В.С. Шмуклер, О.І. Лугченко, А.Х. Нажем

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВЕРИФІКАЦІЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ КАРКАСУ НОВОГО ТИПУ

Нові конструкції, створені на основі методів прямого проектування, можуть відрізнятися від традиційних систем по характеру деформування [1]. Аналіз роботи таких конструкцій під навантаженням, на наш погляд, є актуальним питанням. Найбільш інформативним методом дослідження напружено-деформованого стану є експериментальне натурне дослідження.

Ключові слова: деформування, прогиномір, порожнина, навантаження, випробування, резервуар.

Постановка проблеми

Експериментальна верифікація [2, 3] є невід'ємною частиною дослідження як для нових конструктивів, так і для нових матеріалів і технологій. У зв'язку з чим, вдосконалене конструктивно-технологічне рішення полегшеного каркасу стало об'єктом натурального дослідження при зведенні нежитлової будівлі в м. Харкові.

Для оцінки особливостей деформування

полегшеного каркасу, проведено серію випробувань за допомогою методу гідростатичного навантаження, розробленого на кафедрі будівельних конструкцій ХНУМГ імені О.М. Бекетова [4, 5]. У якості об'єкту дослідження обраний фрагмент монолітного залізобетонного каркасу (рис. 1) з плитою перекриття прольотом 6.0 м, товщиною 500 мм, товщина обох обшивок 100 мм, товщина вкладишу 300 мм.

Рис. 1. Стан зведення будівлі на момент проведення випробувань.

Формулювання мети та завдання дослідження

Мета дослідження – оцінка деформативності конструкцій полегшеного каркасу.

Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан ефективних елементів каркасу (залізобетонні полегшені плита перекриття) при дії короточасного та довготривалого статичного

навантаження.

Предмет дослідження – особливості деформування об'єкта дослідження при формуванні внутрішньої геометрії елементів.

Випробування реалізовані при дії короточасних, а також тривалих рівномірно розподілених навантажень, і проведені відповідно до методу гідравлічних випробувань плит і оболонок [4, 6] на базі вимог ДСТУ Б В.2.6-7:95.

Основна частина дослідження

Для випробування використаний метод дослідження, заснований на гідростатичному навантаженні об'єкта, коли навантаження задається вагою води, і її величина регулюється висотою водяного стовпа [4].

Відповідно до поставленої програми експерименту задавався режим навантаження (ступінчастий, при оцінці деформативності і несучої здатності, відповідно до діючих норм) – монотонно зростаючий, активний з подальшим розвантаженням. Рівень навантаження визначався висотою стовпа води в резервуарі. При цьому, згаданий необхідний рівень забезпечувався системою подачі і відведення води в резервуар і з нього. Для реєстрації вимірюваних переміщень до досліджуваного об'єкта підводяться датчики, що дозволяють встановити характеристики напружено-деформованого стану об'єкта дослідження. Кожна ступінь навантажування коригується на підставі отриманих вимірів (які контролюються на підставі попередніх розрахунків).

Перевагами даної конструкції є її простота й невелика вартість, а також легке стикування із системою виміру. Використання даного методу, у

порівнянні з іншими існуючими, дозволяє визначати міцність і деформативність різних натурних конструкцій при короточасному й тривалому навантаженні без їхнього руйнування й зупинки процесу виробництва.

Для здійснення описаної процедури випробувань на міжповерховому перекритті сьомого поверху в вісях «4–5» біля вісі «Е» був зібраний інвентарний басейн з опалубних щитів з розмірами в плані 5,2х2,8 м і висотою борту 1,15 м (рис. 2). При створенні конструкції басейну були використані дерев'яні бруси, опалубна фанера й металеве кріплення. Спочатку, на перекритті були встановлені стінки з фанери, що формують басейн, які додатково підкріплювалися дерев'яними брусами по бічних гранях і по верхньому обрізу, у горизонтальному, вертикальному й діагональному напрямках. Цим забезпечувалася необхідна жорсткість бічних стінок басейну, які під час поступового навантаження перебували під тиском води.

Після складання басейну укладалась поліетилєнова плівка для забезпечення водонепроникності. Плівка фіксувалася безпосередньо до бортів басейну з необхідним напуском.

Рис. 2. Загальний вигляд резервуару для випробування

Оскільки будинок під час проведення випробувань перебував в стадії зведення й не був підключений до міських мереж водопостачання, реалізувати гідравлічне навантаження стало можливим завдяки пожежній бригаді, яка виконала підключення до пожежних гідрантів, розташованих на ділянці будівництва.

У результаті описаного вище підходу на перекритті створювалося слідкуюче навантаження. Його величина, у цьому випадку, залежала від

накопичених прогинів, які, у свою чергу, також залежали від рівня навантаження. У результаті, при первісному завантаженні перекриття рівномірно розподіленим навантаженням, рівень води мінявся у зв'язку з деформуванням конструкції, і, як наслідок, він був різним у навантажувальній області. Це призводить до зміни величин прогинів, і, отже, до зміни рівня розподіленого по площі навантаження.

При роботі з даною системою навантаження здійснювалися виміри в ряді точок навантаженої

поверхні й перерахування величини умовно рівномірно розподіленого навантаження. Визначення висоти водяного стовпа виконувалося за допомогою спеціально проградуйованих мірних лінійок із ціною

ділення 10 см (рис 3). Виміри проводилися в трьох точках конструкції, що навантажується: у самому центрі басейну й по осі центру вильоту консолі у двох протилежних бічних граней.

Рис. 3. Визначення висоти водяного стовпа

Грунтуючись на описаному методі, при дослідженні деформативності і міцності досліджуваного фрагменту каркасу, був обраний ступінчастий режим навантаження з витримкою кожного ступеню в часі до повної зупинки приладів. Розмір ступені призначався в межах 1.0 кН/м^2 . Максимальне розрахункове навантаження на перекриття становило 9 кН/м^2 . Після проведення циклу ступінчастого навантаження до розрахункового значення навантаження, басейн з водою (без розвантаження) був залишений на перекритті на 7

днів для відстеження динаміки деформування перекриття під навантаженням в часі. Після завершення тривалого циклу випробувань проведено повне розвантаження басейну з подальшим його демонтажем.

Як вже було зазначено раніше, для дослідження деформативності полегшеного каркасу на перекриття 7 поверху було встановлено інвентарний басейн, з розміром в плані $5.2 \times 2.8 \text{ м}$. Схема установки резервуара для навантаження на перекритті приведена на рис. 4–5.

Рис. 4. Схема влаштування резервуару

Рис. 5. Перекриття під навантаженням в різний час

Для визначення прогинів навантажуваного перекриття використані механічні прогиноміри 6ПАО (рис. 6), встановлені під перекриттям

сьомого поверху на підлозі перекриття шостого поверху в найбільш характерних точках (рис. 7).

Рис. 6. Нумерація прогиномірів 6ПАО, встановлених на перекритті 7 поверху

Рис. 7. Схема розстановки прогиномірів 6ПАО під перекриттям 7-го поверху

Випробування № 1. Дата 10/06/2018.

Перший етап навантаження вибраного фрагменту монолітного залізобетонного полегшеного каркасу проводився поступово, з кроком навантаження 1.0 кН/м^2 і витримкою в часі до

повної зупинки стрілок прогиномірів. Максимальне навантаження на перекриття на першому етапі випробування склало 4.0 кН/м^2 . Результати вимірювань представлені на рис. 8 і в табл. 1. Максимальне переміщення перекриття, рівне 2.61 мм , зафіксовано для точки 3 – в центрі прогону навантажуваної області на краю консолі, що склало 15% від гранично допустимого прогину, рівного 18 мм ($1/150l$).

Після зняття тимчасового навантаження, рівного 4 кН/м^2 , були зроблені повторні виміри прогинів краю консолі без навантаження. Результати вимірів свідчать про повернення стрілок прогиномірів у вихідну точку з похибкою $0,5 \text{ мм}$. Підсумки першого етапу навантаження підтверджують, що робота конструкції перекриття під навантаженням не виходить за межі зони пружної роботи.

Таблиця 1.

Результати визначення переміщень						
Час відліку	Навантаження, Н/м^2	Прогин, мм				
		П 1	П 2	П 3	П 4	П 5
10:30	00	0	0	0	0	0
11:27	1.0	0,09	0,28	0,16	0,28	0,05
11:35	1.0	0,1	0,29	0,56	0,32	0,06
11:40	2.0	0,41	0,56	1,63	0,53	0,35
11:47	2.0	0,42	0,68	1,69	0,55	0,41
11:55	3.0	0,68	1,09	1,98	0,83	0,69
12:15	3.0	0,76	1,18	2,33	1,23	0,86
12:22	4.0	0,78	1,34	2,54	1,39	0,97
12:43	4.0	0,85	1,48	2,61	1,47	1,04

Рис. 8. Графік залежності переміщень перекриття від прикладеного тимчасового навантаження на першому етапі випробувань

Випробування № 2. Дата 14/06/2018

На другому етапі навантаження перекриття, після зняття нульових відліків (без навантаження), перший ступень навантаження склав відразу 4 кН/м^2 . Наступні ступені навантаження прикладалися із кроком 1 кН/м^2 і витримкою в часі до повної зупинки стрілок прогиномірів. Максимальне навантаження на перекриття склало 9 кН/м^2 . Даний етап навантаження проводився у дві стадії: перша – східчає навантаження консолі до гранично припустимого значення навантаження, рівного 9 кН/м^2 (короткочасне навантаження); друга – витримка в

часі під навантаженням 9 кН/м^2 протягом 7 діб, чим було змодельоване тривале навантаження.

На другій стадії випробувань максимальний прогин, рівний $3,40 \text{ мм}$, що становить 15% від гранично припустимого значення, був зафіксований для крапки №2. Після завершення етапу короткочасного навантаження спуск води з басейну не здійснювався. Навантаження в 9 кН/м^2 було залишено на перекритті протягом 7 днів. Результати вимірів представлені на рис. 9 і в табл. 2. Максимальні переміщення краю консолі, рівні $3,86 \text{ мм}$ і $4,0 \text{ мм}$, зафіксовано для крапок 2 і 3 – на краю консолі в центрі прольоту, що склало 22% від гранично припустимого прогину, рівного 18 мм .

Таблиця 2.

Результати визначення переміщень

Час відліку	Навантаження, Н/м^2	Прогин, мм				
		П 1	П 2	П 3	П 4	П 5
12:40	00	0	0	0	0	0
13:06	4,0	0,92	0,38	0,22	0,82	0,76
13:15	4,0	0,99	0,45	0,30	0,85	0,83
13:22	5,0	1,20	0,87	0,82	1,06	1,09
13:35	5,0	1,23	0,93	0,90	1,09	1,15
13:40	6,0	1,29	1,06	1,02	1,24	1,23
13:55	6,0	1,33	1,08	1,03	1,27	1,27
14:08	7,0	1,63	2,40	1,47	1,42	1,50
14:20	7,0	1,66	2,46	1,54	1,43	1,50
14:31	8,0	1,88	2,85	2,05	1,69	1,83
14:42	8,0	1,93	2,89	2,08	1,69	1,83
14:54	9,0	2,18	3,32	2,66	2,03	2,12
15:10	9,0	2,26	3,37	2,68	2,09	2,13
15:42	9,0	2,27	3,37	2,68	2,09	2,13
16:36	9,0	2,27	3,40	2,71	2,15	2,13
Тривалі випробування						
Дата	Навантаження, кН/м^2	П 1	П 2	П 3	П 4	П 5
15/06	9,0	2,64	3,48	3,05	2,16	2,41
16/06	9,0	х	3,65	3,27	2,22	2,42
17/06	9,0	х	3,89	3,51	2,25	х
18/06	9,0	х	3,94	3,76	2,48	х
19/06	9,0	х	3,94	3,76	2,51	х
20/06	9,0	х	4,0	3,86	2,59	

Після завершення тривалого етапу випробувань був зроблений повний спуск води з басейну й виконаний повторний вимір прогинів краю консолі без навантаження. За результатами вимірів можна зробити висновок про те, що конструкція перекриття працює під навантаженням пружньо – точка резильянса досягнута не була, максимальні переміщення, зафіксовані після зняття навантаження, перебувають у межах 0,5–1мм від зафіксованих нульових відліків. Отримана інформація підтверджена результатами геодезичного контролю (рис. 10). Згідно з виконавчою зйомкою, контрольні значення переміщень консолі для різних точок становлять 0–1мм. В ході досліджень та після їх

завершення не було виявлено жодних ознак руйнувань (тріщин). Залишкові деформації на 12 добу після розвантаження басейну не перевищили 2,5%.

Висновки

Аналізуючи отримані результати натурного випробування фрагменту полегшеного каркасу, можна зробити висновок, що характер деформування перекриття під навантаженням корелює з результатами аналогічних досліджень, що неоднократно проведені для каркасів будівель з несучими елементами з суцільним перерізом.

Рис. 9. Графіки залежності переміщень перекриття від прикладеного тимчасового навантаження на другому етапі випробувань

Рис. 10. Результати геодезичного контролю

Література

1. Шмуклер В.С. Каркасні системи полегшеного типу : монографія / В.С. Шмуклер, Ю.А. Клімов, М.П. Бурак . – Харків: Золоті сторінки, 2008 . – 336 с.
2. Адлер Ю.П. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов : монографія / Ю.П. Адлер, О.В. Макарова, Ю.В. Грановський. – М. : "Наука", 1976. – 279 с.
3. Зедгинидзе И.Г. Планування експерименту для дослідження багатокомпонентних систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: «Наука», 1976. – 390 с.
4. Прилад для натурних випробувань плит та оболонок : пат. 44125 Україна, МПК G01M 19/00 G01N 3/00 G01M 5/00. / Шмуклер В.С., Чупринін А.А., Аббасі Р.; заявник та патентовласник Шмуклер В.С. – №U200901598; заяв. 24.02.2009; публ. 25.09.2009, Бюл. №18
5. Аббасі Р. Метод натурних випробувань плит та оболонок : дис. канд. техн. наук / Р. Аббасі. – Х., 2010. – 175 с.
6. Rational Design of Structural Building Systems, (2019), V. Babaev, I. Ievzerov, S. Evel, A. Lantoukh-Liashchenko, V. Shevetovsky, O. Shimanovskyi, V. Shmukler, M. Sukhonos / DOM publishers, Berlin / Germany, 384 p.

References

1. Shmukler V.S., Klimov Yu.A., Burak M.P. (2008). Frame systems of the facilitated type. Kharkiv, Ukraine: Golden Pages, 336.
2. Adler Yu.P., Makarova O.W., Granovsky Yu.V. (1976). Planning an experiment in finding optimal conditions. Moscow, Russia: Science, 279.
3. Zedginidze I.G. (1976). Experiment planning for the study of multicomponent system. Science, 390.
4. Shmukler V.S., Chuprinin A.A., Abbasi R. (2009). Device for field tests of plates and shells. Patent of Ukraine for useful model. 44125 G01M 19/00, G01N 3/00 G01M 5/00;

№U200901598; declared 24.02.2009; published 25.09.2009, №18.

5. Abassi R. (2010). Method of field tests of plates and shells. Kharkiv, 175.
6. Rational Design of Structural Building Systems, (2019), V. Babaev, I. Ievzerov, S. Evel, A. Lantoukh-Liashchenko, V. Shevetovsky, O. Shimanovskyi, V. Shmukler, M. Sukhonos / DOM publishers, Berlin / Germany, 384.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кічаєва, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

Автор: ШМУКЛЕР Валерій Самуїлович
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельних конструкцій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – v_shmukler@hotmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8670-0731>

Автор: ЛУГЧЕНКО Олена Іванівна
кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – elenalugchenko@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5397-355X>

Автор: НАЖЕМ Алі Хусейн
аспірант кафедри будівельних конструкцій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – ali.h.najem@hotmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7247-4457>

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF CONSTRUCTIVE SOLUTION OF A NEW TYPE FRAMEWORK

V.S. Shmukler, O.I. Lugchenko, A.H. Nazhem

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Experimental verification is an integral part of the study for both new designs and new materials and technologies. To assess the features of deformation of the lightweight frame, a series of tests using the method of hydrostatic loading, developed at the Department of Building Structures O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkiv. A fragment of a monolithic reinforced concrete frame with a floor slab with a span of 6.0 m and a thickness of 500 mm (thickness of both claddings 100 mm, liner thickness 300 mm) was selected as the object of study. The purpose of the study is to assess the deformability of lightweight frame structures. The tests were implemented under the action of short-term and long-term evenly distributed loads, and were carried out in accordance with the method of hydraulic tests of plates and shells on the basis of the requirements of DSTU B B.2.6-7: 95. For research the research method based on hydrostatic loading of object when loading is set by weight of water is used, and its size is regulated by height of a water column. To carry out the described test procedure on the mezzanine floor of the seventh floor was assembled inventory pool of formwork panels with dimensions in terms of 5.2x2.8 m and a board height of 1.15 m. To register the measured displacements, sensors are supplied to the object under study, which allow to establish the characteristics of the stress-strain state of the object of study. Use of this method, in comparison with other existing, allows to define durability and deformability of various full-scale designs at short-term and long loading without their destruction and a stop of production process. The obtained results of field testing of a fragment of a lightweight frame indicate that the nature of the deformation of the floor under load correlates with the results of similar studies that have been repeatedly conducted for the frames of buildings with load-bearing elements with a continuous cross section.

Keywords: deformation, deflector, cavity, load, test, tank.