

**О.І. Валовой, к.т.н, проф., О.О. Сліпич, к.т.н, доц., К.М. Романенко, асистент
ДВНЗ «Криворізький національний університет»**

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДВОГІЛКОВОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОЛОНИ ПРИ ДІЇ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЛІНІЙНОГО ТА НЕЛІНІЙНОГО РОЗРАХУНКІВ

Здійснено цілеспрямоване математичне дослідження напружено-деформованого стану моделі підсиленої двогілкової колони промислової будівлі в процесі дії сейсмічних навантажень різної бальності при лінійному та нелінійному розрахунках. За результатами досліджень зроблено висновки.

Ключові слова: двогілкова колона, напружено-деформований стан, сейсмічні навантаження.

Постановка проблеми та її зв'язок з практичними задачами. Кривий Ріг – велике промислове місто, в якому працюють такі гіганти металургійної промисловості, як ВАТ «Південний ГЗК», ВАТ «Північний ГЗК», ВАТ «НКГЗК», ВАТ «Інгулецький ГЗК», відомий у всьому світі гірничо-металургійний комбінат ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та ін. Однією зі складових таких підприємств є одноповерхові промислові будівлі, які забезпечують необхідний технологічний процес. Більшість таких будівель споруджено у 70 – 80-ті роки ХХ ст. і сьогодні перебувають у незадовільному стані. Основні навантаження, що діють на каркасну промислову будівлю, сприймаються такими несучими елементами, як колони. Під час експлуатації колони зазнають значних пошкоджень, які пов'язані зі складними умовами експлуатації промислових споруд. Тому необхідно здійснювати комплекс робіт, пов'язаних з їх візуальним, інструментальним обстеженням та подальшим підсиленням.

При дії основних та аварійних сполучень навантажень несучі конструкції перебувають у складному напруженому стані, аналіз якого дозволяє вибрати та запропонувати з відомих методів підсилення найефективніший та більш технологічний для певного випадку.

Згідно із чинними нормами [1] м. Кривий Ріг належить до 6-бальної зони, але на території України велика кількість промислових будівель розміщені на 7-бальній території, тому питання сейсмостійкості одноповерхових промислових будівель та споруд є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження сейсмостійкості будівель і споруд присвячено роботи таких учених, як: С.В. Поляков, Ю.В. Измайлов, Ю.І. Немчинов, Б.П. Гудков, І.Л. Корчинський, Я.М. Айзенберг, А.Я. Барашиков, К.В. Єгупов та ін.

Дослідження, пов'язані з визначенням напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій при дії сейсмічних навантажень, проводять у ВАТ «КиївЗНДІЕП», ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» та інших установах.

З 1 серпня 2006 року набув чинності ДБН «Будівництво в сейсмічних районах України», відповідно до якого при проектуванні будівель та споруд необхідно враховувати й сейсмічне навантаження. Але при реалізації цих вимог виникає велика кількість практичних питань, відповіді на які можна отримати, використовуючи сучасні програмні комплекси, такі як «ЛІРА», «SCAD» та ін. Серед питань можна виділити такі: вплив фізичної та геометричної нелінійності на дійсний НДС конструкції; врахування пружної роботи ґрунтового масиву; дослідження НДС пошкоджених та підсилених конструкцій при дії сейсмічних навантажень.

Постановка мети і завдань дослідження та виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Метою поставлених досліджень є визначення ефективності ме-

тоду підсилення двогілкових колон промислової будівлі, а також дослідження НДС і його відмінності для підсиленої колони при лінійному розрахунку та для підсиленої колони при нелінійному розрахунку з урахуванням фізичної нелінійності конструктивного матеріалу.

Склад основного матеріалу. З огляду на зазначену мету був проведений цілеспрямований математичний експеримент у ПК «ЛИРА 9.6» з підсилення найбільш навантаженої колони промислової споруди до рівня +3,100 і досліджений її НДС при лінійному та нелінійному розрахунках при сейсмічних навантаженнях різної бальності.

Об'єктом досліджень є колона складу концентрату №1, який належить до споруд збагачувальної фабрики ІнГЗК. Технічна документація складу концентрату №1 ІнГЗК була розроблена в 1963 році ГПІ «Придніпровський Промбудпроект» та ГПІ «Дніпропроектстальконструкція». Будівництво складу було здійснено в 1969 році генпідрядною організацією – трестом «Криворіжстальконструкція» при залученні спеціалізованих управлінь тресту «Криворіжстальконструкція» та ін.

Вихідними параметрами для проектування складу є дані, отримані за результатами обстеження [2], з урахуванням заходів щодо превентивного підсилення.

Розрахунки здійснюємо за допомогою ПК «ЛИРА 9.6» відповідно до рекомендацій [3] і вимог [1].

Двогілкова колона складається з перерізів різного типу: перерізу надкранової частини (600*700 мм), перерізу гілок (600*400 мм), перерізу розпірок (150*150 мм) та перерізу підсиленої частини до рівня +3,100 (600*400 мм).

Оскільки колони складу жорстко затиснені в окремо розташовані стовпчасті фундаменти стаканого типу, то при моделюванні задаємо в нижніх вузлах колони в'язі X, Y, Z, UX, UY та UZ.

Лінійний розрахунок сейсмостійкості підсиленої колони.

Моделювання здійснюємо об'ємними скінченними елементами довжиною, шириною та висотою 0,2 м. Характеристики матеріалу наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Характеристики матеріалу для нелінійного розрахунку

Параметри	Позначення в ПК «ЛИРА 9.6»	Значення
Модуль пружності	E_0	$32,56 \cdot 10^3$ МПа
Питома вага	R_0	26,6983 кН/м ³

Збір навантажень на елементи колони виконано відповідно до норм [4]. Діючі навантаження наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Навантаження, що задають у програмному комплексі

1	Навантаження від власної ваги конструктивних елементів колони, ваги ферми й підкранової балки
2	Кранове та конвеєрне навантаження
3	Гальмівне навантаження
4	Снігове навантаження
5	Вітрове навантаження
6	Сейсмічне навантаження (7 балів)
7	Сейсмічне навантаження (8 балів)
8	Сейсмічне навантаження (9 балів)

Для дослідження напружено-деформованого стану просторової рами складу при одночасній дії вертикального (навантаження 1, 2, 4) та горизонтального (сейсмічні наванта-

ження 6, 7 та 8) навантажень формуємо розрахункові сполучення навантажень (РСН 1-3).

У цих РСН, згідно з нормами [1], постійне навантаження (навантаження 1) враховується з коефіцієнтом сполучення 0,9; тривалі (навантаження 2) – з коефіцієнтом сполучення 0,8; короткочасні (навантаження 4) – з коефіцієнтом сполучення 0,5; сейсмічні (навантаження 6-8) – з коефіцієнтом сполучення 1 (табл. 3).

Далі досліджено поведінку конструкції при розрахунковому сейсмічному навантаженні 7, 8 та 9 балів. Це пов'язано з тим, що останнім часом у Криворізькому залізничному басейні значно знизилася сейсмостійкість ґрунтів, чому сприяли постійні вибухові роботи в кар'єрах та підземні виробки. А такі техногенні чинники можуть підсилювати землетрус на 1 – 1,5 бала, тобто довести його силу до 6 – 8 балів.

Таблиця 3 – Коефіцієнти сполучення для РСН

РСН	Навантаження							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,9	0,8	0	0,5	0	1	0	0
2	0,9	0,8	0	0,5	0	0	1	0
3	0,9	0,8	0	0,5	0	0	0	1

Оскільки споруда не належить до особливо відповідальних, розрахунок горизонтального сейсмічного навантаження S_{ki} , прикладеного до точки k , виконується за спектральним методом [1, формула (2.1)].

На рис.1 наведена модель колони, виконана в ПК «ЛИРА 9.6» з використанням об'ємних скінченних елементів.

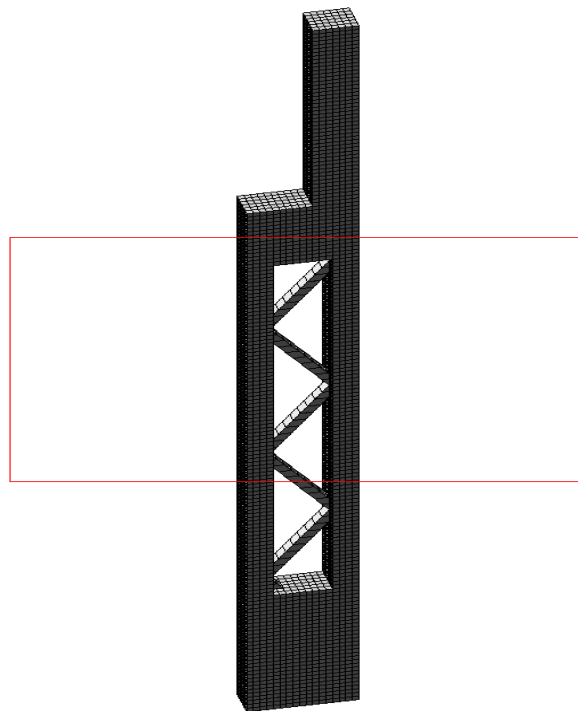


Рисунок 1 – Об'ємна модель двогілкової колони промислової споруди

На рис. 2 і 3 найбільші напруження виділено темнішим кольором. Нейтральні напруження – білі. Отже, найбільші напруження виникають біля фундаменту та в місці примикання непідсилених елементів колони до її підсиленої частини (рис. 2, 3).

Слід зауважити, що на рис. 2 і 3 наведені напруження, які виникають лише від дії сейсмічних навантажень. При формуванні РСН та врахуванні власної ваги елементів складу, кранового й снігового навантажень розтягуючі напруження значно зменшуються або ж зовсім замінюються стискаючими.

Деякі результати лінійного розрахунку наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Напруження в колоні

РСН	Сейсмічне навантаження, бали	Міцність на стиск f_{cd} , МПа	Стискаючі напруження, МПа	
			Підсилений елемент колони	Непідсилений елемент колони
			Об'ємні КЕ	Об'ємні КЕ
1	7	7,736	3,1	2,8
2	8	6,769	4,9	4,55
3	9	5,802	8,4	8,1

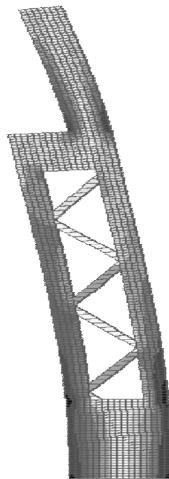


Рисунок 2 – Напруження в елементах колони

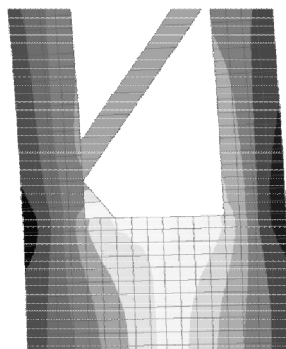


Рисунок 3 – Найбільші напруження в елементах двогілкової колони

Отже, розрахунок підсиленої колони з використанням об'ємних КЕ свідчить про її руйнування при сейсмічних навантаженнях 9 балів. Розрахунки здійснювали в пружній стадії. Та оскільки бетон – пружно-пластичний матеріал, що характеризується нелінійною залежністю між напругою й деформаціями і різними опорами на стискання й розтягування, необхідно виконати розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу колони.

Розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу колон

Розрахунок виконується з метою порівняння результатів лінійного розрахунку з результатами розрахунку, при якому враховують фізичну нелінійність матеріалу колон.

Для виконання нелінійного розрахунку використовують результати лінійного.

У результаті лінійного розрахунку обчислили значення інерційних сил, що виникають при сейсмічних навантаженнях. При виконанні розрахунків з урахуванням фізи-

чної нелінійності матеріалу колон ці сили прикладаємо по висоті колони згідно з місцем їх виникнення. Таким чином, динамічні навантаження замінюємо на статичні.

Для проведення нелінійного розрахунку формуємо навантаження 1 – 5 й три навантаження (6 – 8), в яких обчислено значення інерційних сил прикладаємо по висоті колони складу (табл. 5). У таблиці наведено сумарну силу по висоті, яку при моделюванні прикладаємо розподіленою між вузлами об'ємних КЕ.

Слід зауважити, що максимальні інерційні сили виникають уздовж осі X. Оскільки в цьому випадку інерційні сили вздовж інших осей досить незначні, то їх урахуванням нехтуємо. До висоти 7,8 м виникають незначні інерційні сили, тому їх не враховуємо.

Таблиця 5 – Інерційні сили

Рівень прикладання по висоті колони, м	Сумарна інерційна сила вздовж осі X, кН			Пояснення
	Розрахункова сейсмічність 7 балів	Розрахункова сейсмічність 8 балів	Розрахункова сейсмічність 9 балів	
7,8	0,161	0,32	0,64	Місце спирання плит покриття
9	0,21	0,42	0,84	
10,2	0,238	0,48	0,95	
11,4	0,273	0,55	1,09	
12,6	0,301	0,60	1,20	
13,8	0,329	0,66	1,32	
15	0,322	0,64	1,29	Місце спирання віконних блоків
13,6	2,38	4,76	9,52	Місце спирання підкранової балки
18,4	7,7	15,40	30,80	Місце спирання ферми

Для врахування фізичної нелінійності в ПК «ЛИРА 9.6» задаємо характеристики матеріалу, наведені в табл. 6.

Таблиця 6 – Характеристики матеріалу для нелінійного розрахунку

Параметри в ПК «ЛИРА 9.6»	Параметри матеріалу	Значення характеристик міцності, МПа
E_0	E_{cm}	$30 \cdot 10^3$
σ^+	f_{ctk}	1,5
σ^-	f_{cd}	14,5

У результаті розрахунків з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу отримуємо значення напружень в елементах колони (табл. 7).

Згідно з результатами розрахунків, розбіжність отриманих значень не перевищує 20%. Отже, нелінійний розрахунок в цьому випадку підтверджує результати лінійного.

Таблиця 7 – Порівняння напружень при лінійному та нелінійному розрахунках

Сейсмічне навантаження, бали	Міцність на стиск, МПа	Стискаючі напруження, МПа					
		Підсилений елемент колони		Похибка, %	Непідсилений елемент колони		Похибка, %
		Розрахунок			Розрахунок		
		Лінійний	Нелінійний		Лінійний	Нелінійний	
7	7,736	3,1	3,65	17,7	2,8	3,34	19,3
8	6,769	4,9	5,48	11,8	4,55	5,17	13,6
9	5,802	8,4	9,15	8,9	8,1	8,82	8,9

Висновки. За результатами досліджень НДС колони промислової будівлі при сейсмічних навантаженнях різної бальності можна зробити такі висновки:

– при підсиленні двогілкової колони промислової споруди до рівня +3,100 мідність на стиск не забезпечується лише при розрахунковій сейсмічності 9 балів, але оскільки землетрус такої бальності на території України для промислових районів не прогнозується, то запропоноване підсилення є прийнятним;

– нелінійний розрахунок підтверджує результати лінійного, й розбіжність отриманих даних не перевищує 19,5%.

Отже, для районів з сейсмічністю 7, 8 та 9 балів необхідне превентивне підсилення подібних конструкцій з урахованням сейсмічних навантажень.

Література

1. ДБН В.1.1-12:2006 *Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво у сейсмічних районах України.* – К. : Мінбуд України, 2006. – 84 с.

2. *Общее и динамическое обследование строительных конструкций. Оценка технического состояния конструктивных элементов зданий. Разработка рабочей документации на ремонтно-восстановительные работы. Составление паспортов технического состояния зданий: склада концентрата №1; корпуса 3–4 стадии дробления; пульпонасосной станции №1. Склад концентрата №1 (отчет о научно-исследовательской работе) / [керівник Бондаренко М.А.]. – Кривий Ріг: КТУ, 2005. – 299 с.*

3. ЛІРА 9.2. *Примеры расчета и проектирования: [учебное пособие] / [М.С. Барабаш, Ю.В. Гензерский, Д.В. Марченко, В.П. Титок]. – К. : Факт, 2005. – 106 с.*

4. ДБН В.1.2–2:2006 *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.* – К. : Мінбуд України, 2006. – 60 с.

Надійшла до редакції 18.10.12

© О.І. Валовой, О.О. Сліпич, К.М. Романенко,

А.І. Валовой, к.т.н, проф., А.А. Сліпич, к.т.н, доц., Е.Н. Романенко, ассистент

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХВЕТВЕВОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛИНЕЙНОГО И НЕЛИНЕЙНОГО РАСЧЕТОВ

Осуществлено целенаправленное исследование напряженно-деформированного состояния модели усиленной двухветвевой колонны промышленного здания в процессе действия сейсмических нагрузок разной бальности при линейном и нелинейном расчетах. По результатам исследований сделаны выводы.

Ключевые слова: *двухветвевая колонна, напряженно-деформированное состояние, сейсмические нагрузки.*

A.I. Valovoy, Professor, Ph.D., A.A. Slipych, Ph.D., Associate Professor, K.N. Romanenko, Assistant

Krivoy Rog National University

THE INVESTIGATION OF TENSE-DEFORMED STATE OF JOINED CONCRETE PILLAR UNDER THE SEISMIC PRESSURE IN ACCORDANCE WITH THE RESULTS OF LINEAR AND NONLINEAR CALCULATIONS

The investigation was conducted to determine the state of joined concrete pillar under the influence of seismic pressure of different forces using linear and nonlinear calculations. The conclusions were made.

Keywords: *joined pillar, tense-deformed state, seismic pressure.*