя от условието

$$\sigma_z \leq 0,2\sigma_\gamma.$$