

*В.Л. Сєдін, д.т.н., проф.; Г.М. Левченко, к.т.н., доц.
Г.Г. Капленко, к.т.н., доц.; В.С. Яхновець магістрант
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

ВПЛИВ АСИМЕТРИЧНОГО ПРИКЛАДАННЯ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА РОЗВИТОК КОЛИВАНЬ У СИСТЕМІ «ОСНОВА – ФУНДАМЕНТ – МАШИНА»

Досліджено вплив ексцентриситету прикладання динамічного навантаження на розвиток коливань у системі «основа – фундамент – машина». Отримано певні залежності, які дозволяють визначати амплітуди коливань у системі «основа – фундамент – машина» за двомасовою чи одномасовою розрахунковими схемами.

Ключові слова: динамічне навантаження, амплітуда коливань, система «основа – фундамент – машина».

*В.Л. Сєдин, д.т.н., проф.; Г.Н. Левченко, к.т.н., доц.
Г.Г. Капленко, к.т.н., доц.; В.С. Яхновец, магистрант
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИЧНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НАГРУЗКИ НА РАЗВИТИЕ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ «ОСНОВАНИЕ – ФУНДАМЕНТ – МАШИНА»

Исследовано влияние эксцентриситета приложения динамической нагрузки на развитие колебаний в системе «основание – фундамент – машина». Получены определенные зависимости, позволяющие определить амплитуды колебаний в системе «основание – фундамент – машина» по двухмассовой или одномассовой расчетным схемам.

Ключевые слова: динамическая нагрузка, амплитуда колебаний, система «основание – фундамент – машина».

*V.L. Syedin, Prof. Dr.; G.M. Levchenko, Ph. D.
G.G. Kaplenko, Ph. D.; V.S. Yakhnovets, Graduate
Prydneprovsk state Academy of Civil Engineering and Architecture*

INFLUENCE OF ASYMMETRIC APPLIED LOAD ON OSCILLATIONS DEVELOPMENT IN THE «BASE – FOUNDATION – MACHINE» SYSTEM

The influence of applied dynamic load on the development of oscillations in the «base – foundation – machine» system has been investigated in this article. Some dependences have been received which allow to determine amplitudes of oscillations in the «base – foundation – machine» system by two-mass or one-mass calculation scheme.

Keywords: dynamic load, amplitude of oscillations, «base – foundation – machine» system.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Реконструкція та модернізація різних частин виробництва металургійних заводів, істотні зміни в масштабах і напрямках діяльності багатьох з них потребують розв'язання низки будівельних задач, серед яких вагоме значення мають проблеми динаміки фундаментів машин із значним ударним і віброударним навантаженням. Це формувальні машини, ковальські та штампувальні молоти, інерційні вибивальні решітки, а також ряд інших видів малопотужного обладнання, що створює вібрації. У багатьох випадках вібрації від цих машин спостерігаються і в

спорудах, що знаходяться на певній відстані. Остання обставина пояснюється слабким згасанням коливань у певних нашаруваннях ґрунту, тим самим передаючи відносно великі або малі їх струси.

Вибір заходів щодо зменшення рівня коливань і оцінка їх ефективності здійснюється як в процесі проектування фундаментів машин з динамічним навантаженням, так і під час реконструкції та модернізації підприємств, що пов'язані із заміною обладнання, використанням сучасніших технологічних процесів і тому подібне.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Дослідження впливу в'язко-пружних властивостей ґрунту, надфундаментної прокладки або амортизаторів на параметри коливань фундаментів формувальних машин, ковальських та штампувальних молотів, інерційних вибивальних решіток розглядалось у роботах [2, 3, 4]. Отримані певні залежності, які дозволяють визначати амплітуди коливань у системі «основа – фундамент – машина» (ОФМ) за двомасовою чи більш простою одномасовою розрахунковими схемами.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Дослідження впливу ексцентриситету прикладання динамічного навантаження на розвиток коливань у системі ОФМ є нерозв'язаною задачею.

Формування мети роботи. Важливого значення набуває розроблення таких методів динамічного розрахунку фундаментів під машини, які б забезпечили заданий рівень вібрацій і враховували чинники, що впливають на параметри коливань системи ОФМ.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою уточнення передумов, що закладалися в теорію розрахунку на коливання системи ОФМ, а також для оцінки точності запропонованих теоретичних залежностей [2] були проведені експериментальні дослідження коливань фізичної моделі системи «фундамент – ударна машина» (рис. 1) від ударного навантаження та існуючих фундаментів інерційних вибивальних решіток (ІВР) від віброударного навантаження.

Дослідна установка (рис. 1) розроблялася з урахуванням теорії подібності, у ній можна змінювати пружний і непружний опори системи «фундамент – ударна машина» та створювати асиметрію в розподіленні мас. Установка складалася із залізобетонного фундаменту (4) розміром 4,0; 1,6; 1,0(н) м, вагою 11400 кг, на ньому розташовувалась надфундаментна прокладка (3), пружний і непружний опір якої змінювався з певним кроком, залежно від кількості дерев'яних щитів і шарів гуми, а також модель ударної машини, що мала станину (2) вагою 2060 кг та падаючу частину (1) вагою 500 кг. Окрім того, установка мала закладні деталі для кріплення вібродатчиків (6), привантажувальні плити (5), вантажопідіймальний механізм та пристрій для скидання. Основою фундаменту слугував лесовий суглинок.

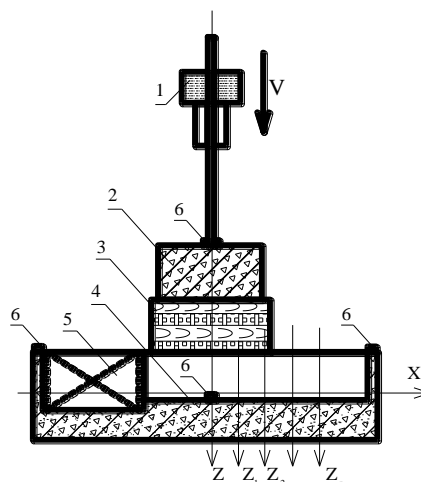


Рисунок 1 – Дослідна установка

Вільні коливання фізичної моделі збурювалися ударом падаючої частини по станині. При вивченні горизонтально-обертальних коливань надфундаментна прокладка з машиною зміщувалися вповодж осі X відносно центра ваги підосви фундаменту на величину від 0 до 1,0 м, тобто ексцентриситет у прикладанні ударного навантаження знаходився в межах 0...25%.

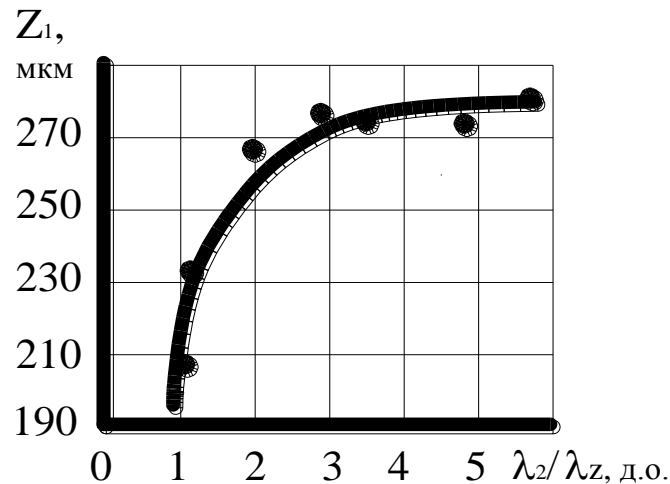


Рисунок 2 – Залежність амплітуд вертикальних коливань фундаменту формувальної машини 29519 від властивостей надфундаментної прокладки

З метою визначення впливу затиснення фундаменту ґрунтом на параметри коливань фізичної моделі фундамент бетонувався в розпір ґрунту непорушеної структури. Потім у процесі досліджень ґрунт прорізався до підосви спершу з торців фундаменту, а далі й з його бокових граней.

Реєстрація параметрів коливань фізичної моделі здійснювалася вібродатчиками И-001, що входять до комплекту К-001, та шлейфовим осцилографом Н004М1.

У процесі досліджень виявлено, що амплітуди коливань фундаменту сягають найбільших величин за умови використання жорстких прокладок. Зменшення жорсткості прокладки викликає зниження амплітуд і частот коливань фундаменту. Відзначено, що при цьому збільшується амплітуда коливань машини. Найбільші амплітуди коливань фундаменту зареєстровано у випадку, коли гранична кутова частота λ_z вільних вертикальних коливань всієї установки на ґрунті в 2 і більше разів переважає граничну кутову частоту λ_2 вільних вертикальних коливань машини на пружній надфундаментній прокладці.

У результаті варіювання властивостями надфундаментної прокладки вдалося визначити межі застосування різноманітних розрахункових схем системи «основа – фундамент – ударна машина» (ОФУМ). Встановлено, що відношенню $\lambda_z/\lambda_2 \geq 4$ відповідає одномасова система, властивості надфундаментної прокладки в динамічному розрахунку не враховуються. У межах $2 \ll \lambda_z/\lambda_2 < 4$ здійснюється перехід від одномасової системи до двомасової. Як двомасова система ОФУМ коливається у випадку $\lambda_z/\lambda_2 < 2$, у динамічному розрахунку системи ОФУМ необхідно враховувати в'язко-пружні властивості надфундаментної прокладки.

Указані результати підтверджено даними (рис. 2), отриманими при вивченні впливу властивостей надфундаментної прокладки на параметри коливань фундаменту під формувальну машину типу 29519.

Дослідження впливу асиметрії в розподіленні мас системи ОФУМ здійснювалось при фіксованому значенні ексцентриситету прикладання ударного навантаження. Виявлено, що зміна асиметрії від 0 до 10% практично не впливає на величину вільних коливань системи. Зафіксоване свідчить про те, що запропонована СНиП 2.02.05-87

«Фундаменты машин с динамическими нагрузками» гранична величина ексцентриситету в 5-ти відсотках від розміру сторони підшви фундаменту ударної машини, в напрямку якої відбувається зміщення центра мас системи, може бути збільшена вдвічі і складати 10%.

У виникненні обертальних коливань у системі ОФУМ провідну роль відіграє величина ексцентриситету прикладання ударного навантаження. Суттєвий вплив обертальні коливання здійснюють на роботу системи, якщо ексцентриситет $e_2 \geq 15\%$ довжини сторони фундаменту, в напрямку якої відбувається зміщення ударного навантаження. У випадку, коли $e_2 > 30\%$, можливий відрив підшви фундаменту від основи. Якщо $e_2 < 10\%$, то обертальні коливання незначні і ними можна знехтувати. Частота коливань фундаменту за умови варіювання ексцентриситетом у прикладанні ударного навантаження майже не змінюється. Помітний вплив на зменшення обертальних коливань фундаменту при ексцентричному ударі, як свідчать досліди з прорізанням засипки біля вертикальних граней фундаменту, здійснює затиснення фундаменту ґрунтом. При цьому на зниження обертальних коливань помітніше впливає бокова засипка біля торцевих граней фундаменту. Так, затиснення бокових граней фундаменту, що складає понад 70% площі вертикальних граней, зменшує коливання на 11,3%. Майже такий же ефект отримано і при затисненні торців фундаменту. Також зафіксовані незначні зміни частоти коливань фундаменту (до 5%). Установлені залежності свідчать про те, що в динамічних розрахунках систем ОФУМ у випадку неексцентричного прикладання ударного навантаження необхідно врахувати також демпфувальні властивості ґрунту, що стикаються з вертикальними гранями фундаменту.

Експериментальне уточнення компонентів системи «основа – фундамент – віброударна машина» (ОФВУМ), що впливають на параметри коливань фундаменту і вибивальної решітки, здійснювалося на заводах Придніпров'я. У динамічному плані інерційні вибивальні решітки (ІВР), на відміну від машин з чисто ударним навантаженням (ковальські та штампувальні молоти, формувальні машини), зазнають також впливу періодичної сили, що змінюється за законом $P_z = P_z^{(0)} \sin(\omega t)$; тут $P_z^{(0)}$ – величина сили, яка збурює коливання; ω – кругова частота сили.

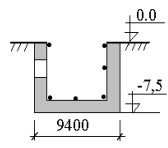
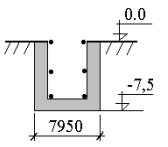
Фундаменти досліджуваних інерційних вибивальних решіток мали стінчасту конфігурацію: масивні стіни фундаменту розташовані по периметру горизонтальної фундаментної плити, на яку вони спираються; внутрішній простір заповнюють бункери і транспортер. Характерною конструктивною особливістю вертикальних стін є їх потовщення у верхній частині. У цих потовщеннях влаштовують опорні балки під ІВР, кріплення бункерів та електродвигунів. Фундаменти виготовляють з монолітного залізобетону. Решітчасту раму виливають із сталі, для амортизаторів застосовують пружини, які встановлюють у напрямні пальці і закріплюють у решітчастій рамі та на опорних балках. Вібратором слугує неврівноважений вал, постійний дисбаланс якого при обертанні збурює коливальні рухи решітчастої рами на амортизаторах та фундаменту на ґрунті. Величину сили регулюють неврівноваженим вантажем, положення якого можна змінювати.

З метою уточнення просторової роботи елементів фундаменту ІВР були розглянуті коливання поздовжніх і поперечних стін, а також фундаментної плити чотирисекційної решітки типу 431И4 вантажопідйомністю 1000 кН. Дані вимірювання амплітуд коливання елементів наведено в таблиці 1.

Одержані результати вказують на те, що величини вертикальних амплітуд коливання фундаменту у розглянутих точках у декілька разів переважають амплітуди горизонтальних коливань і відрізняються від середньоарифметичного значення 48,9 мкм, але різниця між крайніми величинами вертикальних амплітуд не перевищує 18,4%. Усе це свідчить про значну жорсткість вертикальних стін і фундаментної плити.

Зафіксовані амплітуди коливань верхньої частини стін фундаменту дещо вищі за амплітуду коливання фундаментної плити. Це вказує на розсіювання енергії в системі внаслідок поглинання її матеріалом стін і ґрунтом бокової засипки. Частота коливань у розглянутих точках майже співпадає і складає в середньому 11,5 Гц. Величину зсуву коливань за фазою внаслідок складної форми віброграм не виділено.

Таблиця 1 – Параметри коливань основних елементів фундаменту ВР 431И4

Положення точки		Схема розташування точок	Амплітуди коливань, мкм		
Елемент	місце		Верти-кальні	Поперечні	Поздовжні
Поперечна стіна	верх		49	17	16
	центр		47	15	16
	підшва		45	12	12
Поперечна стіна	верх		51	18	17
	центр		Місце технологічного проходу		
	підшва		46	11	13
Поздовжня стіна	верх		53	19	19
	центр		50	14	15
	підшва		47	12	13
Поздовжня стіна	верх		52	16	18
	центр		54	15	15
	підшва		46	13	14
Фундаментна плита	центр		47	12	13

Примітка: амплітуди вертикальних коливань решітчасті x – рам 30...32 мм

Показані вище залежності зареєстровано і на інших фундаментах ІВР, але в них розглядалося менше поле точок. Розбіжність у значеннях вертикальних амплітуд стін та фундаментної плити знаходилася в межах 15...20%. Оскільки в симетрично завантаженій системі ОФВУМ значно переважають вертикальні коливання, а амплітуди жорстких елементів стінчастого фундаменту відрізняються менше ніж на 20%, то в першому наближенні фундаменти ІВР можна приймати за абсолютно тверде тіло.

У виникненні обертальних коливань у системі ОФВУМ, як і в системі ОФУМ, провідну роль відіграє величина ексцентриситету прикладання віброударного навантаження (табл. 2). Отримані результати підтверджують вищезафіксований факт, що величини вертикальних амплітуд коливань фундаментів у розглянутих точках у декілька разів переважають амплітуди горизонтальних коливань.

Окрім того, на реальних фундаментах ІВР показана переважна роль величини ексцентриситету прикладання віброударного навантаження на створення обертальних коливань. Так амплітуди вертикальних коливань протилежних точок, які знаходились на затиснутих зворотною засипкою фундаментах чотирисекційних вибивальних решіток 431И4 і ВР20, у випадку асиметричної роботи двох секцій ІВР і ексцентриситеті $e_2=25\%$ відрізнялися в 1,4...1,5 рази.

Таблиця 2 – Амплітуди коливань фундаментів вибивальних решіток у випадку позацентрального розташування опок

Модель ВР	Вантажопідйомність, кН	Маса опоки, т	Амплітуди коливань, мкм								Схема розташування точок, працюючих решітчастих рам, опоки
			вертикальні, у точках				горизонтальні поздовжні, у точках				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
431И4	1000	18,8	107	118	79	73	29	31	24	26	
ВР20	200	6,8	84	70	60	74	33	27	28	23	
ВР60	600	12,8	153	132	12 6	-	29	27	25	-	

Висновок. Отже, величина амплітуди коливань фундаментів залежить від місця дії ударного і віброударного навантаження на фундамент. Якщо асиметрія в прикладенні динамічного впливу зростає, то відповідно збільшуються і амплітуди коливань точок, у напрямку яких вона розвивається. Амплітуди коливань протилежних точок фундаменту при цьому зменшуються.

Запропонована СНиП 2.02.05-87 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» гранична величина ексцентриситету в 5-ти відсотках від розміру сторони підшви фундаменту ударної машини, в напрямку якої відбувається зміщення центра мас системи, може бути збільшена вдвічі і складати 10%.

Література

1. СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. – М.: Госстрой СССР, 1988. – 32 с.
2. Швец, Н.С. О снижении вибраций фундаментов кузнечных молотов / Н.С. Швец, Г.Н. Левченко // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – №8. – С. 28 – 30.
3. Капленко, Г.Г. Визначення параметрів коливань фундаменту інерційної вибивальної решітки / Г.Г. Капленко // Вісник Придн. держ. академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2002. – №5. – С. 24 – 31.
4. Капленко, Г.Г. Залежність параметрів коливань фундаменту інерційної вибивальної решітки від пружного зв'язку між фундаментом та решітчастою рамою / Г.Г. Капленко // Вісник Придн. держ. академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2002. – №6. – С. 25 – 31.
5. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций / под ред. проф. Б.Г. Коренева и проф. А.Ф. Смирнова. — М.: Стройиздат, 1986.
6. Огурцов, К.И. Количественные исследования волновых процессов в упругом подпространстве при различных типах воздействий / К.И. Огурцов // Динамические задачи теории упругости. – Л.: Изд-во ЖГУ, 1956. – С. 3 – 216.
7. Капленко, Г.Г. Коливання фундаментів багатосекційних інерційних вибивних решіток, затиснутих ґрунтом / Г.Г. Капленко, Г.М. Левченко, В.Л. Сєдін // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. – 2002. – N 10. – С. 30 – 35.

Надійшла до редакції 21.09.2012

© В.Л. Сєдін, Г.М. Левченко, Г.Г. Капленко, В.С. Яхновець