

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ СУПРОВІД БУДІВНИЦТВА ТРЬОХСЕКЦІЙНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ У ВИСОКОСЕЙСМІЧНІЙ ЗОНІ

Мар'єнков М.Г., Богдан Д.В., Панчик О.В.

ДП "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій"
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: В даній статті приведений огляд науково-технічного супроводу будівництва висотного трьохсекційного будинку у високосейсмічній зоні. Виконані натурні вібродинамічні обстеження та розрахунок комп'ютерної моделі. Запропоновані рекомендації щодо забезпечення сейсмостійкості будівлі під час землетрусів 7 та 8 балів.

АННОТАЦИЯ: В данной статье приведен обзор научно-технического сопровождения строительства высотного трехсекционного здания в высокосейсмической зоне. Выполнены натурные вибродинамические обследования, а также расчет компьютерной модели. Предложены рекомендации по обеспечению сейсмостойкости здания во время землетрясений 7 и 8 баллов.

ABSTRACT: This article provides an overview of the scientific and technical support for the construction of three-section high-rise building in the high seismic zone. Vibrodynamic full-scale survey and computer simulation are carried out. Recommendations to ensure the seismic resistance of buildings during earthquakes 7 and 8 points are given.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сейсмостійкість, динамічні впливи, горизонтальні переміщення, частота та період коливань, амплітудний спектр.

ВСТУП

Для висотних будівель чи споруд, які будуються в сейсмічно-небезпечних районах, виникає необхідність виконання науково-технічного супроводу проектування та будівництва, що включає в себе обґрунтування

прийнятних навантажень та впливів, проведення натурних випробувань елементів, створення та встановлення демпфіруючих пристроїв, а також конструктивні заходи для підвищення несучої здатності будівлі.

Об'єктом досліджень є багатоповерховий трьохсекційний будинок в м. Одеса.

Несучими конструкціями секцій є безригельний каркас із залізобетонними діафрагмами та ядрами жорсткості. Перекриття виконано з монолітного залізобетону. Клас відповідальності будинку СС3, тому за п.5.1.1 [1] необхідно застосовувати карту ЗСР-2004-С. За Додатком А [1] розрахункову сейсмічність майданчиків будівництва будинків № 1 та № 3 необхідно приймати 8 балів.

Мета роботи полягає в оцінці сейсмостійкості конструкцій будівлі при сейсмічних впливах 8 балів з урахуванням вимог ДБН В.1.1-12:2014 [1] і ДБН В.1.2.-5:2007 [2].

Реалізація поставленої мети була досягнута вирішенням таких завдань:

- оцінка відповідності конструктивного рішення нормативним документам;

- оцінка відповідності навантажень нормативним документам;

- виконання віброметричних досліджень будівель;

- чисельні дослідження просторових моделей будівлі при основних і особливих (сейсмічних) впливах інтенсивністю 8 балів.

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Комплекс, що запроектовано, складається з трьох житлових будинків підвищеної поверховості баштового типу («трилисник» у плані) з великим набором квартир і пентхаусами на верхніх поверхах і одно-двоповерхових вбудовано-прибудованих установ соціальної інфраструктури і офісних приміщень.

Поверховість блок-секцій житлових будинків запроектована з перепадами від 15 до 22 поверхів, з урахуванням забезпечення нормативних розривів до існуючих житлових будинків.

Під усіма блок - секціями будівель № 1 і №3 є підвальні приміщення з висотою 4,2 м. Блок - секції кожного будинку розділені між собою деформаційними швами по всій висоті будівель з урахуванням конструкцій фундаментів.

Фактична конструктивна схема блок - секцій будівель №1 і №3 - монолітний залізобетонний безригельний каркас із залізобетонними діафрагмами і ядрами жорсткості.

Просторова жорсткість забезпечується спільною роботою монолітних залізобетонних колон, вертикальних діафрагм жорсткості, пілонів і монолітних залізобетонних перекриттів.

Фундаменти - монолітні залізобетонні плитні блоки товщиною 1350 мм та 1700 мм на пальовій основі. По верху ростверків в якості підлоги паркінгу використана армована монолітна залізобетонна плита товщиною 300 мм.

Колони - збірні залізобетонні з важкого бетону класу В25 (С20/25), висотою на три поверхи з горизонтальними прорізами для пропуску арматури в місцях монолітних перекриттів.

В підвальних приміщеннях блок - секцій будівель №1 і №3 поперечні перерізи середніх колон складають 600х600 мм, крайніх колон 600х400 мм. В рівні 3-го поверху блок - секцій будівель відбувається зменшення поперечних перерізів колон крайніх рядів з 600х400 мм до 400х400 мм. Поперечні перерізи крайніх колон на наступних поверхах блок - секцій будівель не змінюються і складають 400х400 мм. Починаючи з 5-го поверху блок - секцій будівель, поперечні перерізи середніх колон складають 600х400 мм. Зменшення поперечного перерізу колон середніх рядів з 600х400 мм до 400х400 мм відбувається в рівні 12 поверху і на наступних поверхах мають постійний поперечний переріз 400х400 мм.

Перекриття - монолітні залізобетонні, товщиною 220 мм, бетон важкий класу В25 (С20/25). Сходи - з монолітного залізобетону.

Діафрагми і ядра жорсткості. Монолітні, залізобетонні постійної товщини, на всю висоту блок - секцій будівель. Товщина діафрагм і ядер жорсткості - 400 мм. Діафрагми мають в плані «Г» і «П» - образний перетин з пристроєм дверних прорізів у кутах діафрагм. У плані діафрагми розташовуються симетрично відносно головних осей блок - секцій і знаходяться в кутах і середині торців секцій. Ядра жорсткості виконані у вигляді ліфтових і технологічних шахт, в плані мають замкнутий коробчастий перетин з пристроєм дверних та технологічних прорізів.

Стіни підвалу - зі збірних залізобетонних блоків з монолітними залізобетонними шпонками.

Поверхові зовнішні стіни - полегшені, з пінобетонних блоків товщиною 400 мм; міжквартирні - 200 мм. Перегородки - цегляні товщиною 120 мм.

ОПИС РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ

На підставі наданих матеріалів [3, 4] була розроблена тривимірна комп'ютерна модель «Блоку 3-Б» (рис. 1). Розрахунки комп'ютерної моделі виконані за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-САПР» [5], який є комп'ютерною системою для структурного аналізу і проектування.

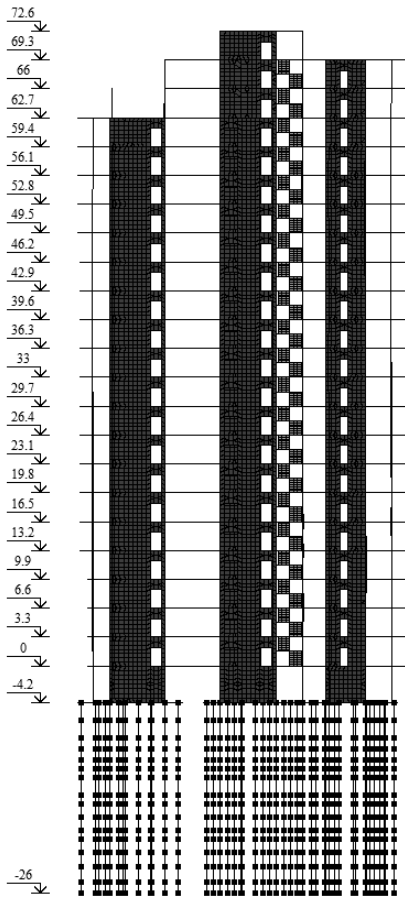


Рис. 1. Комп'ютерна модель блоку 3-А

Розрахункова модель складається з 23-х наземних поверхів, підвального поверху і поверхів з технічними приміщеннями. Існуюча залізобетонна підлога паркінгу товщиною 30 см, яка влаштована поверху блочних ростверків, моделюється за допомогою об'єднання переміщень ростверків у горизонтальній площині. Динамічні розрахунки виконані відповідно до вимог ДБН В.1.1-12:2014 [1].

Розрахункова схема, відображує конструктивне рішення розглянутої будівлі і включає стрижневі й пластинчасті (оболонкові) скінченні елементи, а також спеціальний елемент, що моделює пружний зв'язок з ґрунтом.

НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ

Всі навантаження прикладаються до розрахункової моделі будівлі у вигляді 10-ти завантажень. Параметри навантажень в завантаженнях 1-4 представлені Замовником у наданому Технічному завданні. Розрахунки снігового, вітрового і сейсмічного навантажень представлені нижче.

Снігове навантаження.

Розрахунок снігового навантаження по ДБН В.1.2-2: 2006 – Навантаження і впливи [6].

Характеристичне значення снігового навантаження для 2 району - 100 кг/м^2 (рис. 8.1).

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C = 1,14 \cdot 100 \cdot 1 = 114 \text{ кг/м}^2$$

Експлуатаційне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою

$$W_e = \gamma_{fe} W_0 C$$

$$W_e = 0,21 \times 46 \times 1,4 C_h = 13,52 C_h.$$

Граничне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C$$

$$W_m = 1,14 \times 46 \times 1,4 C_h = 73,42 C_h$$

C_h - залежить від висоти споруди і типу місцевості.

Сейсмічні навантаження визначалися відповідно до вимог ДБН В.1.1-12:2014 [1].

Розрахункова сейсмічність майданчика будівництва прийнята рівною 8 балів.

Відповідно до спектрального методу розрахункові сейсмічні навантаження S_{ikv} к-ої точки будівлі за прийнятим напрямком сейсмічного впливу і і-му тону власних коливань визначалися за формулою

$$S_{ki} = k_1 k_2 k_3 S_{0ki}, \quad S_{0ki} = Q_k a_0 k_{gp} \beta_i \eta_{ki}$$

При виконанні розрахунку маси формуються автоматично з вертикальних навантажень з урахуванням коефіцієнтів:

0,9 - для постійних навантажень;

0,8 - для тимчасових тривалих;

0,5 - для короткочасних.

Сейсмічні навантаження прикладаються до будівлі по напрямку осей X та Y.

Розрахункові сполучення зусиль призначені для розрахунку армування, складені з урахуванням діючих ДБН. Клас наслідків (відповідаль-

ності) будівлі СС3. Коефіцієнт надійності по відповідальності (конструкції категорії А) - 1.25 / 1.05.

Частка тривалості навантажень визначена як відношення квазіпослідовної її частини до характеристичного значення.

Для визначення навантажень на конструктивні елементи складені розрахункові сполучення навантажень, куди увійшли як статичні, так і динамічні завантаження.

РЕЗУЛЬТАТИ ВІБРОДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Вібродинамічні обстеження будівель №1 та №3 по Фонтанській дорозі 118а були проведені в денний час у лютому 2016 р. Динамічні обстеження вказаних будинків здійснювались відповідно до положень розробленої методики з використанням програмного комплексу "Сейсмоніторинг" [8]. Результати вібродинамічних обстежень включають графіки віброприскорень та їх амплітудні спектри. Динамічний вплив на будинки фіксувався безпосередньо при візуальній оцінці наявності автотранспорту на проїзній частині, робочий стан будівельної техніки та обладнання.

Максимальний амплітудний спектр віброприскорень представлено на рис. 2.

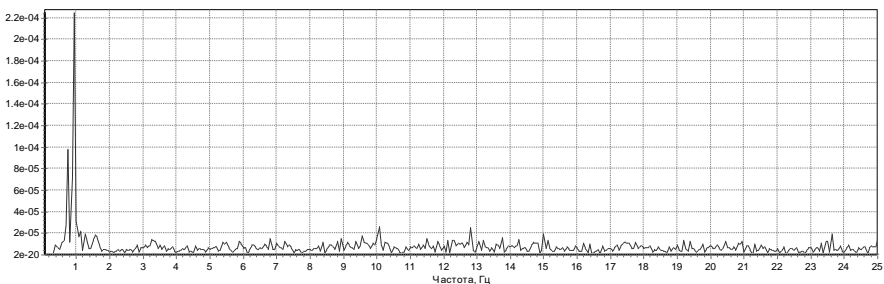


Рис. 2. Максимальний амплітудний спектр горизонтальних віброприскорень секції А будинку №1 в рівні перекриття 14-го поверху при мікросейсмічному фоні та вітрових впливах

За результатами проведених динамічних досліджень конструкцій будівель при вітрових навантаженнях, впливі автотранспорту, роботи будівельної техніки та руху трамваю, можна зробити наступні висновки:

1. Максимальні зареєстровані частоти власних коливань секції А будинку №3 - $f = 0,75 \text{ Гц}$;

2. Максимальні амплітуди горизонтальних віброприскорень секції А будинку №3 - $a = 4,3 \text{ мм/с}^2$.

Отримані фактичні динамічні характеристики необхідно враховувати при виконанні верифікації просторових комп'ютерних моделей блоків будівель.

МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

При проектуванні будівель у сейсмічних районах повинні бути враховані вимоги, викладені в ДБН [1].

Зокрема, для визначення зусиль в несучих елементах конструкцій слід враховувати таку кількість форм власних коливань споруди, при якому сума модальних мас становити не менше 85% при горизонтальних впливах і не менше 75% при вертикальних навантаженнях.

Жорсткість будівлі повинна бути такою, щоб перекося поверхів від сейсмічних впливів не перевищували допустимих значень.

Розрахунки динамічної моделі будівлі виконані у відповідності з вимогами ДБН [1]. Результати розрахунків наведені в табл. 1, а форми перших трьох власних коливань – на рис. 3. Перша і друга форми є поступальними, а третя – крутильна щодо вертикальної осі.

Таблиця 1

Розрахункові динамічні характеристики блоку 3А

№ форм коливань	Частота, Гц	Період, с	Σ мод. мас, %, в завантаженнях	
			8	9
1	0.28	3.59	1.05	60.03
2	0.35	2.87	62.79	61.11
3	0.58	1.73	62.80	61.11
4	1.44	0.69	62.81	76.29
5	1.73	0.58	78.04	76.30
6	2.06	0.49	78.14	76.59
7	2.97	0.34	78.14	76.60
8	3.30	0.30	78.18	76.69
9	3.33	0.30	78.21	83.51
10	3.44	0.29	78.22	83.88

Розрахунки на сейсмічні впливи виконувались при врахуванні 33 форм власних коливань, так як більш вищі форми не вносять вкладу в збільшення суми модальних мас.

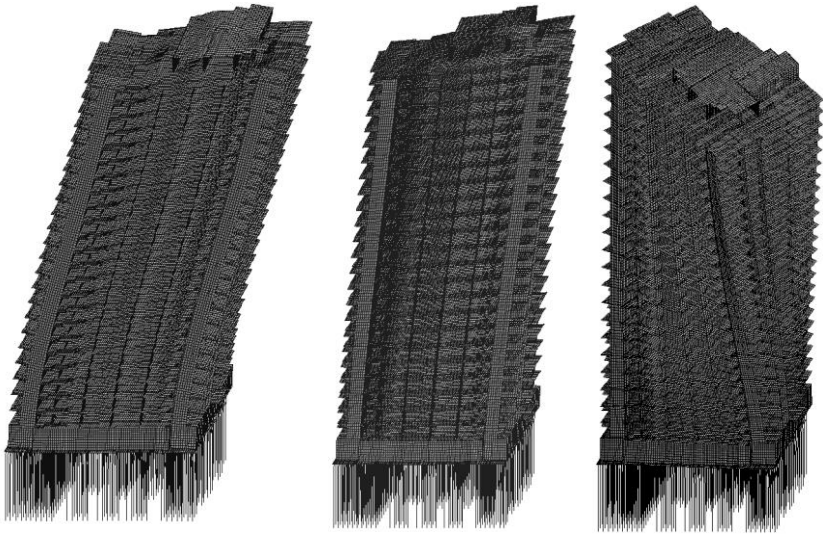


Рис. 3. Перші три форми власних коливань блоку А

З метою зниження амплітуд горизонтальних коливань секції та зусиль в колонах та діафрагмах були виконані також варіантні розрахунки динамічної моделі секції 3-А при наявності трьох гумових демпферів, розташованих в рівні перекриття 5-го, 11-го та 16-го поверхів. Демпфери були встановлені в розрахунковій моделі вздовж антисейсмічних швів між секцією 3-А та секціями 3-Б і 3-В. Жорсткість на стиск демпферів 3800 кН/м.

В табл. 2 наведено порівняння зусиль та моментів що виникають в несучих колонах першого поверху перерізом 600x600 мм при розрахунках секції 3-А без демпферів та при їх наявності. Отримані значення підтверджують, що при жорсткості на стиск демпферів 3800 кН/м зниження поздовжніх зусиль у колонах при сейсмічних впливах за напрямком осі Y досягає більше 10 %.

Порівняння значень моментів у колонах показало, що зниження досягає більше 50%, що призводить до зменшення ексцентриситету позацентрово стиснутих колон та к збільшенню їх несучої здатності.

Порівняння значень поперечних сил у колонах (табл. 2) також показало, що зниження досягає більше 60%.

Отримані дані досліджень дозволяють рекомендувати встановити демпфери жорсткістю на стиск не менше 3800 кН/м у рівні перекриттів 5-го, 11-го та 16-го поверхів, з метою забезпечення сейсмостійкості конструкцій будинку № 3 та виключення руйнувань верхніх поверхів при землетрусах інтенсивністю 7 або 8 балів.

Таблиця 2

Значення зусиль та моментів в колонах першого поверху
перерізом 600х600 мм

№ СЕ	Без демпферів			При наявності демпферів		
	N (кН)	M _y (кН*м)	Q _y (кН)	N (кН)	M _y (кН*м)	Q _y (кН)
13759	-609.99	-18.48	-156.89	-144.39	-35.75	-41.91
13921	-1674.72	-68.76	20.71	-817.68	-36.50	5.06
13924	-613.15	16.31	-15.97	-614.26	-47.20	10.20
13932	-380.43	53.05	-84.48	-328.25	-25.89	-12.87
13933	-1273.19	171.67	-70.73	-366.63	-6.86	-14.31
13934	-1410.03	129.55	-7.72	-461.63	0.63	-7.11
13947	-146.66	102.03	-24.25	223.50	78.13	-31.10
13948	362.60	89.12	-91.27	543.81	70.73	-88.57
13949	637.76	141.67	-7.43	339.82	68.05	-3.92
13950	-1210.02	-133.93	-94.63	-519.57	-85.76	-40.93
13951	-1421.72	99.33	-94.84	-480.66	14.35	-38.85
13957	-101.25	49.17	-21.26	-154.57	-17.80	-0.96
13964	-482.57	-21.87	-71.03	-344.42	-21.25	-58.63
13965	-868.87	77.33	130.97	-654.86	69.33	103.76
13966	-1119.42	28.33	-90.02	-676.25	1.94	-51.36
13979	300.47	44.92	32.94	234.19	-20.91	3.39
14040	1787.90	-46.33	62.47	512.64	-25.24	-9.24
14051	2009.38	38.61	37.62	846.10	14.08	50.53
14052	1577.45	54.61	-25.48	533.42	45.80	20.43
14062	1160.84	44.46	17.39	709.37	18.93	11.04
14273	-447.71	-66.35	-102.92	-138.36	-18.71	-45.57

ВИСНОВКИ

За результатами виконаних робіт з науково-технічного супроводу проектування та будівництва громадсько-житлово-готельного комплексу можна зробити наступні висновки:

1. Виконано комплекс робіт з НТС проектування та будівництва шести секцій громадсько-житлово-готельного комплексу [7].

2. За результатами проведених динамічних досліджень конструкцій будинків №1 (в блоках А, Б і В) і №3 (в блоках А, Б і В) при вітрових навантаженнях, впливі автотранспорту та трамваїв, роботі будівельної техніки, визначені динамічні характеристики (частоти власних коливань) та параметри коливань (максимальні амплітуди горизонтальних віброприскорень) блоків А, Б і в будинків №1 та №3 отримані фактичні динамічні

характеристики блоків будинків №1 та №3, які необхідно враховувати при виконанні верифікації просторових комп'ютерних моделей блоків будівель.

3. Виконані варіантні розрахунки динамічної моделі секції 3-А при наявності гумових демпферів, розташованих в рівні перекриття з 10-го по 20-й поверх. Шість демпферів були встановлені в розрахунковій моделі вздовж антисейсмічних швів між секцією 3-А та секціями 3-Б і 3-В. Жорсткість на стиск демпферів 3800 кН/м.

Порівняння значень моментів у колонах (табл. 2) показало, що зниження моментів досягає більше ніж 5 разів, що призводить к зменшення ексцентриситету позацентрово стиснутих колон та к збільшенню їх несучої здатності. Порівняння значень поперечних сил у колонах (табл. 2) також показало, що зниження досягає більше ніж 4 разів

3. За результатами лінійного розрахунку максимальні переміщення верха блоку 3-А при максимальному розрахунковому землетрусі інтенсивністю 8 балів складає 340 мм та 169 мм відповідно при відсутності демпферів та їх наявності, тобто відмічається зниження у 2 рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 14:2014. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - VI, – 110 с. – (Будівельні норми України).
2. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2-5:2007. - [Чинні від 2008-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 13 с. - (Будівельні норми України).
3. Робочий проект багатофункціонального громадсько-житлово-готельного комплексу «Південний» по вул. Фонтанська дорога, 118-А у м. Одеса - розділ КЖ.
4. Проект будівництва багатофункціонального громадсько-житлово-готельного комплексу «Південний» по вул. Фонтанська дорога, 118-А у м. Одеса - розділ АР.
5. Програмный комплекс Лира-Сапр 2013. Учебное пособие под ред. академика АИИ Украины А.С. Городецкого. – К. – М., 2013. – 376 с.
6. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-2:2006. - [Чинні від 2007-01-01]. - К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с. - (Будівельні норми України).
7. Науково–технічний звіт (проміжний) за темою: «Науково-технічний супровід проектування та будівництва багатофункційного громадсько-житлово-готельного комплексу «Південний» за адресою Фонтанська дорога, 118-А (будинок №1, блоки А, Б, В та будинок №3, блоки А,Б, В) в м. Одеса». – Київ: ДП НДІБК. - 29.04.2016 р.
8. "Сейсмомониторинг". Руководство пользователя. «Диатос», - К.: НТУ «КПИ», 2009 г.

REFERENCES

1. Construction in seismic regions of Ukraine: State building codes B. 1.1–14: 2014. - [Valid from 2014-10-01]. – K.: Minregion of Ukraine, 2014. - VI, – 110 p. – (Building norms of Ukraine).
2. Scientific and technical support of construction projects: State building codes B.1.2-5:2007. – [Valid from 2008-01-01]. - K: Minregionbud of Ukraine, 2007. – 13 p. - (Building norms of Ukraine).
3. The detailed design of multifunctional public-housing-hotel complex "Pivdenny" on the Fontanskaya road str., 118-A in Odesa. - Section CS.
4. The construction project of multifunctional public-housing-hotel complex "Pivdenny" on the Fontanskaya road str., 118-A in Odesa. - Section AD.
5. The software Lira-CAD 2013. Textbook ed. by academician of AES of Ukraine A. Gorodetsky. - Kiev - M.: 2013. - 376 p.
6. Loads and impacts: State building codes B.1.2-2:2006. – [Valid from 2007-01-01]. - K.: Minbud of Ukraine, 2006. - 75 p. - (Building norms of Ukraine).
7. Scientific and Technical Report (interim): "Scientific and technical support for design and construction of a multifunctional public-housing-hotel complex "Pivdenny" Fontanskaya road str., 118-A (building №1, blocks A, B, C and building №3, blocks A, B, C) in Odesa". - Kyiv: SE NIISK. - 29.04.2016.
8. Software "Seismonitoring". Users manual. "Diatos", - Kiev: NTU "KPI", 2009.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2016 р.