

УДК 539.3

КОЛИВАННЯ МОРСЬКОЇ БУРОВОЇ ПЛАТФОРМИ ПРИ СЕЙСМІЧНОМУ ЗБУРЕННІ ОСНОВИ

Ю.В. Ворона¹,
канд. техн. наук

В.І. Щербій¹

¹Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський проспект., 31, м. Київ. 03680

Досліджується реакція морської бурової платформи на сейсмічне збурення основи. Порівнюються результати, отримані за прямим динамічним методом з використанням синтезованих акселерограм та за допомогою лінійно-спектральної теорії.

Ключові слова: морська бурова платформа, синтезовані акселерограми, сейсмічне збурення основи.

1. Вступ

Розташування родовищ нафти й газу на значній глибині в шельфі Чорного та Азовського морів висуває підвищені вимоги до конструктивних рішень гідротехнічних споруд, зокрема, стаціонарних бурових платформ, що використовуються як для розвідувальних робіт, так і для видобутку. Водночас постають питання, пов'язані із забезпеченням надійної експлуатації споруди в зонах високої сейсмічності протягом досить довгого проміжку часу. Відповідальні споруди, до яких відносять морські бурові платформи (МБП), мають бути розраховані на максимальний розрахунковий землетрус [1], причому необхідно провести перевірку сейсмостійкості як за лінійно-спектральним методом, так і за прямим динамічним методом, використовуючи розрахункові акселерограми.

Нижче наведені результати застосування такого багатоваріантного підходу до розрахунку бурової платформи.

2. Опис платформи

Досліджувана морська стаціонарна платформа являє собою просторову металеву конструкцію (рис. 1, а), виконану з металевих прокатних труб наступних діаметрів: 1420 мм, 1200 мм, 630 мм, 600 мм та 530 мм.

З'єднання труб в платформі здійснене зварюванням та на болтах. Всі вузли в розрахунках вважаються жорсткими.

Основні геометричні характеристики МБП:

- висота до верхівки вежі – 132 м;

- довжина – 55 м;
- ширина платформи – 48 м.

Розрахунки були проведені за допомогою методу скінченних елементів, реалізованому в програмному комплексі Lira [2]. Розрахункова дискретна модель складається з 862 вузлів та 2349 стержневих елементів (рис. 1, б).

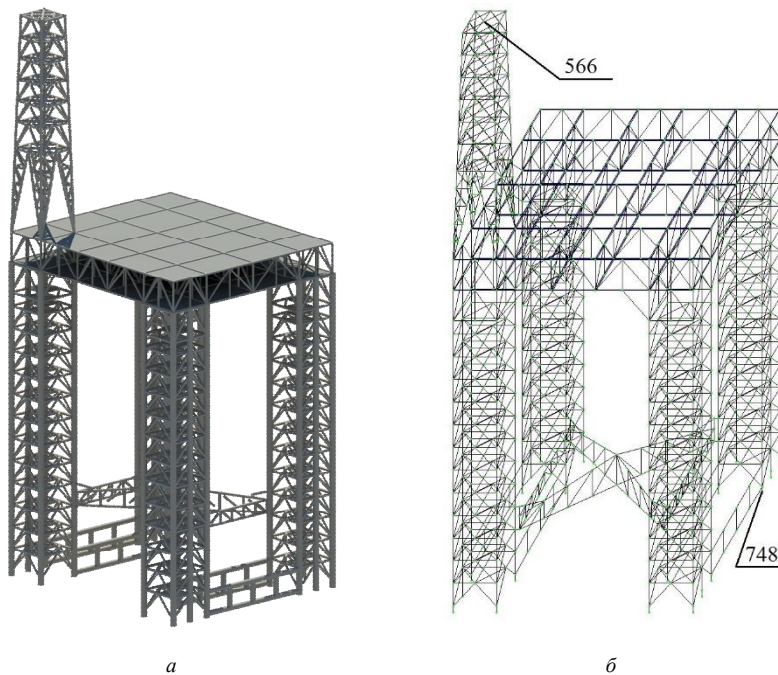


Рис. 1. Морська бурова платформа: а – загальний вигляд; б – скінченноелементна модель

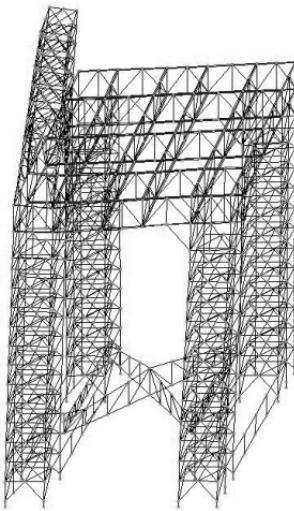
3. Модальний аналіз моделі МБП

Значна кількість динамічних розрахунків, у тому числі й дослідження сейсмічної реакції, базується на даних модального аналізу. Такі дані дають уявлення про внутрішні динамічні властивості досліджуваної споруди і, дозволяють прогнозувати, яким чином споруда буде реагувати на певні види навантаження. В таблиці 1 наведені частоти ω_i та модальні маси G_i , які відповідають власним формам, що дають найбільший внесок у сейсмічну реакцію платформи.

Таблиця 1

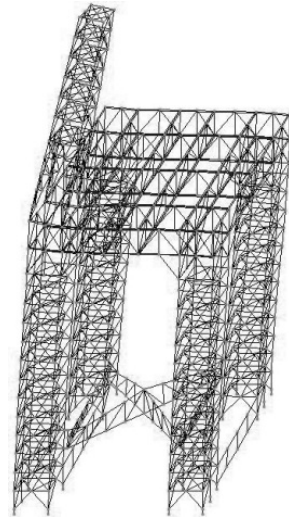
№ форми	Частота		Період (с)	Мод. маса (%)	Сума мод. мас (%)
	Колова (рад/с)	Технічна (Гц)			
1	5.497	0.875	1.143	14.889	14.889
2	5.686	0.905	1.105	29.716	44.605
3	8.014	1.276	0.784	12.735	57.340
4	10.094	1.606	0.622	8.086	65.426
5	11.285	1.796	0.557	2.433	67.859
6	18.538	2.950	0.339	0.039	67.899
7	19.453	3.096	0.323	5.990	73.888
8	19.576	3.116	0.321	0.446	74.334
9	20.469	3.258	0.307	0.008	74.342
10	20.929	3.331	0.300	0.045	74.386

Як бачимо, найбільший внесок в сейсмічну реакцію дають перші чотири власні форми. Їх зображення наведені на рис. 2-5.

**Форма 1**

$T=1.143$ с, $\omega=5.497$ рад/с, $G=14.889$ %

Рис. 2

**Форма 2**

$T=1.105$ с, $\omega=5.686$ рад/с, $G=29.716$ %

Рис. 3

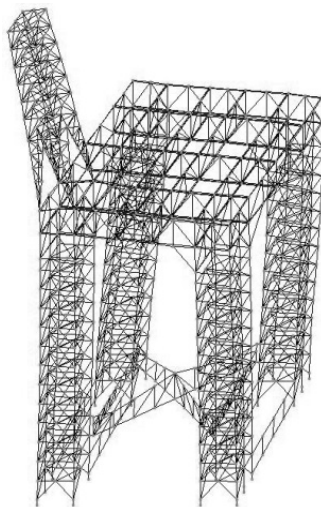
**Форма 3**
 $T=0.784 \text{ c}, \omega=8.014 \text{ рад/с}, G=12.735 \%$

Рис. 4

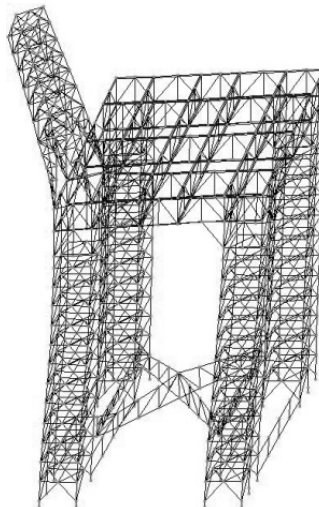
**Форма 4**
 $T=0.622 \text{ c}, \omega=10.094 \text{ рад/с}, G=8.086 \%$

Рис. 5

Якщо спробувати коротко охарактеризувати форми коливань, то необхідно відмітити, що перша форма аналогічна деформуванню консольного стержня, який згинається в площині найменшої жорсткості, друга форма аналогічна першій, але при деформуванні в площині найбільшої жорсткості; починаючи з третьої форми, характер деформування стає більш складним і містить закручення всієї конструкції.

4. Результати динамічного розрахунку

Оскільки найвагоміший внесок у сейсмічну реакцію дає друга форма ($G_2=29.617\%$) з періодом власних коливань $1,105 \text{ c}$, то згідно із таблицею 6.10 ДБН В.1.1-12:2014 [1] були виконані дослідження реакції споруди на дію акселерограм Vb6r, Vb7r та Vb8r.

Були проведені розрахунки на дію 9-бального землетрусу як за прямим динамічним, так і за лінійно-спектральним методом. Результати розрахунків за прямим динамічним методом у вигляді графіків залежності від часу переміщення середньої точки верхівки щогли (вузол 566) та зусиль (поздовжньої і поперечної сил та згинального моменту) в найбільш напруженому стержні, розташованому в опорній зоні платформи (елемент 748; його розташування показане на рис. 1,б) наведені нижче на рисунках 6 – 14. Зауважимо, що при розрахунку за

прямим динамічним методом, до вузлів, розташованих нижче рівня води, були статично прикладені сили величиною 0.12 т , які моделювали опір середовища.

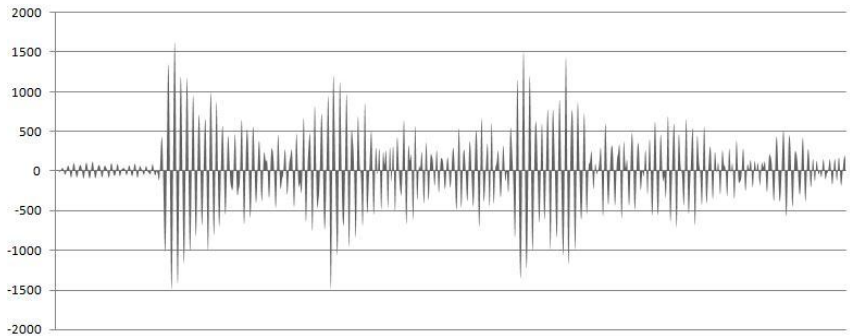


Рис. 6. Переміщення 566 вузла моделі вздовж осі X від дії акселерограми Vb6r

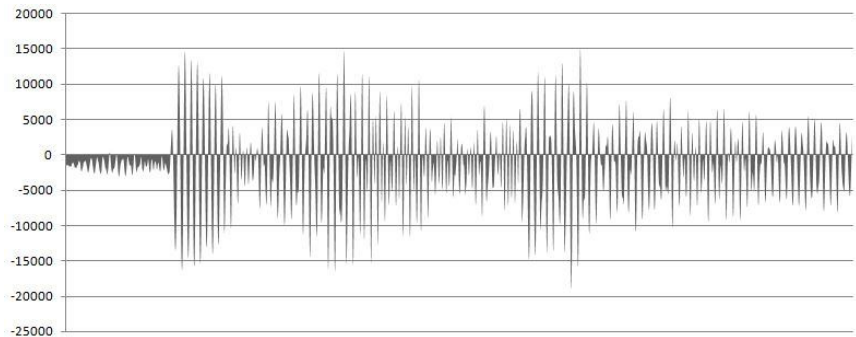


Рис. 7. Поздовжня сила N в 748 стержні від дії акселерограми Vb6r

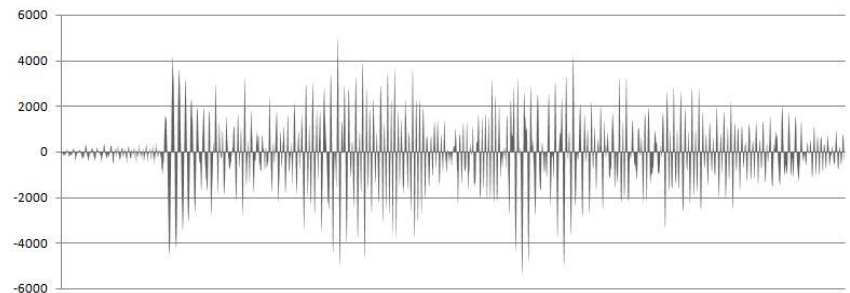


Рис. 8. Згинальний момент M в 748 стержні від дії акселерограми Vb6r

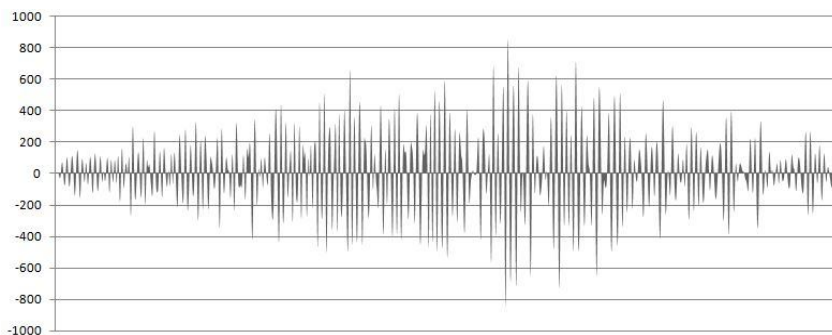


Рис. 9. Переміщення 566 вузла системи вздовж осі X (акселерограма Vb7r)

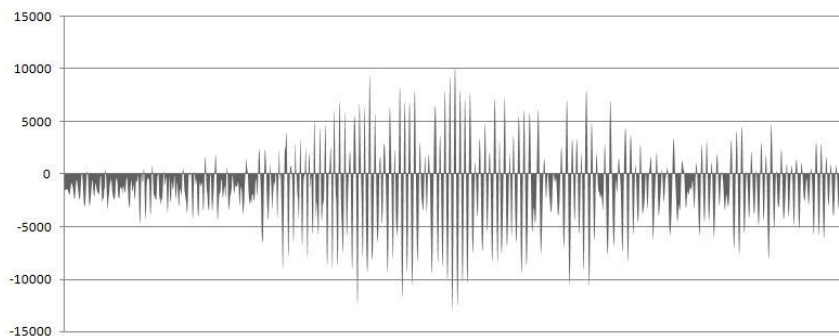


Рис. 10. Поздовжня сила N в 748 стержні від дії Vb7r

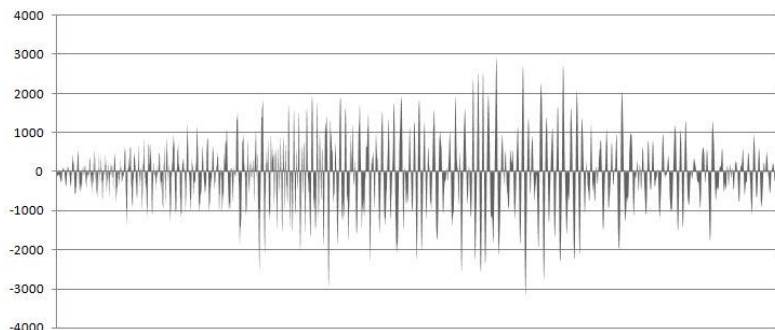


Рис. 11. Згинальний момент M 748-у елементі моделі (акселерограма $Vb8r$)

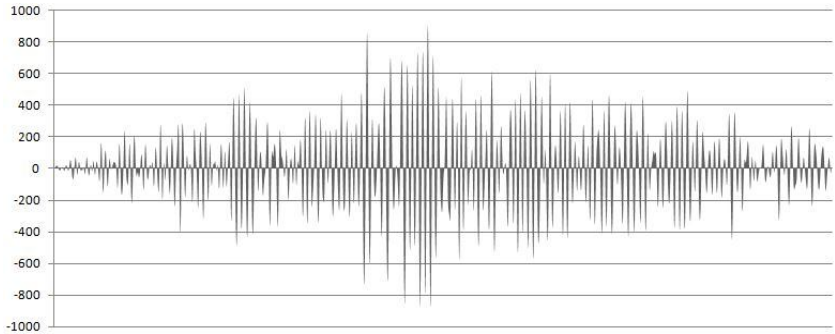


Рис. 12. Переміщення 566 точки системи по осі X від (акселерограма і Vb8r)

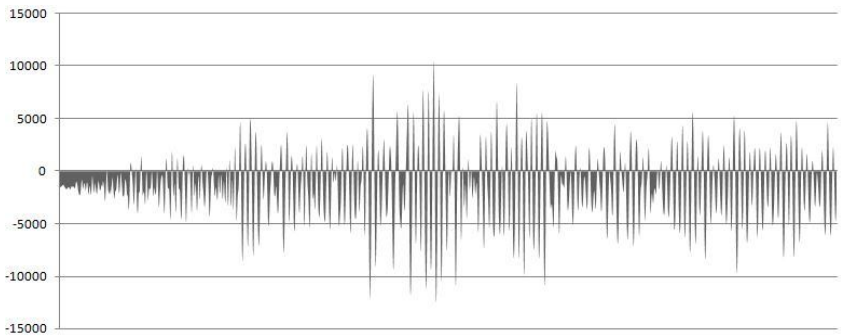


Рис. 13. Поздовжня сила N в 748-у елементі моделі (акселерограма Vb8r)

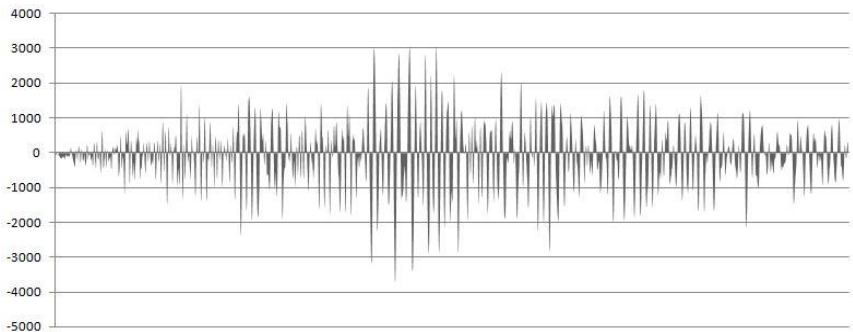


Рис. 14. Згинальний момент M в 748-у елементі моделі (акселерограма Vb8r)

Порівняння результатів дослідження сейсмічної реакції морської бурової за двома методами наведені в таблиці 2. При цьому наведені в

таблиці результати розрахунку за прямим динамічним методом отримані шляхом осереднення даних, що відповідають різним моментам часу.

Таблиця 2

Результати розрахунку за лінійно-спектральним методом	Результати розрахунку за прямим динамічним методом		
	Назва синтезованої акселерограми		
	Vb6г	Vb7г	Vb8г
Переміщення 566 точки (вершини) по вісі X , мм			
401.8	400.6	215.5	233.7
Середнє значення поздовжньої сили N , кН			
-4564.6	-4403.4	-3678.1	-3443.6
Середнє значення згинального моменту M , кН			
1343.7	1365.6	857.2	888.5

5. Висновки

Результати розрахунків за прямим динамічним методом показують, що найбільші значення параметрів НДС конструкції спостерігаються при використанні синтезованої акселерограми Vb6г. Осереднені значення переміщень і зусиль, що виникають як реакція на дію акселерограми Vb6г, є добре узгодженими із аналогічними результатами, отриманими з використанням лінійно-спектрального підходу (розбіжність результатів не перевищує 1% для переміщень і 5% для зусиль). Вказана обставина, свідчить про реалістичність розрахункових даних, знайдених за двома різними методами. Зауважимо також, що використання для аналізу НДС бурової платформи акселерограм Vb7г та Vb8г призводить до суттєвого заниження значень основних розрахункових параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- ДБН В.1.1.-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України, 2014. – 110 с.
- ЛІРА 9.4. Руководство пользователя. ОСНОВЫ. Учебное пособие. К.: Изд-во «ФАКТ», 2008. – 164 с.
- Баженов В. А., Дехтярюк С. С. Імовірнісні методи розрахунку конструкцій. Випадкові коливання пружних систем: Навчальний посібник. – К.:КНУБА, 2005. – 420с.
- Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. – СПб.: Наука, 1998. – 255 с.

REFERENCES

- DBN V.1.1.-12:2014 Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy, 2014. – 110 s. [DBN V.1.1.-12:2014. Construction in seismic regions of Ukraine, 2014. – 110 p.] (ukr)

2. LIRA 9.4. Rukovodstvo polzovatelya. OSNOVY. Uchebnoe posobie. K.: Izd-vo «FAKT», 2008. – 164 s. [LIRA 9.4. User guide. BASIS. Tutorial. K.: FAKT, 2008. – 164 p.] (rus)
3. Bazhenov V.A., Dekhtiariuk Ie.S. Imovirnisni metody rozrachunku konstruktсии. Vypadkovii kolyvannia pruznykh system: Navchalnii posibnyk. –K.: KNUBA, 2005. – 420 s. [Probabilistic methods of structure analysis. Random oscillations of elastic systems . – K.: KNUBA, 2005. - 420 p.] (ukr)
4. Birbraer A.N. Raschet konstruktсий na seysmostoykost. – SPb.: Nauka, 1998. – 255 s. [Seismic Analysis of Structures. – St. Petersburg: Nauka, 1998. – 255 p.] (rus)

Vorona Yu. V., Shcherbii V. I.

OFFSHORE DRILLING PLATFORM VIBRATIONS UNDER SEISMIC EXCITATION

The response of the offshore drilling platform to seismic base excitation is analyzed. The platform is a spatial construction made of metal rolled pipes of various diameters. The connection of pipes is done by welding and on bolts. All joints of the construction model are considered to be rigid when analyzed. A modal analysis of the construction was performed and modal effective masses as well as modal participation factors corresponding to eigenmodes were defined. The analysis of the modal participation factors showed that the greatest contribution to the seismic response was given by the first four mode shapes with almost thirty percent of the total modal mass contributed by the second mode shape. This mode shape turned out to be similar to the mode of deformation of the console rod that bends in the plane of greatest stiffness. The synthesized artificial spectrum-compatible seismic accelerograms were selected from the set included in the state building codes using oscillation period corresponding to the second natural frequency. The response of the platform to the earthquake of seismic intensity 9th degree according to the Medvedev-Sponheuer-Karnik scale was investigated. Two methods of the seismic analysis were used. The first one was the linear quasi static Response Spectrum Method and the second one was Direct Dynamic (Time History Analysis) Method. The results of calculations carried out using the Direct Dynamic Method were averaged on the whole time interval and the data of such an averaging were compared with the results of the Response Spectrum Method application. The results proved to be consistent with each other - the difference does not exceed one percent for displacements and five percent for internal forces and moments. This circumstance indicates the reliability of the results obtained with the help of two different methods.

Keywords: offshore drilling platform, synthesized accelerograms, seismic excitation.

Ворона Ю. В., Щербий В. И.

КОЛЕБАНИЯ МОРСКОЙ БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ОСНОВАНИЯ

Исследуется реакция морской буровой платформы на сейсмическое возбуждение основания. Сравниваются результаты, полученные с использованием синтезированных акселерограмм и с помощью линейно-спектральной теории.

Ключевые слова: морская буровая платформа, синтезированные акселерограммы, сейсмическое возбуждение основания.

УДК 539.3

Ворона Ю.В., Щербій В.І. Коливання морської бурової платформи при сейсмічному збудненні основи // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2016. – Вип. 97. – С. 135 – 144.

Досліджується реакція морської бурової платформи на сейсмічне збуднення основи. Порівнюються результати, отримані за прямим динамічним методом з використанням синтезованих акселерограм та за допомогою лінійно-спектральної теорії.

Vorona Yu. V., Shcherbii V. I. Offshore drilling platform vibrations under seismic excitation // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2016. – Issue. 97. – P. 135 – 144.

Response of the offshore drilling platform to seismic excitation is analyzed. Results obtained using modal analysis of the response spectrum and direct dynamic analysis are compared.

Ворона Ю. В., Щербий В. И. Колебания морской буровой платформы при сейсмическом возбуждении основания // Сопротивление материалов и теория сооружений. – 2016. – Вып. 97. – С. 135 – 144.

Исследуется реакция морской буровой платформы на сейсмическое возбуждение основания. Сравниваются результаты, полученные с использованием синтезированных акселерограмм и с помощью линейно-спектральной теории.

Автор: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри будівельної механіки КНУБА ВОРОНА Юрій Володимирович

Адреса робоча: 03680, Київ, Повітрофлотський пр. 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, ВОРОНИ Юрію Володимировичу

Робочий тел.: +38(044) 2454829

Мобільний тел.: +38(050)750-13-61

E-mail: yuvv@ukr.net

Автор: студент 5 курсу будівельного факультету Щербій Владислав Іванович.

Адреса робоча: 03680, Київ, Повітрофлотський пр. 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, Щербію Владиславу Івановичу

Мобільний тел.: +38(093) 623288

E-mail: scherby248@mail.com