



Получена: 04.01.2023 г.

Приета: 07.03.2023 г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА АРМОЦИМЕНТНА ЧЕРУПКА

С. Митева¹, Ф. Рангелова², Е. Абдулахад³

Ключови думи: експериментално изследване, тънкостенни черупкови конструкции, общи деформации

РЕЗЮМЕ

Настоящата статия включва подготвителна част от експериментално изследване на съществуващи армоциментни черупки. Обект на изследването е мащабиран черупков модел. Мащабът за дължини по посока x и y е $m_lx = m_ly = 20$, като съответстват на модел с размери в план 20×30 m. Мащабът на дебелините е $m_t = 10$, като дебелината на черупката от модела е 8 mm с прототип 80 mm. Черупковият модел е армиран с плетени мрежи от горена тел, разположени в средната повърхнина, като коефициентът на армиране е $\mu = 0,5$ %. Бордовите конструкции са виренделови греди с криволинеен горен пояс, армирани със заварен скелет. Образецът е натоварен на степени с равномерно разпределен товар. Той е изследван за определяне на деформациите от дълготрайно действие на натоварването. Отчетени са общите деформации в черупката, като са сравнени с предходно експериментално изследване на същия модел.

1. Въведение

В настоящия доклад се разглежда и продължава експерименталната работа, заложена в дисертационен труд на тема „Някои проблеми по изследването на напрегнатото и деформираното състояние на полегати стоманобетонни черупкови конструкции при вземане предвид влиянието на пълзенето на бетона“ от 1987 год. с автор

¹ Станислава Митева, докторант инж., кат. „Организация и икономика на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: s.miteva_fce@uacg.bg

² Фантина Рангелова, проф. д-р инж., кат. „Организация и икономика на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: fantina_frp@abv.bg

³ Емад Абдулахад, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgosing@gmail.com

Чьонг Мин Бин. Поставената цел в дисертацията е да се разгледат някои въпроси, свързани с влиянието на пълзенето на бетона върху напрегнатото и деформираното състояние на стоманобетонна полегата черупка с положителна гаусова кривина, над правоъгълна основа, под действието на вертикално експлоатационно дълготрайно натоварване. За осъществяване на поставената задача, след задълбочен анализ на съществуващата литература, е представен метод за теоретичното изследване и, заедно с отделното експериментално изследване, те влизат в подробно съпоставяне.

Експерименталната дейност включва изследването на 4 модела на черупкови конструкции от армоцимент с размери в план 1500×1000 mm. Продължителността на експеримента е 11 месеца. Моделите са разделени в две основни групи:

- I група – модели М1 и М2 – за определяне на деформациите от съсъхване и температурно – влажностни промени на въздуха;
- II група – модели М3 и М4 – за определяне на деформациите от дълготрайно действие на натоварването, реализирано от 35 броя чугунови отливки [1].



Фиг. 1. Експериментално изследване на черупкови образци от 1986 год. [1]

От изследваните черупкови образци към настоящия момент са съхранени три от тях, намиращи се под навес на външни условия към територията на Учебна и научноизследователска лаборатория „Масивни конструкции“ на Университета по архитектура, строителство и геодезия.

Черупковите конструкции са в добро състояние. По горната повърхност на черупката се забелязват налични пукнатини, както и пукнатини в отделните елементи от бордовите виренделови греди. Пукнатините са с допустими широчини от 0,10 mm до 0,15 mm и вероятно са следствие на предходното натоварване.

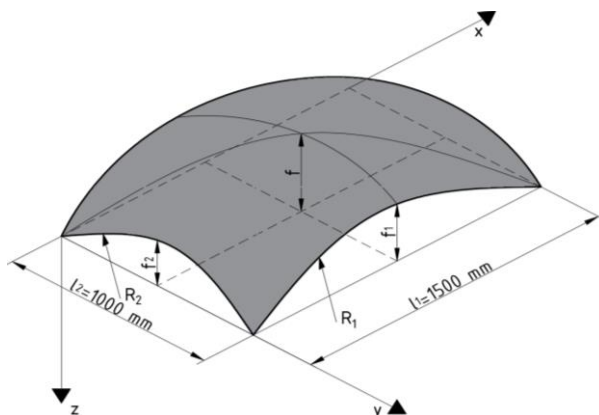
Целта на повторното експериментално изследване на черупковите модели е сравняване на резултатите с предходните и установяване на възможности за намаляване на възникналите деформации и дефекти чрез възстановяване и усилване на черупковата конструкция.

2. Експериментално изследване

2.1. Налични данни

В настоящия доклад обект на експериментално изследване е модел М3 от черупковите образци. Геометричните характеристики и използваните материали са известни от [1].

- **Геометрически характеристики на черупков образец**



Фиг. 2. Геометрически характеристики на черупков образец [1]

При $l_1 = 1\,500\text{ mm}$, $l_2 = 1\,000\text{ mm}$, стрелки $f_1 = 120\text{ mm}$, $f_2 = 80\text{ mm}$, максималната стрелка по диагонала $f = f_1 + f_2 = 200\text{ mm}$, черупката е полегата по Власовия критерий. Радиусите на кривини са $R_1 = 2403,8\text{ mm}$ и $R_2 = 1602,5\text{ mm}$. Средната повърхнина на черупката е очертана по окръжност и уравнението, което я описва, има следния вид:

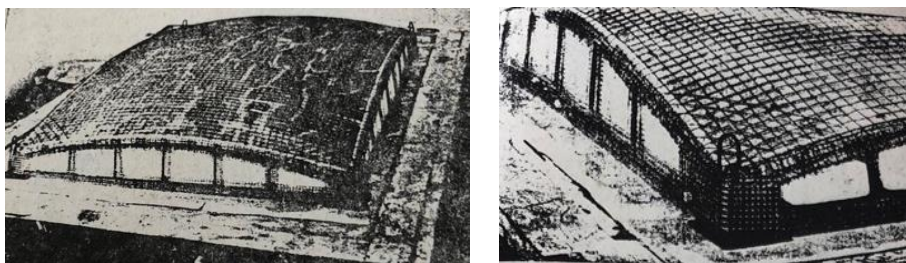
$$z = -0,32x - 0,32y + 0,2135x^2 + 0,32y^2. \quad (1)$$

Образецът е изпълнен в мащаби както следва:

- мащаб за дължини по посока x и y е $m_l x = m_l y = 20$, като съответстват на модел с размери в план $20 \times 30\text{ m}$;
- мащаб на дебелините $m_f = 10$, като дебелината на черупката от модела е 8 mm с прототип 80 mm .

Бордовите конструкции представляват виренделови греди с криволинеен горен пояс [1].

- **Вложени материали**



Фиг. 3. Разположение на армировката в образца [1]

Моделът е армоциментен и при така приетите дебелина на черупката и армировка коефициентът на армиране е $\mu = 0,5\%$. Използван е портландцимент марка 350. Черупката е армирана с плетени мрежи от горен тел $\varnothing 1\text{ mm}$, $R_{\text{провл}} = 240\text{ MPa}$ с клетка $20 \times 20\text{ mm}$,

разположени в средната повърхнина. Тези телове са добре закотвени в бордовите конструкции. Бордовите греди са армирани със заварен скелет от $\varnothing 6$ стомана АІ, усилен двустранно със заварени мрежи С2 с клетка 10×10 mm и $R_{\text{провл}} = 340$ МРа. За поемане на главните опънни напрежения в ъгловите зони на черупката са поставени допълнително телове в диагонално направление със стъпка 20 mm [1].

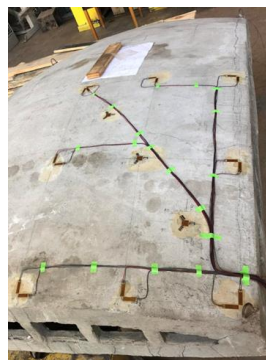
2.2. Опитната постановка, измервателна апаратура и натоварване

Въз основа на наличните данни е реализирана опитната постановка с монтиране на нови датчици и измервателна апаратура. Те са разположени по същата схема, както в предходното експериментално изследване.

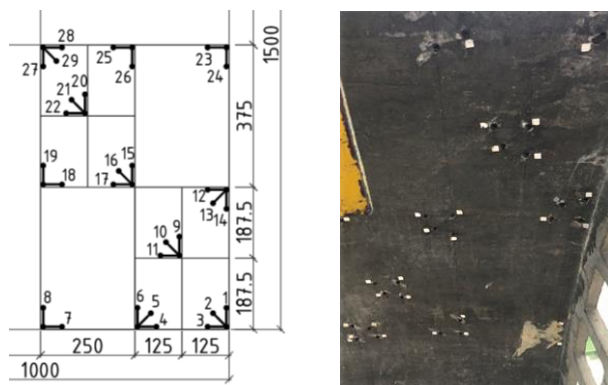


Фиг. 3. Опитна постановка

Вертикалните премествания на модела са измервани с помощта на 11 броя индикатори тип KS с точност 0,01 mm, същите като в миналия експеримент. За определяне на деформациите на точки от горната повърхност на черупката са залепени тензометрични схеми – 3 бр. розетки тип RY41-10/120 и 17 бр. линейни тип LY41-20/120 на НВМ. Те са идентични с използваните тензометрични розетки тип КМ-120 с $K = 2,06$ производство на ЧССР през 1986 г. Използвана е тензометрична апаратура „Hottinger“. Съответно с точките на горната повърхност за определяне на деформациите по долната повърхност на черупките са залепени фиксатори, а измерването се провежда с деформетър тип „Хугенбергер“ с база 50 mm, и точност 0,001 mm, както в предходното изследване. Разположението на датчиците и фиксаторите е показано на фиг. 5 и фиг. 6.



Фиг. 5. Разположение на тензометрични схеми по горната повърхност на черупката



Фиг. 6. Разположение на фиксатори за деформетър по долната повърхност на черупката

Натоварването се реализира на степени посредством 20 бр. чували с пясък, всеки от които има тегло 20 kg и 34 бр. чугунови отливки, всяка от които има тегло също 20 kg. При първа степен на натоварването са поставени 20 бр. чували с пясък, покриващи изцяло горната повърхност на черупката. При следващите степени върху чувалите с пясък се поставят чугунови отливки. Степените на натоварване и стойностите на равномерно разпределения товар са представени в табл. 1.

Таблица 1. Натоварване на черупката

Дата	Степен	Товар	Равномерно. разпр. товар
05.10.22	F1	400 kg	2,529 kN/m ²
14.10.22	F2	580 kg	3,668 kN/m ²
26.10.22	F3	820 kg	5,185 kN/m ²
31.10.22	F4	1080 kg	6,83 kN/m ²

3. Общи деформации

Провисванията на черупката са важни показатели за деформирането ѝ. Резултатите от настоящия експеримент са дадени в табл. 2.

В предходното изследване на провисванията на модела М3 стойностите на провисванията в центъра на черупката са 1,154 mm веднага след натоварване и достигат до 2,153 mm на 11-тия месец от натоварването [1].

Характерът на общите деформации в конкретния случай се различава с първоначалното експериментално изследване. Това се дължи на реализираното натоварване и неговата продължителност в отделните изпитвания. В миналия експеримент са използвани само отливки от чугун, които не реализират напълно разпределен товар. При настоящото изпитване чрез подложката от чували с пясък товарът се разпределя равномерно по повърхността на черупката.

Таблица 2. Провисвания в черупката

Уред/ Натоварване	F0	F1		F2		F3		F4	
	zi,0	zi,1	δ1	zi,2	δ2	zi,3	δ3	zi,4	δ4
И1	9,61	9,18	0,43	9,00	0,61	8,68	0,93	8,45	1,16
И2	9,59	9,14	0,45	8,95	0,64	8,68	0,91	8,31	1,28
И3	9,51	9,10	0,41	8,90	0,61	8,60	0,91	8,26	1,25
И4	9,45	9,08	0,37	8,78	0,67	8,53	0,92	8,24	1,21
И5	9,82	9,37	0,45	9,18	0,64	8,99	0,83	8,68	1,14
И6	9,31	8,90	0,41	8,71	0,60	8,48	0,83	8,50	0,81
И7	9,55	9,20	0,35	9,06	0,49	8,82	0,73	8,56	0,99
И8	4,39	4,14	0,25	4,14	0,25	4,06	0,33	3,91	0,48
И9	6,83	6,54	0,29	6,49	0,34	6,44	0,39	6,41	0,42
И10	7,14	7,03	0,11	6,86	0,28	6,71	0,43	6,81	0,33
И11	4,72	4,59	0,13	4,51	0,21	4,35	0,37	4,15	0,57

4. Изводи

На този етап от експерименталното изпитване могат да се направят следните изводи:

- 1) С увеличаване на натоварването провисванията на черупковата конструкция нарастват във времето.
- 2) Получените общи деформации в настоящото изследване са по-малки от предходното изследване поради реализираното равномерно разпределено натоварване.

Бъдеща работа към експерименталната дейност по черупковите образци е анализиране на получените резултати за напрегнатото и деформираното състояние на елемента, изготвяне на теоретичен модел, както и предложения за усилване.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор № 142/21 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chyong, Min Bin.* Някои проблеми по изследването на напрегнатото и деформираното състояние на полегати стоманобетонни черупкови конструкции при вземане предвид влиянието на palzeneto на бетона. Sofia, 1987 g.

EXPERIMENTAL STUDY OF ARMOCIMENT SHELLS

S. Miteva¹, F. Rangelova², E. Abdulahad³

Keywords: experimental study, thin-walled shell structures, displacement

ABSTRACT

The paper includes a preparatory part of an experimental study of existing armocement shells. The object of the study is one of three scaled shell models. The scale for lengths in the x and y directions is $mlx = mly = 20$, corresponding to a model with plan dimensions of 20×30 m. The thickness scale is $mf = 10$, as the shell thickness from the model is 8 mm with the prototype 80 mm. The shell model is reinforced with braided meshes of burning wire located in the middle surface, as the reinforcement factor is $\mu = 0,5$ %. The on-board structures are Virendel beams with a curvilinear upper girdle, reinforced with a welded skeleton.

The first model is loaded in stages with a uniformly distributed load. It has been studied to determine deformations from long-term load action. The total deformations in the shell are reported and compared with a previous experimental study of the same model.

¹ Stanislava Miteva, Eng. PhD student, Dept. "Construction Management and Economics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: s.miteva_fce@uacg.bg

² Fantina Rangelova, Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Management and Economics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: fantina_frp@abv.bg

³ Emad Abdulahad, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: georgosing@gmail.com