

ВПЛИВ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЦЕГЛЯНОЇ БУДІВЛІ З СТАЛЕФІБРОБЕТОННИМИ ПЛИТАМИ ПЕРЕКРИТТЯ

Олег СКОРУК

Київський національний університет будівництва і архітектури,
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
2120756@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-7106-4368>

DOI: 10.32347/2522-4182.9.2021.63-71

Анотація. У сучасних умовах, експлуатація будівель, споруд та їх елементів неможлива без урахування динамічних впливів різного характеру. У виробничому процесі завжди має місце технологічне обладнання, що стає джерелом вібрацій, ударів і тд.

У даній статті наведені чисельні дослідження елементів несучих конструкцій сталевібробетонних перекриттів і цегляних стін скінчено-елементної моделі (далі СЕМ) існуючої промислової будівлі.

Побудова СЕМ цегляної промислової будівлі виконана в обчислювальному комплексі на основі фактичних обмірних креслень, з урахуванням результатів інструментального обстеження будівлі. Далі проводився збір статичних навантажень, що створюватиме маси для виконання чисельного дослідження вільних коливань загальної системи.

Наступний крок полягав у статичному розрахунок СЕМ від власної ваги конструкцій та маси влаштованого обладнання на стінах і перекриття споруди та визначення спектру власних коливань чисельної моделі споруди та порівняння отриманих значень чисельного дослідження із натурними вимірами.

У якості динамічного критерію для оцінки стану несучих конструкцій споруди були використані значення власних частот коливань, їх фактичного заміру на різних поверххах існуючої будівлі.

Отримані дані будуть використанні для оцінки напруженого стану фібробетонних плит в реальних умовах експлуатації.



Олег СКОРУК
асистент кафедри
залізобетонних та кам'яних
конструкцій

Ключові слова. Фібра; фібробетонні конструкції; несуча здатність; деформації; скінчено-елементна модель.

ВСТУП

Промислові будівлі і споруди різного призначення зазнають дії динамічних навантажень, що має складний характер роботи та супроводжується знакозмінним навантаженням. Дані навантаження в залежності від способу розміщення, влаштування і кріплення влаштовуються на стінах чи перекриттях передаються на будівельні конструкції та викликає внесення змін у їх роботу.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій будівлі від роботи влаштованого технологічного обладнання на поверххах цегляної чотириповерхової промислової будівлі.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Задачі, що вирішувалися в процесі виконання чисельного дослідження:

1. Побудова скінчено-елементної моделі (далі СЕМ) будівлі.
2. Збір статичних навантажень, що можуть створити маси для виконання чисельного дослідження вільних коливань системи.
3. Статичний розрахунок СЕМ від власної ваги конструкцій та маси обладнання.
4. Визначення спектру власних коливань чисельної моделі споруди та порівняння отриманих значень чисельного дослідження із натурними вимірами.

5. Розробка висновків щодо несучої здатності елементів будівлі та рекомендацій з усунення вібраційного впливу від роботи двигунів технологічного обладнання на споруду.

ПОБУДОВА СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ БУДІВЛІ

Побудова СЕМ цегляної промислової будівлі виконана в обчислювальному комплексі на основі обмірних креслень, наданих Замовником з урахуванням результатів інструментального обстеження будівлі.

Загальний вигляд моделі та жорсткості скінчених елементів наведені на рис. 1, 2.

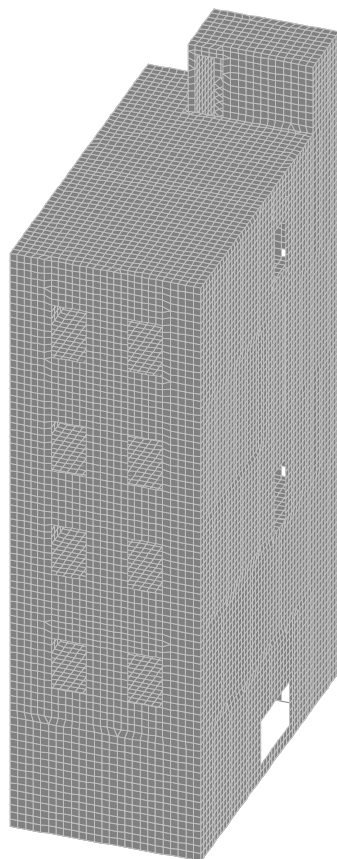


Рис.1. Розрахункова схема будівлі.

Fig.1. Estimated scheme of the building.

Стіни та плит перекриттів змодельовані 44 типом СЕ "4-кутною оболонкою", балки - 5-им типом СЕ "просторовими стержнем". Робота ґрунтової основи апроксимо-

вана за допомогою коефіцієнтів пастелі для стержневого елемента, обчислених на основі наданих результатів інженерно-геологічних вишукувань

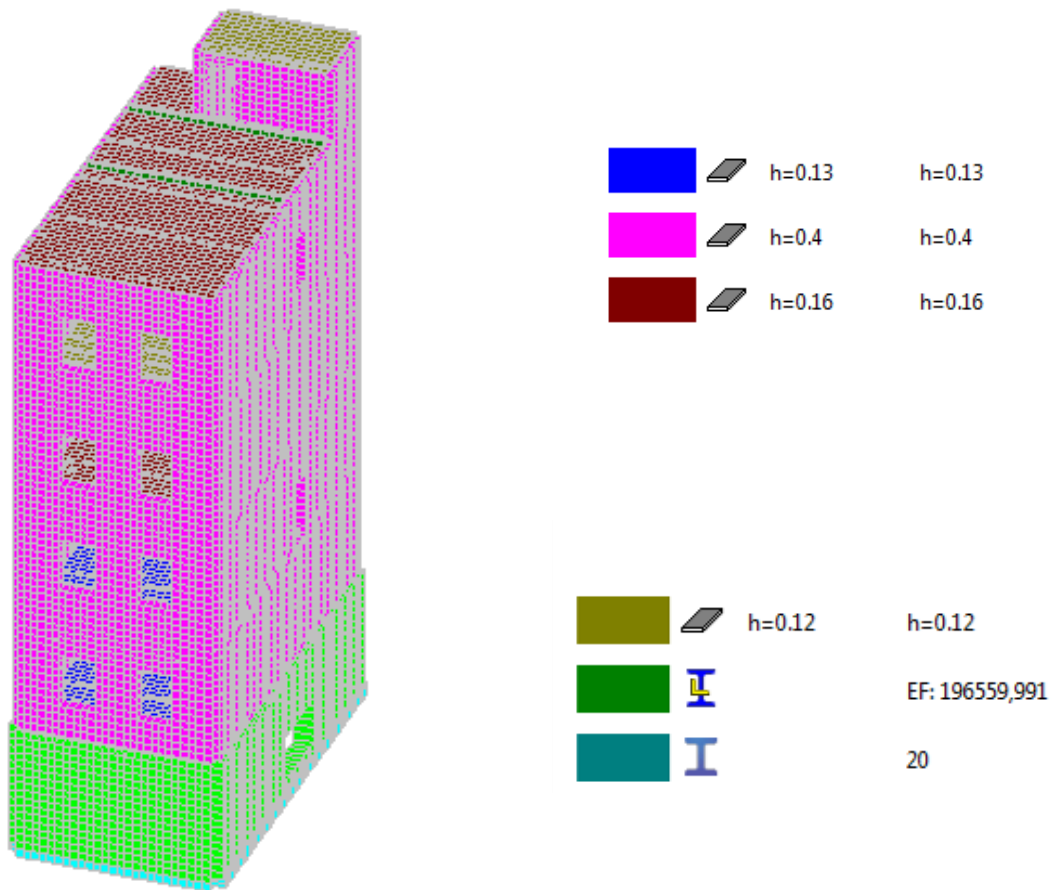


Рис.2. Жорсткості скінчених елементів моделі.
Fig.2. Stiffness of finite elements of the model.

ЗБІР СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для виконання модального аналізу будівлі були задіяні маси, від наступних навантажень:

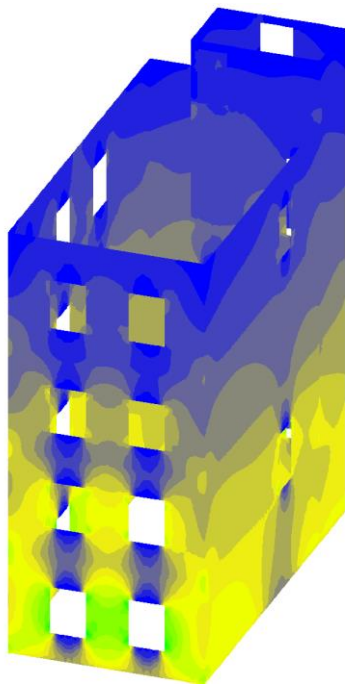
- власної ваги цегляної та бутової кладки стін товщиною 400 та 600 мм відповідно (790 кг/м^2 та 1400 кг/м^2);
- власна вага сталевібробетонних плит перекриттів та покриття товщиною від 120 до 160 мм (від 330 кг/м^2 до 440 кг/м^2);
- бетонні підоснови для розміщення технологічного обладнання (100 мм) та надбетонку над плитою покриття товщиною 80 мм (230 кг/м^2 та 220 кг/м^2);

- вага обладнання згідно технічних паспортів, наданих замовником. Розташування обладнання було уточнене за результатами обстеження.

Маси від снігового, вітрового та корисного навантаженні (персонал) при модальному аналізі не враховувалися.

СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

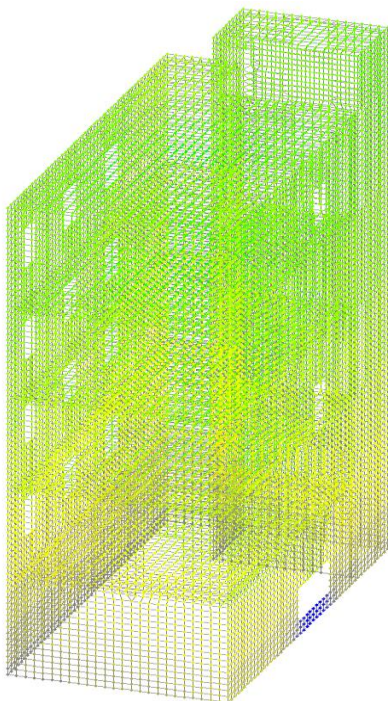
За результатом статичного розрахунку обчислені значення напружень в цегляних стінах будівлі (рис. 3), балках перекриття та покриття (1-а група граничних станів) та переміщення вузлів СЕМ (2-а група граничних станів)- див. рис. 4



Напруження σ_x (Па)			
-98.444	-92.057	-72.894	-66.506
-92.057	-85.669	-66.506	-60.118
-85.669	-79.281	-60.118	-53.73
-79.281	-72.894	-53.73	-47.343

-47.343	-40.955	-21.792	-15.404
-40.955	-34.567	-15.404	-9.016
-34.567	-28.179	-9.016	-2.628
-28.179	-21.792	-2.628	3.759

Рис.3. Розподіл напружень в цегляних стінах від сумарної дії статичних навантажень
Fig.3. Stress distribution in brick walls from the total action of static loads.



-21.906	-20.79	-17.44	-16.324
-20.79	-19.673	-16.324	-15.207
-19.673	-18.557	-15.207	-14.091
-18.557	-17.44	-14.091	-12.974

СП Z_{max} (мм)			
-30.838	-29.721	-26.372	-25.256
-29.721	-28.605	-25.256	-24.139
-28.605	-27.488	-24.139	-23.023
-27.488	-26.372	-23.023	-21.906

Рис. 4. Розрахункові значення вертикальних переміщень вузлів.
Fig.4. Estimated values of vertical displacements of nodes.

За результатами статичного розрахунку можна зробити висновок, що граничні значення напружень в цегляних стінах та сталевих балках перекриття не перевищують

нормативно допустимі (1 МПа для цегляної кладки з цегли марки М75 та розчину М25 та 235 МПа для сталі С245). Розрахункові переміщення теж перебувають в межах допустимих значень.

ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРУ ВЛАСНИХ
КОЛИВАНЬ ЧИСЕЛЬНОЇ
МОДЕЛІ СПОРУДИ

За результатами динамічного розрахунку споруди отриманий спектр із перших двадцяти форм власних коливань, див. табл. 1:

Табл. 1. Спектр із перших двадцяти форм власних коливань
Table 1. The spectrum of the first twenty forms of natural oscillations

Загружение	Номер формы	Соб- ственное значение	Частоты		Период, сек	Модальные массы (%)		
			рад/сек	Гц		X	Y	Z
Мода 1	1	0,248	4,04	0,643	1,555	68,432	0	0
Мода 1	2	0,155	6,449	1,026	0,974	0	67,443	0
Мода 1	3	0,066	15,176	2,415	0,414	0,022	0,033	0
Мода 1	4	0,052	19,158	3,049	0,328	0	0,017	98,481
Мода 1	5	0,043	23,442	3,731	0,268	20,2	0,368	0
Мода 1	6	0,037	27,064	4,307	0,232	0,334	25,838	0,046
Мода 1	7	0,024	42,327	6,737	0,148	1,046	0,016	0
Мода 1	8	0,023	44,385	7,064	0,142	3,1	0,037	0
Мода 1	9	0,022	46,133	7,342	0,136	0,053	0	0
Мода 1	10	0,019	52,13	8,297	0,121	0,549	0,048	0,017
Мода 1	11	0,019	53,372	8,494	0,118	0	0,081	0,047
Мода 1	12	0,018	54,928	8,742	0,114	0,021	0,781	0,223
Мода 1	13	0,017	57,658	9,177	0,109	0,839	0,019	0
Мода 1	14	0,017	58,362	9,289	0,108	0,043	1,97	0,069
Мода 1	15	0,017	59,447	9,461	0,106	0	0	0
Мода 1	16	0,016	62,204	9,9	0,101	0,536	0,112	0
Мода 1	17	0,015	66,545	10,591	0,094	0	0	0,061
Мода 1	18	0,015	67,836	10,796	0,093	0,334	0,088	0
Мода 1	19	0,014	69,132	11,003	0,091	0	0	0,074
Мода 1	20	0,014	69,841	11,116	0,09	0	0,146	0
Сумма модальных масс						100	100	100

Як видно з таблиці, по відсотку залучених мас, визначальними є 1, 2, 5 та 6 форми власних коливань (див. рис. 5...8). Частоти означених коливань складають 0,64;

1,03; 3,73; 4,31 Гц. Тобто частоти 5-ї та 6-ї форм за значеннями близькі до вимірених коливань будівлі сушарки при мінімальній динамічній дії обладнання. Отже, побудована скінчено-елементна модель споруди є

цілком вірогідною і може бути використана при чисельному дослідженні динамічних

параметрів.

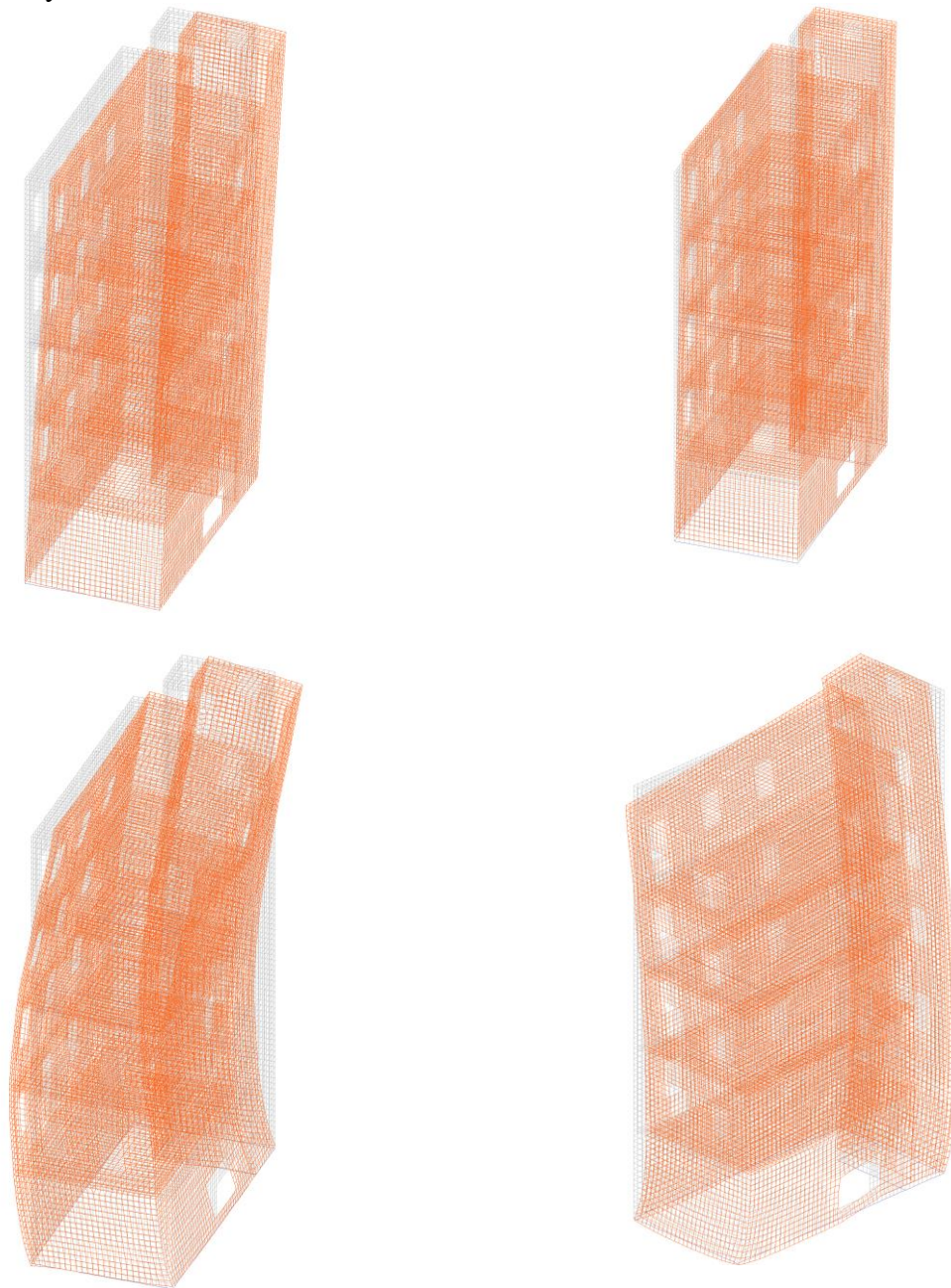


Рис.5. Перша, 2, 5 та 6 форми власних коливань будівлі.

Fig.5. The first, 2, 5 and 6 forms of natural oscillations of the building

Окрему увагу слід звернути на форми власних коливань №7, 19 та 20. Вони характерні проявом збурень в плиті перекриття на відм. + 11,260 та поперечній зовнішній стіні 4-го поверху по осі. Частоти означених форм коливань за величиною близькі до пікових значень, зафіксованих під час натурних вимірів при працюючому технологічному обладнанні.

Тобто на цих частотах можливий прояв явища резонансу для плити перекриття та стіни по осі А 4-го поверху.

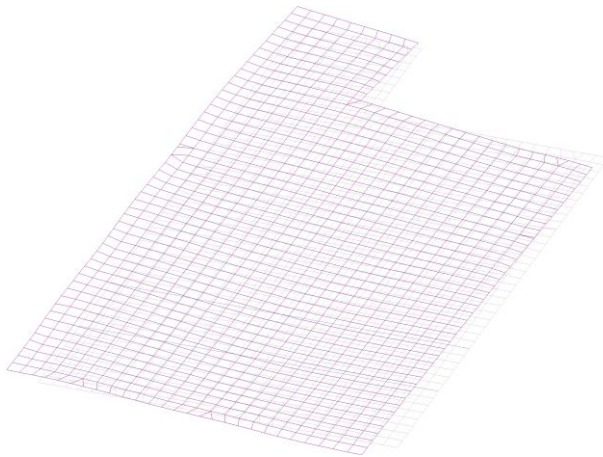


Рис.6. Коливання плити перекриття 7-а форма.
Fig.6. Oscillations of the floor slab 7th form.

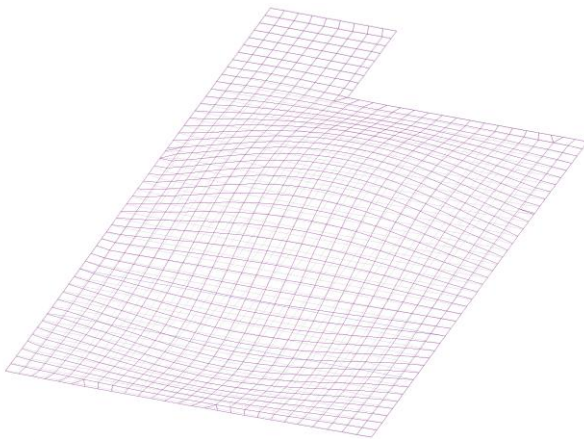


Рис.7. Коливання плити перекриття 19-а форма.
Fig.7. Oscillations of the floor slab 19th form

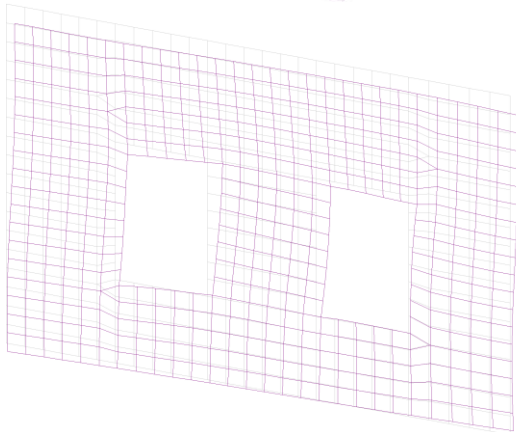


Рис.8. Коливання стіни 4-го поверху 20-а форма.
Fig.8. Oscillations of the wall of the 4th floor 20th form.

ВИСНОВКИ

1. За результатом статичного розрахунку несуча здатність основних конструктивних елементів будівлі (стін та балок перекриття) є забезпеченою від дії статичних навантажень.
2. Динамічний розрахунок споруди за розкладом на власні коливання виявив загрозу появи явища резонансу для плити

перекриття на відм. +11,260 та поперечної стіни 4-го поверху.

3. Згідно результатів інструментального обстеження технічного стану конструкцій відчутні коливання елементів споруди, що з'являються під час роботи норії №8, в якій є візуальні ознаки несправності редуктора та відсутні демпферні пристрої.
4. Зважаючи на зазначене вище, рекомендовано відновити нормальний експлуата-

ційний стан обладнання (редуктора норії № 8) та встановити антивібраційні прокладки під опорну конструкцію обкладання.

5. По результатам розрахунку, як видно з таблиці 1, по відсотку залучених мас, визначальними є 1, 2, 5 та 6 форми власних коливань (див. рис. 5....8). Тобто частоти 5-ї та 6-ї форм за значеннями близькі до натурно виміряних коливань будівлі сушарки при мінімальній динамічній дії обладнання.

6. Побудована скінчено-елементна модель споруди є цілком вірогідною і може бути використана при чисельному дослідженні динамічних параметрів та близько до натурних дослідень.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Межин В.С., Обухов В.В.** Практика применения модальных испытаний для целей верификации конечно-элементных моделей конструкции изделий ракетно-космической техники. *Космическая техника и технологии.* № 1.4. 2014. С. 86–91.
2. **Giampaolo Cicogna.** Symmetry and Perturbation Theory in Nonlinear Dynamics. *Giampaolo Cicogna, Giuseppe Gaeta. Berlin, Springer, 1999. P. 208.*
3. **Chong Zhen, Shakir Jiffri, Daochun Li, Jinwu Xiang, John E. Mottershead.** Feedback linearisation of nonlinear vibration problems: A new formulation by the method of receptances. *Vol.98.2018. P. 1056–1065.*
4. **ІАС-G18:04/2010.** Guideline for the formulation of Scopes of Accreditation for Laboratories. 2010. 13p.
5. **ДБН В.2.6-98:2009.** Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіон України, 2011. – 71 с.
6. **В. Колякова** (2020). Про вимоги щодо статей, які публікуються у збірнику наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика» // *Будівельні конструкції. Теорія і практика.* Зб. наук праць. - Київ: вип.6, 2020. - С. 114-118.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.114-118>
7. **Барашиков А. Я.** Напружено деформований стан бетонних плит при короткочасному двовісному стиску / А. Я. Барашиков, В. Д. Кріпак, В. М. Колякова. // *Збірник наукових праць Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне.-РДТУ. – 2003. – №20. – С. 112–115.*
8. **Журавський О.Д., Тимошук В.А.** Розрахункова модель плоских залізобетонних плит, підсилених зовнішньою напруженою арматурою. // *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Архітектура і сільськогосподарське будівництво. - 2018. - № 19. - С. 41-45*
9. **Сморкалов Д. В.** Дослідження прогинів плит, опертих по контуру // *Будівельні конструкції. Теорія і практика : зб. наук. праць - Київ : КНУБА, 2017. - Вип. 1. - С. 136-143.*
10. **ДСТУ Б В.3.1-2:2016.** Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. – К.: ДП «УкрНДНЦ» 2017. – 68 с.
11. **Скорук О.М., Чорний І.В., Татарченко Г.О.** Прогини тонких сталевібробетонних плит опертих по контуру. *Наукові вісті Давілівського університету № 12, 2017.*
12. **Скорук О.М.** Деформативність сталевібробетонних плит опертих по контуру при повторних навантаженнях. Підводні технології № 1, 2015.
13. **Pawelczyk M., Wrona S.** Wrona Impact of boundary conditions on shaping frequency response of a vibrating plate - modeling, optimization, and simulation. *Procedia Computer Science, V. 80. 2016. P. 1170–1179.*
14. **Скорук О.М.** Дослідження динамічного впливу від технологічного обладнання на роботу сталевібробетонних плит перекриття // *Будівельні конструкції. Теорія і практика : зб. наук. праць - Київ : КНУБА, 2020. - Вип. 7. - С. 121-128.*

REFERENCES

1. **Mezhin V.S., Obukhov V.V.** Practice of application of modal tests for the purposes of verification of finite-element models of construction of rocket and space technology products. *Space technology.* № 1.4. 2014. S. 86–91.
2. **Giampaolo Cicogna.** Symmetry and Perturbation Theory in Nonlinear Dynamics. *Giampaolo Cicogna, Giuseppe Gaeta. Berlin, Springer, 1999. P. 208.*
3. **Chong Zhen, Shakir Jiffri, Daochun Li, Jinwu Xiang, John E. Mottershead.** Feedback linearisation of nonlinear vibration problems: A new formulation by the method of receptances. *Vol.98.2018. P. 1056–1065.*

4. **ILAC-G18:04/2010.** Guideline for the formulation of Scopes of Accreditation for Laboratories. 2010. 13p.
5. **DBN V.2.6-98:2009.** Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia. – K.: Minrehion Ukrainy, 2011. – 71 s
6. **Koliakova V.M.** (2020) Pro vymohy shchodo statei, yaki publikuiutsia u zbirnyku naukovykh prats «Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka» // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka: zb. nauk. pr. Kyiv, KNUBA, 2020. Vyp. 6. S. 114-118.*
7. **Barashykov A. Ya.** Napruzhenno deformovanyi stan betonnykh plyt pry korotkochasnomu dvo-visnomu stysku / A. Ya. Barashykov, V. D. Kripak, V. M. Koliakova. // *Zbirnyk naukovykh prats Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Rivne.-RDTU. – 2003. – №20. – S. 112–115.*
8. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunkova model ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu armaturoiu. // *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ah-rarnoho universytetu. Serii: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. - 2018. - № 19. - S. 41-45*
9. **Smorkalov D. V.** Doslidzhennia prohyniv plyt, opertykh po konturu // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka : zb. nauk. prats - Kyiv : KNUBA, 2017. - Vyp. 1. - S. 136-143.*
10. **DBN B V.3.1-2:2016.** Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnykh konstruksii ta osnov budivel i sporud. – K.: DP «UkrNDNTs» 2017. – 68 s.
11. **Skoruk O.N., Chorny I.V., Tatarchenko G.O.** Deflections of thin reinforced concrete slabs supported along the contour. *Scientific news of Daliv University № 12, 2017.*
12. **Skoruk O.N.** Deformability of reinforced concrete slabs supported on the contour under repeated loads. *Underwater technologies № 1, 2015.*
13. **Pawelczyk M., Wrona S.** Wrona Impact of boundary conditions on shaping frequency response of a vibrating plate - modeling, optimization, and simulation. *Procedia Computer Science, V. 80. 2016. P. 1170–1179.*
14. **Skoruk O.N.** Research of dynamic influence from technological equipment on work of reinforced concrete slabs of overlapping // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka : zb.*

nauk. prats - Kyiv : KNUBA, 2020. - Vyp. 7. - S. 121-128.

INFLUENCE OF OPERATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ON THE STRESS-STRAIN STATE OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF A BRICK BUILDING WITH REINFORCED CONCRETE SLABS

Oleg SKORUK

Summary. In modern conditions, the operation of buildings, structures and their elements is impossible without taking into account the dynamic effects of different nature. In the production process there is always technological equipment that becomes a source of vibration, shock, etc.

This article presents frontal studies of the elements of load-bearing structures of reinforced concrete floors and brick walls of the finite element model of the existing industrial building.

The construction of the SEM brick industrial building was performed in the computer system on the basis of actual measurement drawings, taking into account the results of the instrumental survey of the building. Next, static loads were collected, which will create masses to perform a numerical study of free oscillations of the general system.

The next step was to statically calculate the CEM from the own weight of structures and the mass of the equipment on the walls and ceiling of the structure and determine the spectrum of natural oscillations of the numerical model of the structure and compare the obtained values of numerical research with field measurements.

As a dynamic criterion for assessing the condition of the load-bearing structures of the building were used values of natural frequencies of oscillations, their actual measurement on different floors of the existing building.

The obtained data will be used to assess the stress state of reinforced concrete slabs in real operating conditions..

Keywords. Fiber; fiber concrete structures; load-bearing capacity; deformations; finite element model.

Стаття надійшла до редакції 01.11.21