

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФУНДАМЕНТІВ-ОБОЛОНОК
НА КРУГЛОМУ ПЛАНІ**

**ANALYSIS OF MODERN RESEARCH OF SHELL FOUNDATIONS ON
A ROUND PLAN**

Коломійчук Г.П., к.т.н., доцент, Майстренко О.Ф., к.т.н., доцент, Коломійчук В.Г., аспірант, Коломійчук В.Г., студентка (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Kolomiychuk G.P., PhD., associate professor, Maistrenko O.F., PhD., associate professor, Kolomiichuk V.G., postgraduate student, Kolomiichuk V.G., student (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture, Odessa)

Форми поверхонь фундаментів-оболонок настільки різноманітні, як за геометричною, так і за конструктивною ознаками, що володіють принциповими особливостями у взаємодії з ґрунтовою основою. Ефективність в підвищенні несучої здатності і зниженні деформацій основи найбільш виражені для криволінійних по відношенню до ґрунту поверхонь і потребують подальшого вивчення.

The use of shells as foundations has attracted significant scientific and practical interest around the world. Previous studies have proven their higher bearing capacity and lower draft compared to solid slab foundations. Shell foundations are also more effective in situations involving the transfer of significant loads to weak foundation soils, as well as for structures that accept large wind and seismic loads, such as telecommunication and silos, chimneys, and others.

The need to know modern constructive solutions for foundations-shells, their behavior under the influence of an increasing load in a complex stress-strain state on various foundations, makes the task of studying, systematizing and developing their effective practical application urgent.

The article explores the experimental and theoretical studies of foundations-shells round in terms of various structural schemes on various soil foundations. Experimental models are considered that were loaded with a concentrated force at the center of the conical shell, as well as along the support ring of the spherical shell. For a spherical foundation-shell, the effect of edge restraint on the stress-strain state has been studied.

The results of tests on wire-reinforced KF-O models under the action of a concentrated force showed rather high values of the ultimate load. An increased height-to-radius ratio (f / r_2) for the foundation body from 0.25 to 0.75 increases the final load of the foundation by about 15%. The tapered shell can perfectly withstand the smaller random load eccentricities (through unpredictable torque) that can occur in practice.

On EM №1 it was found that more than 75% of the total subsidence of a round slab is localized in the surface layer 0.6 meters deep (0.5D). The boundary of the deformation zone slightly exceeds 2D. For F-O, more than 60% of the total subsidence is localized in the surface layer with a depth of 0.4 meters (0.3D), and at a depth equal to D, up to 75%

of the total subsidence is localized. The boundary of the deformation zone is 1.4D.

The analysis of the results of experimental studies to determine the ultimate loads on models of reinforced concrete round foundations-shells on different soil foundations for various structural schemes is carried out. Experimental models modeling the foundations-shells on which the columns of buildings and structures rest, as well as models of tower structures, where the load is applied to the outer ring support, are considered. In each case, a comparison is made with round slabs and shows the advantage of shell foundations.

Ключові слова: фундаменти-оболонки, опорне кільце, ґрунтова основа, дослідні моделі, схема тріщин.

Keywords: shell foundations, support ring, soil base, research models, scheme of cracks.

Вступ. Актуальним завданням є підвищення ефективності фундаментобудування шляхом застосування нових конструктивних форм і прогресивних матеріалів. Для будівель з регулярною конструктивною схемою і осесиметричних споруд, таких як димові та промислові труби, вежі, градирні, це може досягатися застосуванням фундаментів-оболонок (Ф-О), що представляють собою опорний контур, на який спирається споруда, і тонкостінну криволінійну оболонку, що сприяє роботі всього масиву ґрунту під спорудою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Використання оболонок в якості фундаментів привернуло значний науково-практичний інтерес у всьому світі. Попередніми дослідженнями доведено їх більш високу несучу здатність і менші осідання у порівнянні з суцільними плитними фундаментами. Фундаменти-оболонки більш ефективні і в випадках, пов'язаних з передачею значних навантажень на слабкі ґрунти основи, а також для споруд, що сприймають велике вітрове та сейсмічне навантаження, таких як телекомунікаційні і силосні башти, димові труби та інші.

Сучасні фундаменти являють собою гнучкі залізобетонні конструкції: перехресні стрічки, плити, оболонки [1]. У таких конструкціях вже в експлуатаційній стадії допускається розкриття тріщин у розтягнутих зонах, що дозволяє використовувати властивості міцності арматури. При цьому ширина тріщин обмежується так, щоб вони не були небезпечні для конструкції. Результати експериментів показують, що деформації згину концентруються в зонах з тріщинами, внаслідок чого в цих зонах значно зменшується жорсткість конструкції, що впливає на розподіл зусиль у фундаменті. Розробка моделей фундаментних конструкцій, що враховують нелінійні властивості залізобетону, і ґрунту більш повно відобразить процес спільної роботи в процесі експлуатації [2].

Одна з актуальних проблем проектування фундаментних конструкцій у складних ґрунтових умовах - визначення граничних деформаційних впливів для певного виду фундаменту при заданих силових навантаженнях [3]. Таку задачу можна розв'язувати, поступово збільшуючи деформаційні впливи на фундамент (збільшення кривизни, нахилу, осідань, розмірів уступу, діаметра провалів). Фундаментні конструкції слід проектувати з такими розмірами, щоб відношення жорсткостей плити й основи відповідало найбільшій несучій здатності плити, у цьому випадку найповніше використовуються несучі здатності елементів системи.

В роботі [4] розглядаються питання чисельного моделювання осесиметричних фундаментів-оболонки на ґрунтовій основі при позакентровому навантаженні. Представлено порівняння їх з роботою плоских круглого та кільцевого фундаментів. Матеріаломісткість фундаменту-оболонки становить 36% від плоского круглого фундаменту і 79% від кільцевого фундаменту.

Цілі і завдання. Виконати аналіз нових досліджень по визначенню граничних навантажень для експериментальних моделей залізобетонних круглих фундаментів-оболонки на різних ґрунтових основах і різних конструктивних схем.

Основна частина. Конструктивні рішення фундаментів-оболонки постійно вдосконалюються. Визвано це необхідністю збільшення габаритних розмірів споруд, а також отримання нових експериментально-теоретичних результатів і впровадженням в будівництво нових надміцних матеріалів.

В роботі [5] вивчали граничну несучу здатність конічних фундаментів-оболонки (КФ-О) на неармованому та армованому піску за допомогою лабораторних модельних випробувань. Для вивчення впливу товщини оболонки на граничну несучу здатність виготовлено та випробувано три типи конічних модельних оболонки (рис. 1, табл. 1). Порівняння виконувалося з круглою фундаментною плитою.

Отримане граничне навантаження для осесиметричних випробувань наведено в таблиці 2.

Таблиця 1

Розміри опорних моделей

Тип	H1 (mm)	H2 (mm)	s (mm)	a (mm)	t (mm)	b (mm)	c (mm)	α , град.
КФО-1	80	80	40	42	42	160	0	53
КФО-2	64	96	40	58	42	160	12	53
КФО-3	39	121	40	83	42	160	31	53
Плита	—	—	—	—	42	—	160	0

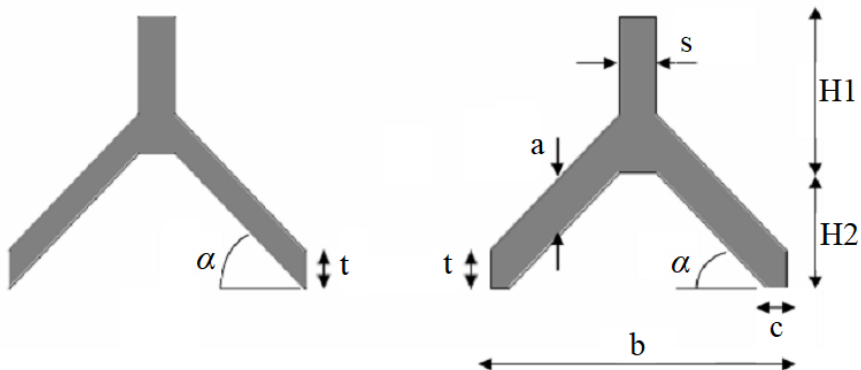


Рис. 1. Геометричні розміри конічних залізобетонних моделей Ф-О з кільцевою балкою та без неї

Таблиця 2

Граничне навантаження для осесиметричних випробувань конічних залізобетонних моделей Ф-О

Тип фундаменту	КФО-1	КФО-2	КФО-3	Плита
Граничне навантаження (N) на				
неармованому піску	4750	3800	3400	3100
армованому піску	6300	4800	4400	3750

Велика кількість зразків КФО-О була розглянута в роботі [6], де вивчали граничну несучу здатність моделей (рис. 2) виконаних з реактивного порошкового бетону (RPC) за допомогою лабораторних модельних випробувань. Дане дослідження було спрямоване на вивчення RPC як матеріалу, що використовується для побудови Ф-О. Експериментальні випробування проводилися для вивчення впливу об'ємного співвідношення сталеві фібри (V_f), вмісту проценту кремнезему (S_f), зміни ексцентриситету та підйому оболонки до радіуса базового відношення (f/r_2) на поведінку конічних фундаментних оболонок.

Результати випробувань на армованих дротом моделях КФО-О під дією сконцентрованого зусилля показали досить високі значення граничного навантаження (табл. 3). Збільшення відношення висоти до радіуса (f/r_2) для фундаментного корпусу з 0,25 до 0,75 збільшує кінцеве навантаження

фундаменту приблизно на 15%. Конусна оболонка може чудово протистояти меншим значенням випадкових ексцентриситетів навантаження (через непередбачуваний момент), які можуть мати місце на практиці.

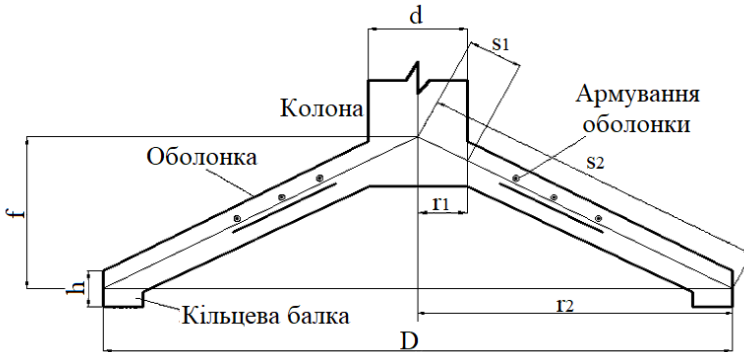


Рис. 2. Геометрія та армування залізобетонної моделі Ф-О: $D=400\text{мм}$; $r_1=40\text{мм}$; $r_2=200\text{мм}$; $d=80\text{мм}$; $h=10\text{мм}$; $f=(50 \text{ та } 150)\text{мм}$; $S_1= 35\text{мм}$; $S_2=201\text{мм}$; кільцеве армування $8\text{Ø}2\text{мм}$; радіальне армування $8\text{Ø}2\text{мм}$; армування кільцевих балок $4\text{Ø}2\text{мм}$.

Таблиця 3

Граничне навантаження КФ-О з RPC

Граничне навантаження, кН			
З кільцевою балкою		Без кільцевої балки	
S9 ($f/r_2= 0,25$)	S10 ($f/r_2= 0,75$)	S22 ($f/r_2= 0,25$)	S23 ($f/r_2= 0,75$)
28	34	25,3	30

Зразки КФ-О були виготовлені з залізобетону діаметром ($D = 700\text{мм}$), товщиною ($t = 60\text{мм}$) і різним кутом половини оболонки (45° і $63,44^\circ$) [7]. Загальна висота моделей складала 600 мм . В якості робочої арматури використовувалися стержні $\text{Ø}12\text{мм}$, а конструктивна арматура з $\text{Ø}8\text{мм}$. Граничне навантаження: $512,5 \text{ кН}$ (кут 45°); $437,5 \text{ кН}$ (кут $63,44^\circ$). На рис.3 наведено зруйновану модель КФ-О.



Рис. 3. Схема тріщин зруйнованої залізобетонної моделі КФ-О

В роботах [8-10] наведені результати експериментальних досліджень взаємодії осесиметричних Ф-О різних конструктивних схем з ґрунтовою основою природного складання в порівнянні з круглою плитою.

Експериментальний майданчик №1 (ЕМ№1) представлений інженерно-геологічними елементами (ІГЕ): суглинок напівтвердий потужністю 1,3 м; суглинок м'якопластичний потужністю до 5 м; супісок пластичний. Рівень ґрунтових вод на глибині 3 м. ЕМ№2 представлений ІГЕ: суглинок напівтвердий потужністю 1 м; суглинок твердий потужністю 1 м; суглинок напівтвердий потужністю 2 м; суглинок тугопластичний. Ґрунтові води до глибини 6 м були відсутні.

Досліджувані фундаменти на ЕМ№1:

- Ф-О діаметром $D=1200$ мм і стрілою підйому $f=120$ мм ($f/D=1/8$). Контактна поверхня – природна ґрунтова основа. Робоча арматури оболонки – тканина з односпрямованих вуглецевих волокон SikaWrap®-530C (VP), що наносилася на поверхню оболонки мокрим способом у два шари за допомогою 2-х компонентного епоксидного клею Sikadur®-330. В якості схеми армування була обрана радіальна схема з кутом зміщення $22,5^\circ$. З'єднання оболонкової частини фундаменту і опорного кільця жорстке.

- Кругла монолітна залізобетонна плита діаметром $D=1200$ мм і товщиною $h=200$ мм.

Досліджувані фундаменти на ЕМ№2:

- Ф-О (рис. 4) діаметром $D=2400$ мм і стрілою підйому $f=240$ мм ($f/D=1/9$). Контактна поверхня – природна ґрунтова основа. Робоча арматури оболонки – тканина з односпрямованих вуглецевих волокон SikaWrap®-530C (VP), що розташовувалася в тілі бетонної оболонки у

вигляді ортогональної мережі в один шар, з розміром осередку 350x350мм. З'єднання оболонкової частини фундаменту і опорного кільця шарнірне.

- Кругла монолітна залізобетонна плита діаметром $D=2400$ мм і товщиною $h=200$ мм.

Для Ф-О, увігнутих по відношенню до ґрунту, суттєвої трансформації епюри контактних тисків в процесі збільшення навантаження не відбувається, що свідчить про мінімальний розвиток областей граничних станів в основі, на відміну від епюри для жорсткого штампугу зі зміщенням максимальних значень з краю фундаменту ближче до центру в процесі збільшення навантаження.

У таблиці 4 наведені результати сприйняття реактивного опору складових частин Ф-О на ЕМ№1 і ЕМ№2.

На ЕМ№1 встановлено, що понад 75% загального осідання круглої плити локалізується в поверхневому шарі глибиною 0,6 метра (0,5D). Межа зони деформацій незначно перевищує 2D. Для Ф-О понад 60% загального осідання локалізується в поверхневому шарі глибиною 0,4 метра (0,3D), а на глибині, рівній D, локалізується до 75% загального осідання. Межа зони деформацій складає 1,4D.

На ЕМ№2 встановлено, що максимальні переміщення в основі під кільцевим ребром Ф-О мають локальну зону поширення, в межах 0,3D або 3,6b (де b - ширина ребра). При цьому більше 70% осідання Ф-О відбувається за рахунок деформації основи в межах 0,5D. Максимальні напруження мають локальний характер, виникаючи тільки під опорним кільцем. Велика нерівномірність, як напружень, так і деформацій в поверхневому шарі глибиною, що не перевищує 0,3D, пов'язана з шарнірним з'єднанням опорного кільця з оболонкою і є межею переходу від великих напруг і переміщень до значно менших.



Рис. 4. Загальний вигляд шарнірного Ф-О діаметром 2,4 м

Таблиця 4

Частка сприйняття навантаження елементами конструкції Ф-О

Жорстке закріплення (ЕПН№1)			Шарнірне закріплення (ЕПН№2)		
Р _{сер} , кПа	Опорне кільце, %	Оболонка, %	Р _{сер} , кПа	Опорне кільце, %	Оболонка, %
50	70,7	29,3	41,32	74,7	25,3
100	57,4	42,6	106,22	66,7	33,3
150	42,2	57,8	150,46	61,1	38,9
200	39,0	61,0	172,57	57,2	42,8
250	37,6	62,4	194,69	53,0	47,0
300	32,3	67,7	216,80	48,9	51,1

Висновки і перспективи досліджень. Виконано аналіз результатів експериментальних досліджень по визначенню граничних навантажень на моделях залізобетонних круглих фундаментів-оболонки на різних ґрунтових основах для різних конструктивних схем. Розглянуті експериментальні зразки що моделюють фундаменти-оболонки на які опираються колони будівель та споруд, а також моделі баштових споруд, де навантаження прикладається по зовнішній кільцевій опорі. В кожному із випадків виконано порівняння з круглими плитами і воно показує перевагу фундаментів-оболонки.

Можна зробити висновок, що розглянута досить складна проблема, яка є актуальною і потребує подальшого вивчення.

References

1. Dorofeev V.S. Экспериментальное исследование поведения железобетонных фундаментов на деформируемой основе / V.S. Dorofeev, V.M. Kobryncz, G.P. Kolomyjchuk, A.V. Kolomyjchuk // Visnyk ODABA, Odesa: ODABA, 2013. – Вып. 49. – Часть на 2. – С. 80-95.
2. Kolomyjchuk G.P. Технічна оцінка залізобетонних оболонок покриття / G.P. Kolomyjchuk // Visnyk ODABA, Odesa: ODABA, 2009. – Вып. 34. – Часть на 2. – С. 428-435.
3. Tyuchenko R.O. Rozrachunok fundamentiv-obolonok dlya sporud bashtovogo typu na vplyv nerivnomirnyx osidan' osnovy / R.O. Tyuchenko, V.L. Syedin, D.A. Krishko // Visnyk PDABA, Dnipro: PDABA, 2015. – #10 (211). – С. 29-35.
4. Bartolomej L.A. Vzaymojstvye osey mmetrichnykh fundamentov-obolochek s gruntovym osnovanyem pry vnecentrennom nagruzheniy / L.A. Bartolomej, A.A. Tarasenko, Ya.A. Pronozy'n, R.V. Mel'ny'kov // Ynternet-vestnyk VolgGASU. Ser.: Poly'tematy'cheskaya, 2012. – Вып. 1(20). – С.1-5.
5. Esmali D. Experimental and Numerical Investigation of Ultimate Load Capacity of Shell Foundations on Reinforce and Unreinforced Sand / D. Esmali, N. Hataf // Iranian Journal of Science & Technology, 2008. – Vol. 32. – No. B5. – R. 491-500.
6. Fattah M. Experimental and Theoretical Study on Bearing Capacity of Conical Shell Foundations Composed of Reactive Powder Concrete / M. Fattah, W. Waryosh, M. Hamdani // Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2015. – Vol. 12. – No. 4 (180). – R. 411-426, DOI: 10.13168/AGG.2015.0037.

7. Ramesh M. Experimental Study on Conical Shell Footing / M. Ramesh, M.J. Blessy // International Journal of Engineering Research & Technology, 2015. – Vol. 4. – Issue 06. – P. 167-171.
8. Pronozy`n Ya.A. Rezul'taty` ekspery`mental'no – teorety`chesky`x y`ssledovany`j vzya`modejstvy`ya osesy`mmetry`chnogo fundamenta – obolochky` s gruntovym osnovany`em / Ya.A. Pronozy`n, R.V. Mel'ny`kov // Y`zvesty`ya vuzov. Stroy`tel'stvo, 2010. – #5. – S.114-119.
9. Mel'ny`kov R.V. Vzya`modejstvy`e osesy`mmetry`chnyx fundamentov-obolochek s nemetally`chesky`m armirovaniy`em s osnovany`em slozhennym rylevato-gly`ny`stymy` gruntamy` : avtoref. dy`ss. ... kand. techn. nauk: 05.23.02 / R.V. Mel'ny`kov. – Tyumen' : TyumGASU, 2011. – 21 s.
10. Pronozy`n Ya.A. Vzya`modejstvy`e lentочно-obolochечных фундаментов s sy`lnoszhy`maemy`m gruntovym osnovany`em: dy`ss. ... dokt. techn. nauk: 05.23.02 / Ya.A. Pronozy`n. – Moskva: MGSU, 2016. – 368 s.

Список використаних джерел

1. Дорофеев В.С. Экспериментально-теоретические исследования поведения гибких железобетонных фундаментов на деформируемом основании / В.С. Дорофеев, В.М. Кобринец, Г.П. Коломийчук, А.В. Коломийчук // Вісник ОДАБА, Одеса: ОДАБА, 2013. – Вип. 49. – Частина 2. – С. 80-95.
2. Коломийчук Г.П. Техническая оценка железобетонных оболочек покрытия / Г.П. Коломийчук // Вісник ОДАБА, Одеса: ОДАБА, 2009. – Вип. 34. – Частина 2. – С. 428-435.
3. Тимченко Р.О. Розрахунок фундаментів-оболонок для споруд баштового типу на вплив нерівномірних осідань основи / Р.О. Тимченко, В.Л. Седін, Д.А. Крішко // Вісник ПДАБА, Дніпро: ПДАБА, 2015. – №10 (211). – С. 29-35.
4. Бартоломей Л.А. Взаимодействие осесимметричных фундаментов-оболочек с грунтовым основанием при внецентренном нагружении / Л.А. Бартоломей, А.А. Тарасенко, Я.А. Пронозин, Р.В. Мельников // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая, 2012. – Вип. 1(20). – С.1-5.
5. Esmali D. Experimental and Numerical Investigation of Ultimate Load Capacity of Shell Foundations on Reinforce and Unreinforced Sand / D. Esmali, N. Hataf // Iranian Journal of Science & Technology, 2008. –Vol. 32. – No. B5. – P. 491-500.
6. Fattah M. Experimental and Theoretical Study on Bearing Capacity of Conical Shell Foundations Composed of Reactive Powder Concrete / M. Fattah, W. Waryosh, M. Hamdani // Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2015. – Vol. 12. – No. 4 (180). – P. 411-426, DOI: 10.13168/AGG.2015.0037.
7. Ramesh M. Experimental Study on Conical Shell Footing / M. Ramesh, M.J. Blessy // International Journal of Engineering Research & Technology, 2015. – Vol. 4. – Issue 06. – P. 167-171.
8. Пронозин Я.А. Результаты экспериментально – теоретических исследований взаимодействия осесимметричного фундамента – оболочки с грунтовым основанием / Я.А. Пронозин, Р.В. Мельников // Известия вузов. Строительство, 2010. – №5. – С.114-119.
9. Мельников Р.В. Взаимодействие осесимметричных фундаментов-оболочек с неметаллическим армированием с основанием сложенным пылевато-глинистыми грунтами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Р.В. Мельников. – Тюмень: ТюмГАСУ, 2011. – 21 с.
10. Пронозин Я.А. Взаимодействие ленточно-оболочечных фундаментов с сильносжимаемым грунтовым основанием: дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.02 / Я.А. Пронозин. – Москва: МГСУ, 2016. – 368 с.