

# Дослідження динамічного впливу від технологічного обладнання на роботу сталевібробетонних плит перекриття

Олег Скорук

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

DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.121-128

**Анотація.** У даній статті наведені натурні експериментальні вимірювання параметрів руху елементів несучих конструкцій сталевібробетонних перекриттів будівлі в реальному часі з подальшою їх обробкою та визначенням динамічних і числових характеристик елементів перекриття та споруди в цілому для подальшого моделювання і розрахунку сталевібробетонних перекриттів існуючої промислової будівлі.

Проведення досліджень базується на підході, в основу якого покладена гіпотеза про розгляд систем складної структури, яка має динамічний вплив, як єдиної системи із відповідними їй динамічними характеристиками. В межах такого розгляду системи необхідно визначити і оцінити вплив різноманітного походження.

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

Дослідження були виконані шляхом визначення інтегральних динамічних параметрів з подальшим аналізом і встановленням причинно-наслідкових зв'язків. В ході дослідження використовувалися записи безперервної фіксації параметрів динамічної дії безпосередньо на несучих конструкціях. Отримані дані підлягали обробці за допомогою програмного забезпечення ZETLAB SEISMO за допомогою спектрального аналізу.

Отримані спектри були проаналізовані з метою визначення числових значень частот коливань, які відповідають основним пікам на спектрограмах та є наслідком відгуку конструкції на джерела динамічного впливу.

Отримані дані будуть використані для оцінки напруженого стану вібробетонних плит в реальних умовах експлуатації.



**Олег Скорук**  
асистент кафедри  
залізобетонних і кам'яних кон-  
струкцій

**Ключові слова.** Вібробетонна плита, динамічний вплив, несуча здатність, спектрограма, осцилограма

## ВСТУП

Робота конструкцій будівлі від дії динамічних навантажень має складний характер і як правило, супроводжується значущими навантаженнями що передаються на будівельні конструкції та викликає внесення змін у їх роботу у подальшому.

## МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення фактичного динамічного впливу технологічного обладнання влаштованого на сталевібробетонних перекриттях чотириповірхової промислової будівлі.

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведення досліджень базується на підході, в основу якого покладена гіпотеза про розгляд систем складної структури, яка має динамічний вплив, як єдиної системи із відповідними їй динамічними характеристиками. В межах такого розгляду системи необхідно визначити і оцінити вплив різноманітного походження.

Експериментальні дослідження виконувались в умовах експлуатації об'єкту. Для проведення робіт по вимірюванню та отриманню реальних значень коливань різних точок споруди використовувався сейсмограф ZET 048С технічні дані якого наведені у таблиці 1.

**Табл. 1.** Технічні характеристики акселерометра ZET 048С

**Table 1.** Technical characteristics of the accelerometer ZET 048С

Найменування	Параметри
Тип датчиків	диференціальні
Число вимірюваних координат	3 (X, Y, Z)
Параметр вимірювання	віброприскорення
Робочий діапазон, Гц	від 0,3 до 400
Чутливість	не більше $10^{-5}$ м/с <sup>2</sup>
Основна відносна похибка, %	не більше $\pm 10$
Робоча температура, °С	від -30 до +50

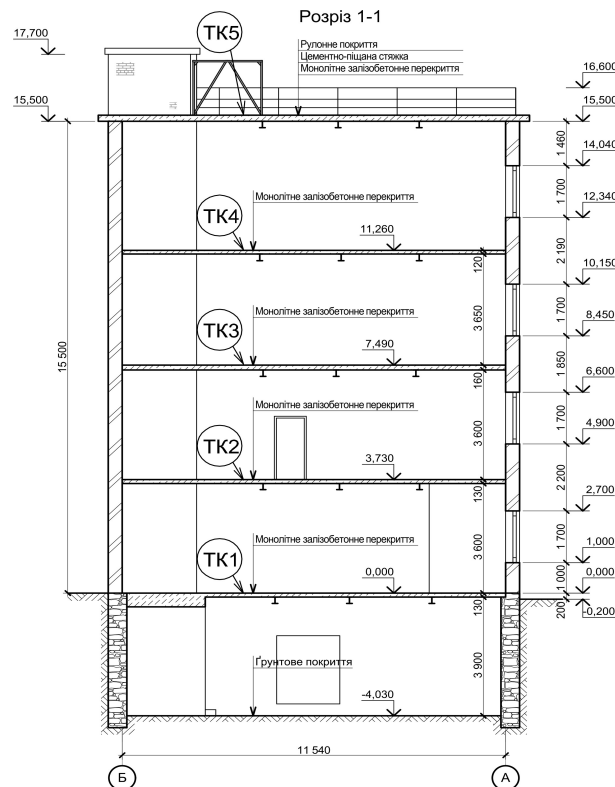
Виконання досліджень полягало у експериментальному вимірюванні параметрів руху елементів несучих конструкцій в реальному часі з подальшою їх обробкою та визначенням динамічних характеристик таких елементів та споруди в цілому. У якості динамічного критерію для оцінки стану несучих конструкцій були використані значення власних частот коливань. Для визначення динамічних параметрів чотири точки контролю, перелік яких наведений в таблиці 2. Місця розташування точок контролю наведені на рис. 1.

Визначення динамічних параметрів виконувалось в три етапи:

перший етап: вимірювання при мінімальних динамічних впливах технологічного походження (все технологічне обладнання у будівлі вимкнене);

другий етап: вимірювання в процесі роботи обладнання без технологічного навантаження;

третій етап: вимірювання в процесі роботи обладнання з технологічним навантаженням.



**Рис.1.** Схема розміщення точок контролю динамічних параметрів на об'єкті дослідження  
**Fig.1.** Layout of control points of dynamic parameters on the object of research

Перший і другий етапи виконувалися на перекритті третього поверху (ТК4), на якому сконцентрована максимальна кількість потенційних джерел динамічного впливу. Запуск обладнання виконувався згідно технологічної карти: елеватор ТР1; елеватор

ТР2; норія 8.2; норія 8.3; норія 8.0; сепаратор.

Третій етап дослідження виконувався в точках контролю ТК1–ТК5 при реалізації повного технологічного процесу.

**Табл. 2.** Розташування точок контролю статичного моніторингу

**Table 2.** Location of static monitoring control points

Точка контролю	Розташування точки контролю	Опис конструктивного елемента
ТК1	0,000	Перекриття 1 поверху
ТК2	+3,730	Перекриття 2 поверху
ТК3	+7,490	Перекриття 3 поверху
ТК4	+11,260	Перекриття 4 поверху
ТК5	+15,500	Покриття споруди

Дослідження були виконані шляхом визначення інтегральних динамічних параметрів з подальшим аналізом і встановленням причинно-наслідкових зв'язків. В ході дослідження використовувалися записи безперервної фіксації параметрів динамічної дії безпосередньо на несучих конструкціях. Отримані дані підлягали обробці за допомогою програмного забезпечення ZETLAB SEISMO за допомогою спектрального аналізу методом дискретного перетворення Фур'є.

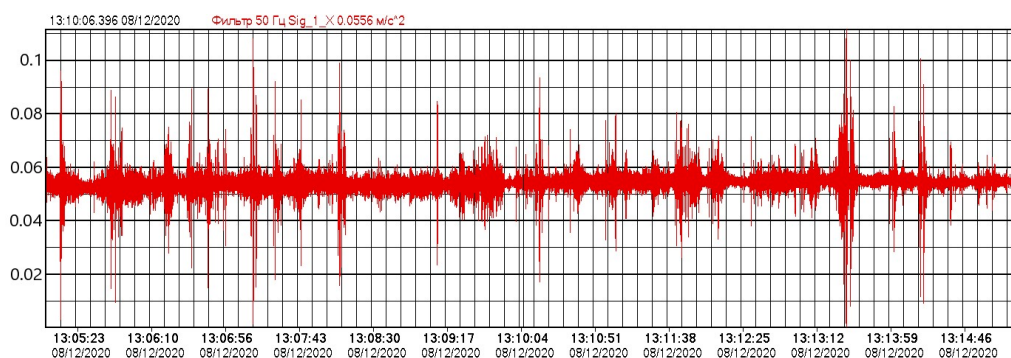
Отримані спектри були проаналізовані з метою визначення числових значень частот коливань, які відповідають основним пікам

на спектрограмах та є наслідком відгуку конструкції на джерела динамічного впливу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ

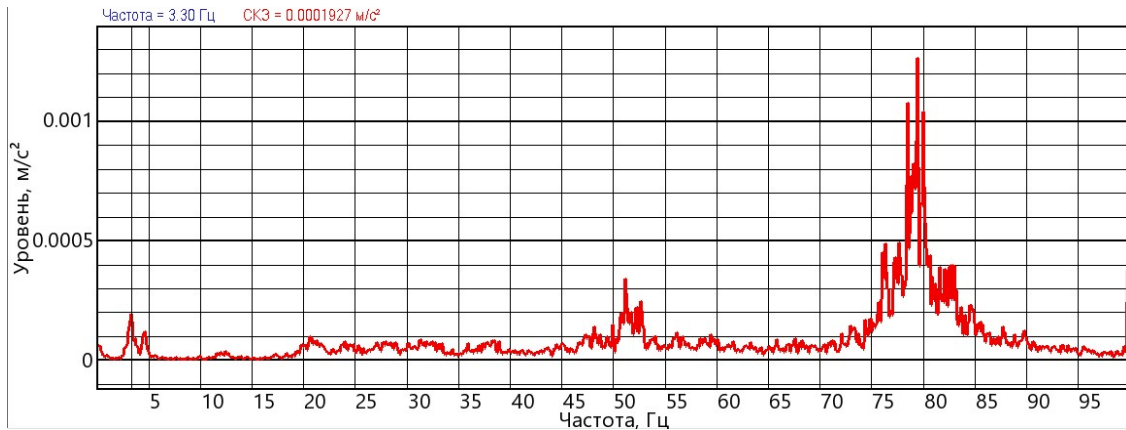
Реєстрація і результати обробки вимірювань динамічних характеристик споруди в стані мінімального динамічного впливу.

Реєстрація і результати обробки вимірювань динамічних характеристик споруди при роботі технологічного обладнання без навантаження.



**Рис. 2.** Осцилограми записів, точка контролю ТК4

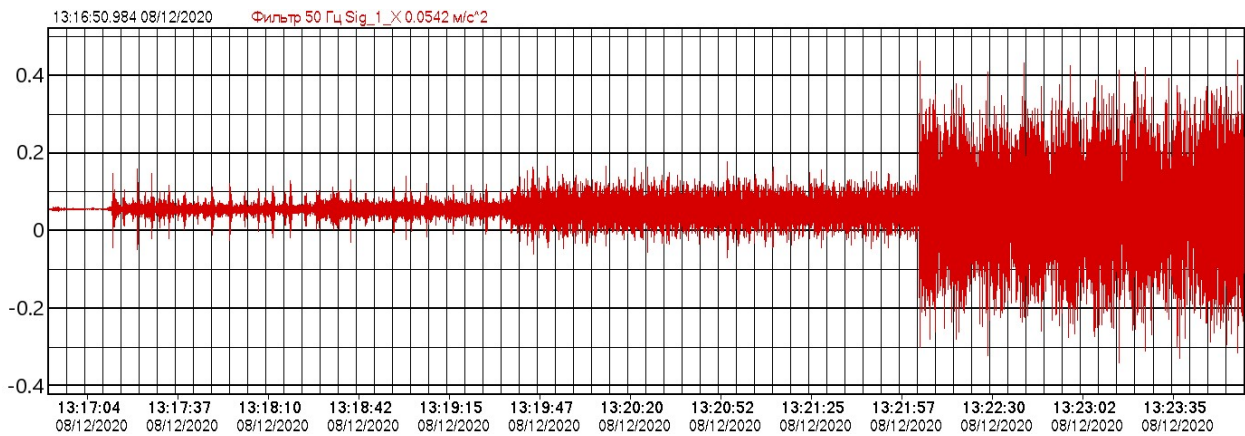
**Fig.2.** Oscillograms of records, control point TK4



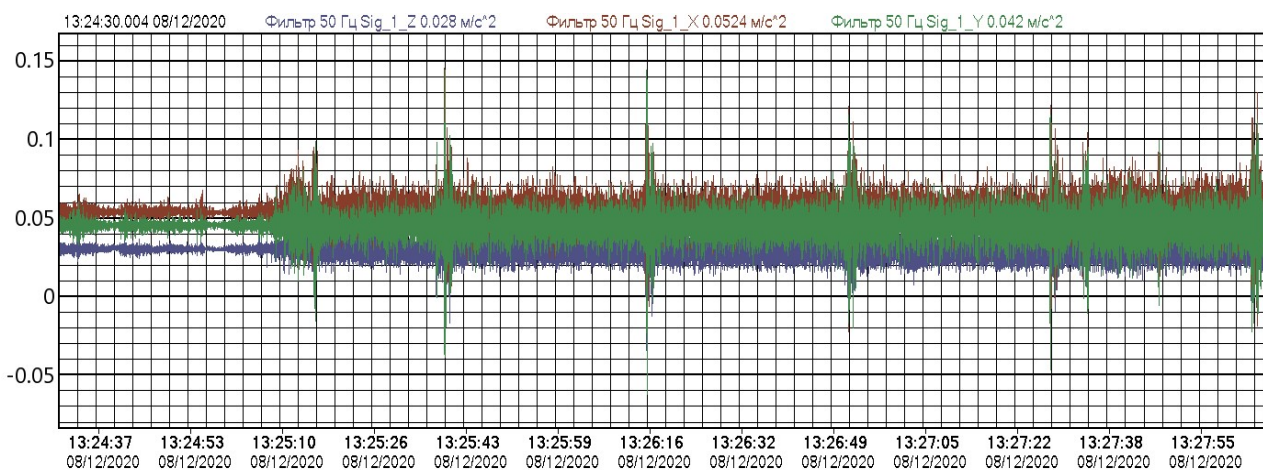
**Рис. 3.** Спектрограма записів, точка контролю ТК4  
**Fig. 3.** Spectrogram of records, control point TK4

Отримані осцилограми послідовного запуску технологічного обладнання (елеватор

ТР1; елеватор ТР2; норія 8.2; норія 8.3; норія 8.0) проілюстровані на рис 4–5.



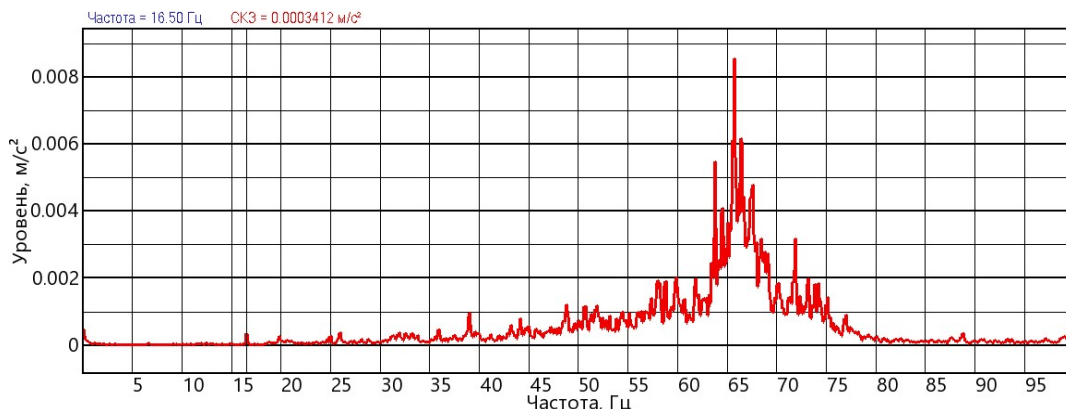
**Рис. 4.** Осцилограми записів, точка контролю ТК4 при запуску технологічного обладнання  
**Fig. 4.** Oscillograms of records, control point TK4 when starting process equipment



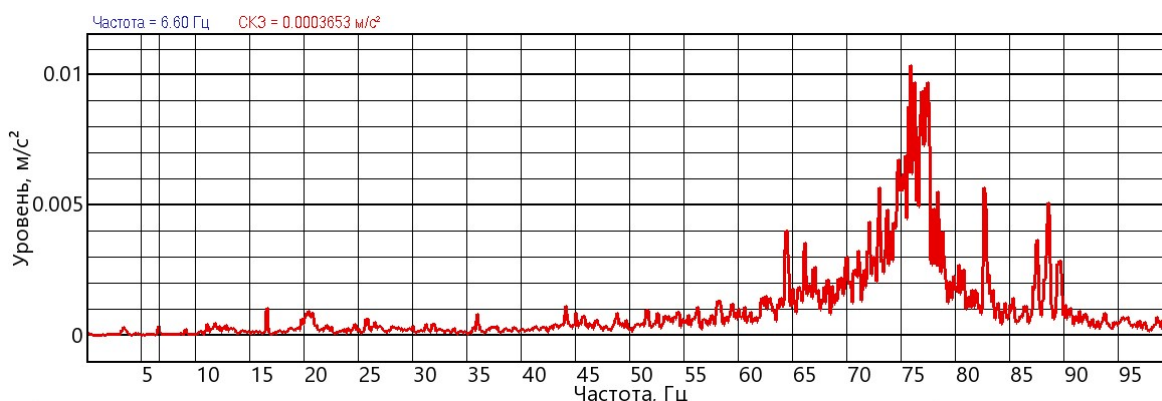
**Рис. 5.** Осцилограми записів X Y Z, для ТК4 при запуску технологічного обладнання  
**Fig. 5.** Oscillograms of records X Y Z, control point TK4 when starting process equipment

Реєстрація і результати обробки вимірювань динамічних характеристик споруди в штатному режимі роботи технологічного обладнання.

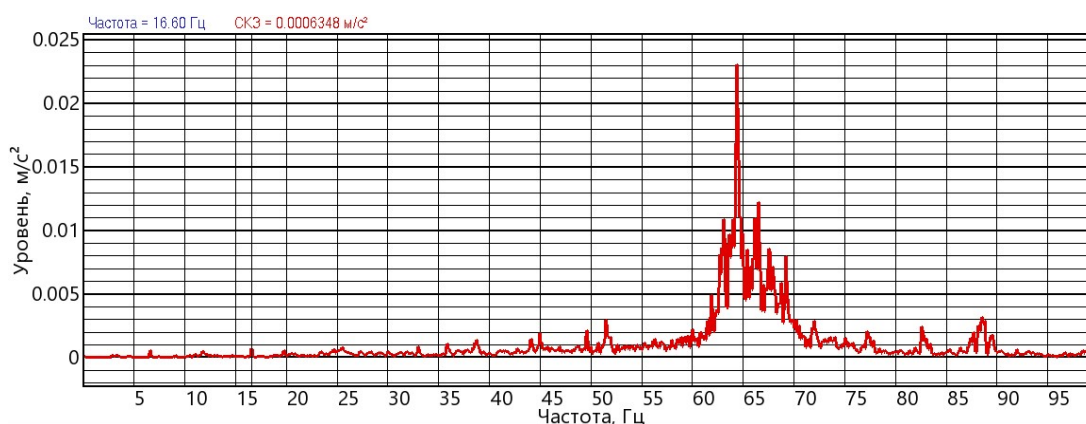
Результати обробки осцилограм при роботі обладнання з повним навантаженням ТК1 наведені на рис. 6–10.



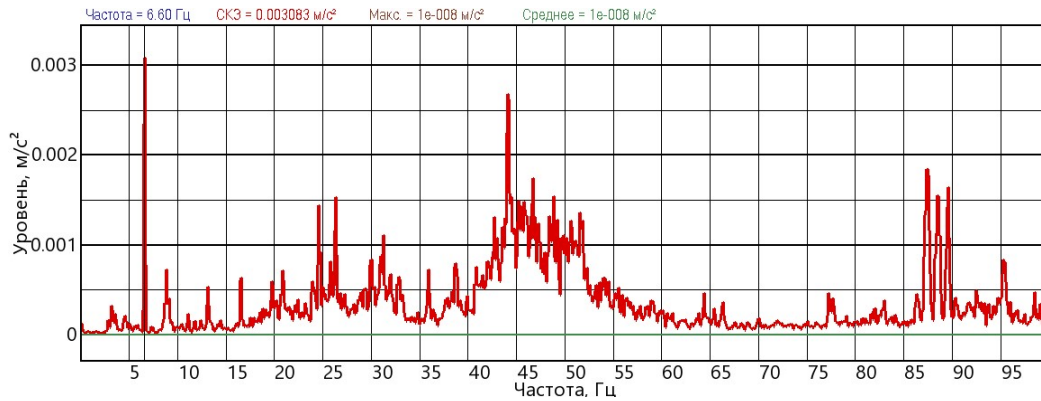
**Рис. 6.** Спектрограма записів, точка контролю ТК1  
**Fig. 6.** Spectrogram of records, control point TK1



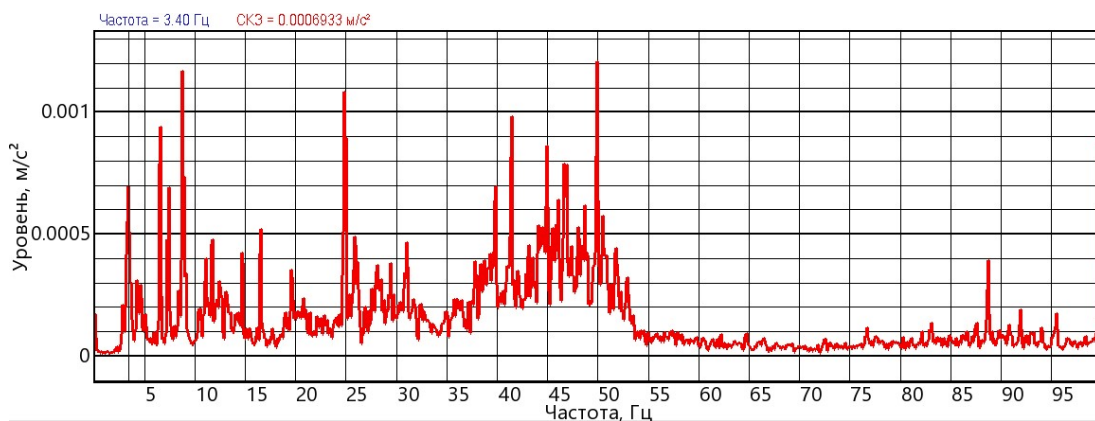
**Рис. 7.** Спектрограма записів, точка контролю ТК2  
**Fig. 7.** Spectrogram of records, control point TK2



**Рис. 8.** Спектрограма записів, точка контролю ТК3  
**Fig. 8.** Spectrogram of records, control point TK3



**Рис. 9.** Спектрограма записів, точка контролю ТК4  
**Fig. 9.** Spectrogram of records, control point TK4



**Рис. 10.** Спектрограма записів, точка контролю ТК5  
**Fig. 10.** Spectrogram of records, control point TK5

## ВИСНОВКИ

1. Отримані фактичні дані від роботи технологічного обладнання, що передаються на існуючі сталефібробетонні перекриття промислової будівлі. Отримано дані для розрахунку конструкцій в реальному часі при роботі, у різних режимах та у стані спокою споруди, що будуть використанні для оцінки напружено-деформованого стану фібробетонних плит в реальних умовах експлуатації.

2. Визначені основні гармоніки частот коливань будівлі при мінімальній динамічній дії, числові значення яких складають 3.30Гц у напрямку X та 4.60Гц у напрямку Y. Також виявлені складові більш високих частот в діапазоні 75–85Гц, що свідчить про наявність динамічного впливу на буді-

влю зовнішнього характеру (технологічне обладнання в сусідніх будівлях та на прилеглий території).

3. При послідовному запуску згідно технологічної карти, встановлений динамічний вплив обладнання на будівлю, яке безпосередньо в ній розташоване. Так при роботі елеваторів TP1, TP2 та норій 8.2, 8.3 на будівлю передаються коливання з частотами 8.80, 11.10, 31.00 та 46.60Гц; при роботі норії 8.0 реалізується частота 6.60Гц, а при роботі сепаратора 10.70 та 16.50Гц.

4. При роботі обладнання з технологічним навантаженням (штатний режим) на основних гармоніках зафіксоване підвищення вібраційної дії на перекриття третього поверху, що є очевидним за рахунок збільшення інерційної складової динамічної системи. При цьому рівень в діапазоні вищих частот змістився в зону 40–60Гц, що

обумовлено рухом технологічного навантаження.

5. На спектрограмах точок контролю на інших перекриттях поверхів наявні піки з відповідними частотами, що відповідають робочому обладнанню. Зокрема наявні 6.50 і 16.60 Гц є домінуючими, що свідчить про безпосереднє передавання вібраційної дії від сепаратора (16.60 Гц) та норії 8.0 (6.50 Гц) на елементи несучих конструкцій.

6. Спектрограма коливань на покритті будівлі (ТК5) носить аналогічний характер, при цьому рівень динамічної дії менший в 3-4 рази порівняно з перекриттям третього поверху (ТК4), що свідчить про відсутність резонансних явищ в конструкції.

## 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. **Назаренко І.І.** Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії. *Навчальний посібник.* К.: КНУБА, 2007. 230с.
3. **Повідайло В.О.** Вібраційні процеси та обладнання. *Львів: Львівська політехніка, 2004. 248с.*
4. **Ярошевич М. П., Ярошевич Т. С.** Динаміка розбігу вібраційних машин з дебалансним приводом: монографія. *Луц. нац. техн. ун-т. Луцьк: РВВ ЛНТУ. 2010. 219 с.*
5. **Giampaolo Cicogna.** Symmetry and Perturbation Theory in Nonlinear Dynamics. *Giampaolo Cicogna, Giuseppe Gaeta. Berlin, Springer, 1999. P. 208.*
6. **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.*
7. **ІЛАС-G18:04/2010.** Guideline for the formulation of Scopes of Accreditation for Laboratories. 2010. 13p.
8. **ДБН В.2.6-98:2009.** Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Міністерство України, 2011. – 71 с.
9. **Колякова В.М.** Про вимоги щодо статей, які публікуються у збірнику наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика»

// *Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2020. Вип. 6. С. 114-118.*

10. **Журавський О.Д., Тимошук В.А.** Розрахункова модель плоских залізобетонних плит, підсиленних зовнішньою напруженою арматурою. // *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Архітектура і сільськогосподарське будівництво.* - 2018. - № 19. - С. 41-45
11. **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.*
12. **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.
13. **Скорук О.М., Чорний І.В., Татарченко Г.О.** Прогини тонких сталевібробетонних плит опертих по контуру. *Наукові вісті Давілівського університету № 12, 2017.*
14. **Скорук О.М.** Деформативність сталевібробетонних плит опертих по контуру при повторних навантаженнях. *Підводні технології № 1, 2015.*
15. **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.*

## 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. **Nazarenko I.I.** Vibration machines and processes of the construction industry. *Tutorial.* K.: KNUBA, 2007. 230p.
3. **Povidaylo V.O.** Vibration processes and equipment. *Lviv: Lviv Polytechnic, 2004. 248p.*
4. **Yaroshevich M.P., Yaroshevich T.S.** Dynamics of the start of vibrating machines with de-balancing drive: a monograph. *Lutz. nat. tech. un-t. Lutsk: RVV LNTU. 2010. 219 p.*
5. **Giampaolo Cicogna.** Symmetry and Perturbation Theory in Nonlinear Dynamics. *Giampaolo Cicogna, Giuseppe Gaeta. Berlin, Springer, 1999. P. 208.*
6. **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.*
7. **ILAC-G18:04/2010.** Guideline for the formulation of Scopes of Accreditation for Laboratories. 2010. 13p.
  8. **DBN V.2.6-98:2009.** Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia. – K.: *Minrehion Ukrainy, 2011. – 71 s*
  9. **Koliakova V.M.** 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.*
  10. **Zhuravskiy O.D., Tymoshchuk V.A.** Rozrakhunkova model ploskykh zalizobetonnykh plyt, pidsylenykh zovnishnoiu napruzhenoiu armaturoiu. // *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ah-rarnoho universytetu. Seriya: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. - 2018. - № 19. - S. 41-45*
  11. **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.*
  12. **DBN B V.3.1-2:2016.** Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhvalnykh budivelnnykh konstruksii ta osnov budivel i sporud. – K.: *DP «UkrNDNTs» 2017. – 68 s.*
  13. **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.*
  14. **Skoruk O.N.** Deformability of reinforced concrete slabs supported on the contour under repeated loads. *Underwater technologies № 1, 2015.*
  15. **Pawelczyk M., Wrona S.** WronaImpact of boundary conditions on shaping frequency response of a vibrating plate - modeling, optimization, and simulation. *Procedia Computer Science, V. 80. 2016. P. 1170–1179.*

### **Research of dynamic influence from technological equipment on work of reinforced concrete slabs of overlapping**

*Oleg Skoruk*

**Summary.** This article presents full-scale experimental measurements of the parameters of the elements of the load-bearing structures of the building in real time with their subsequent processing and determination of the dynamic charac-

teristics of such elements and the structure as a whole for further modeling and calculation of building elements.

The research is based on an approach based on the hypothesis of considering systems of complex structure, which has a dynamic impact, as a single system with corresponding dynamic characteristics. Within the framework of such a review of the system, it is necessary to identify and assess the impact of various origins.

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

The research was performed by determining the integral dynamic parameters with subsequent analysis and establishment of causal relationships. In the course of the research, records of continuous fixation of dynamic action parameters were used directly on load-bearing structures. The obtained data were processed using ZETLAB SEISMO software using spectral analysis.

The obtained spectra were analyzed in order to determine the numerical values of the oscillation frequencies, which correspond to the main peaks on the spectrograms and are a consequence of the design response to the sources of dynamic influence.

The obtained data will be used to assess the stress state of fiber concrete slabs.

**Keywords.** Fiber concrete slab, dynamic impact, non-shrinking ability, spectrogram, oscillogram