

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ЗУСИЛЬ В ЕЛЕМЕНТАХ СТАЛЕВОГО КАРКАСУ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ ЗА 80 РОКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Пічугін С.Ф., д.т.н., проф., Семко О.В., д.т.н., проф., Бібік М.В.,
к.т.н., доц., Трусов Г.М., к.т.н., доц., Бібік В.М., ст. викл.,
Гасенко А.В., к.т.н., доц.**

*Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, Україна*

Постановка проблеми та її обґрунтування. Для влаштування великопролітних покриттів цехів виробничих будівель та громадських спортивно-розважальних закладів широко використовують сталеві конструкції [1]. Їхні переваги над залізобетонними в тому, що вони більш легкі, під час їх зведення скорочуються терміни будівництва й інвестиційного циклу в цілому, досягається економія енерговитрат при виробництві, транспортуванні та зведенні.

На сьогоднішній день середній термін експлуатації виробничих будівель та споруд в Україні складає 30...50 років, а окремих будівель до 80 років [2], що вимагає проведення планових оглядів технічного стану будівель та за необхідності ремонтних робіт.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. У роботі [3] за результатами обстеження експлуатованих будівель обґрунтовано, що основні дефекти конструкцій є наслідком помилок, допущених при їх проектуванні, виготовленні та монтажі [4, 5]. Пошкодження конструкцій, що виникають та розвиваються під час їх експлуатації, – це наслідок грубих порушень правил технічної експлуатації, неточності врахування існуючого напружено-деформованого стану конструкцій у проектах підсилення та реконструкції [6].

У [2] запропонована модель деградації елемента, що має за мету встановити закон надійності як функції від часу, а отже дати змогу прогнозувати його технічний стан.

На зміну внутрішніх зусиль в елементах конструкції просторового каркасу будівлі впливає перш за все зовнішнє навантаження, а також тип розрахункової схеми (ступінь її статичної невизначеності). Одним з основних навантажень на території України на сталеві конструкції легких покриттів будівель є снігове навантаження [7, 8] (близько 50-70% від загального навантаження, що включає і власну вагу конструкцій покриття [9]). До несприятливих комбінацій навантажень слід теж віднести і вітрове навантаження [10], тим більше, що воно має пульсаційні, змінні по висоті будівлі характеристики [9].

На несучий сталевий каркас виробничої будівлі, окрім змінного атмосферного навантаження, значний вплив має також навантаження від мостових чи підвісних кранів [11]. Це навантаження відноситься до тимчасового, змінного, вимагає обов'язкове врахування коефіцієнтів динамічності [9].

Виділення невирішеної раніше проблеми. Не дивлячись на значний обсяг рекомендацій щодо проведення регулярних технічних обстежень будівель і споруд, опублікованих узагальнених звітів таких обстежень, а також виявлення причин аварій будівельних конструкцій та шляхів їх запобігання, недослідженим залишається обґрунтованість зміни розрахункової схеми поперечника експлуатованої будівлі під час реконструкції, що веде до перерозподілу зусиль в її елементах.

Мета даної роботи – виявити причини зміни режимів роботи конструкцій несучого просторового каркасу промислової будівлі на протязі 80 років її експлуатації, що виникли під час розробки проектів реконструкції та втілення цих проектів в життя.

Виклад основного матеріалу. Необхідність проведення чергового обстеження несучих конструкцій виробничої будівлі постала у зв'язку із збільшенням виробничих потужностей ливарного виробництва, розташованого в будівлі. Обстежувана ділянка ливарного цеху, побудована у 1932-1935 роках, є одноповерховою, трьохпролітною каркасною будівлею, без підвалу та в осях Е-Р. Будівля являє собою сталевий рамний каркас з кроком колон 10 м та кроком кроквяних ферм 5 м, які спираються на підкроквяні ферми. Середній 14-метровий проліт К-М із змінною висотою до нижнього поясу ферм від 7,5 до 10 м є тришарнірною рамою, на яку шарнірно спираються бічні 20-метрові прольоти Е-К та М-Р висотою 12,5 м. Додатково на колони ряду Е спираються ферми покриття та підкранові балки 10-метрового прольоту Г-Е сусідньої формувальної ділянки (див. розріз на рис. 1).

Колони усіх трьох прольотів – металеві решітчасті, двогілкові. Кроквяною конструкцією парних осей є тришарнірна рама, що є просторовою наскрізною конструкцією та складається з двох напівам, до складу яких входять колони осей К та М. Кроквяні конструкції непарних осей виконані у вигляді кроквяних ферм, що шарнірно спираються на підкроквяні ферми. Підкранові балки бічних прольотів розрізні суцільностінчаті, виконані з клепаного (зварного) складеного двотавра. Підкроквяні ферми наскрізного типу поєднані в просторові підкраново-підкроквяні блоки прольотом по 10 м, які спираються на колони каркасу. Підкранова та підкроквяна частини блоку з'єднуються по верхньому та нижньому поясу гальмівними та в'язевими горизонтальними фермами з прокатних кутиків.

За проектом 1932 року покрівля будівлі була холодною без світло-аераційних ліхтарів та складалася з дерев'яної обрешітки та руберойдного килиму (див. схему 1 на рис. 1). Усі металеві конструкції каркасу виконувалися клепаними з прокатних профілів.

У період Великої Вітчизняної Війни цех зазнав бомбардування, обстрілу та пожежі. У післявоєнний період металокаркату цеху неодноразово підсилювалися за різними проектами. Усі підсилення виконувалися на зварюванні. Так, в прольотах Е-К, К-М та М-Р виконано заміну та встановлено додаткові мостові крани вантажопідйомністю від 15/3 тс до 30/5 тс (див. рис. 2); у бічних прольотах відновлено роботу консольних кранів вантажопідйомністю 3 тс; на покритті встановлено поздовжні світло-аераційні ліхтарі висотою 2,5 та 3,3 м; змінено склад покрівлі (рулонна покрівля з 3-5 шарів, цементно-піщана стяжка 40-60 мм, шлаковата 40 мм у якості утеплювача; азбестоцементні листи посиленого профілю). У прольоті Г-Е були замінені кроквяні ферми та частково встановлені додаткові світло-аераційні ліхтарі (див. схему 2 на рис. 1).

схема 1

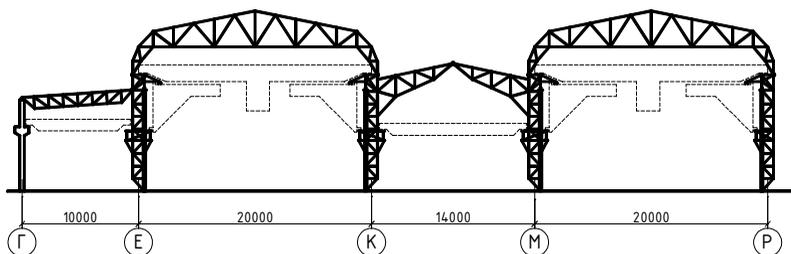


схема 2

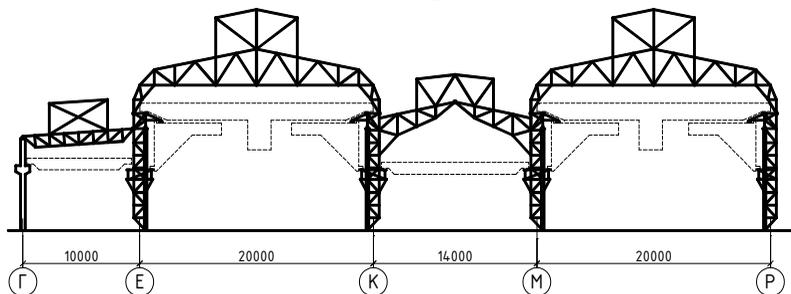


Рис. 1. Зміна розрахункової схеми несучого каркасу ливарного цеху за період експлуатації: схема 1 – первісна розрахункова схема каркасу 1932 року; схема 2 – існуюча розрахункова схема каркасу на 2013 рік

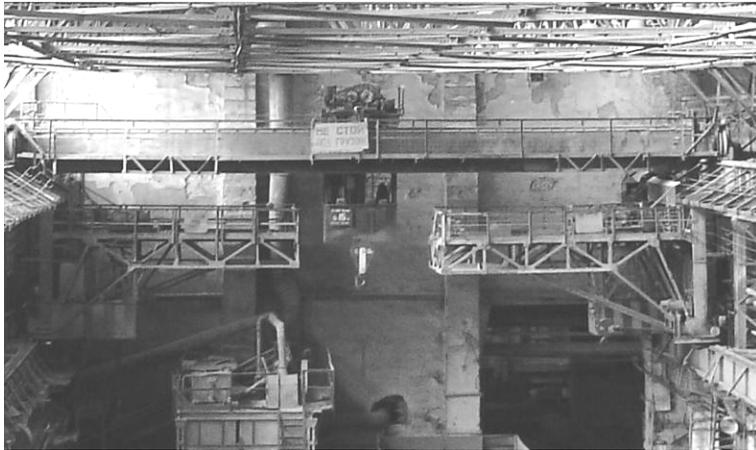


Рис. 2. Загальний вигляд мостових та консольних кранів прольоту М-Р

Встановлення після капітального відновлення у післявоєнні роки додаткових мостових кранів призвело до суттєвого збільшення кранових навантажень на конструкції несучого каркасу. Утеплення покрівлі та встановлення світло-аераційних ліхтарів призвело до суттєвого збільшення навантаження на конструкції покриття. За тривалий термін експлуатації цеху змінилися кліматичні умови – зросли значення снігових навантажень, що було враховано в нових нормативних документах [6]. Наведене збільшення навантаження призвело до збільшення внутрішніх зусиль у елементах каркасу будівлі та переміщень вузлів каркасу, що в свою чергу викликало ускладнення в експлуатації мостових кранів.

Для вирішення питання зменшення горизонтальних переміщень колон каркасу та кранових колій рядів Е та М, а також зменшення навантаження на конструкції покриття запропоновано змінити існуючу розрахункову схему каркасу: схеми 3 та 4, що показані на рисунку 3.

Розрахункова схема 3 передбачає реконструкцію каркасу цеху з виконанням комплексу заходів для зменшення навантаження на конструкції:

- підняття покриття середнього прольоту К-М шляхом перекриття ендів рядів К та М (дозволить зменшити висоту перепаду покрівлі вздовж рядів К та М, що зменшить «снігові мішки» та величину снігового навантаження на покриття);

- заміну існуючої утепленої покрівлі по хвилястим азбестоцементним листам (загальною вагою 2 кПа) на легку покрівлю з тришарових металевих панелей (загальною вагою 0,2-0,25 кПа);

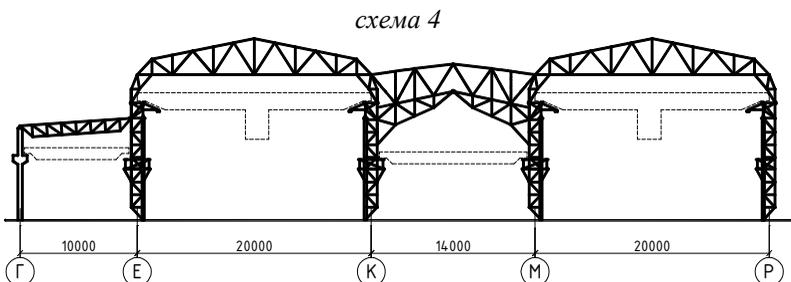
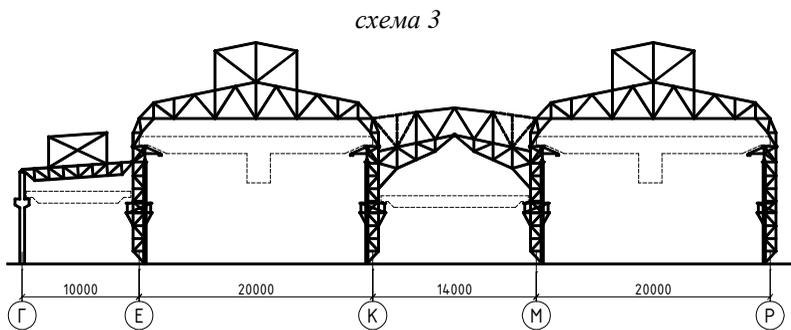


Рис. 3. Запропонована зміна розрахункової схеми несучого каркасу ливарного цеху №1: схема 3 – існуючий поперечник після підняття середнього прольоту К-М; схема 4 – існуючий поперечник після підняття середнього прольоту К-М та демонтажу ліхтарів

– демонування консольних кранів прольотів Е-К та М-Р.

Розрахункова схема 4 передбачає виконання усіх заходів як і для схеми 3, а також додатково демонування поздовжніх світлоаераційних ліхтарів прольотів Е-К та М-Р.

Результати розрахунків згідно [12] поперечників чотирьох розрахункових схем, наведених на рисунках 1 і 3 при максимальному завантаженні «Власна вага + сніг + вітер + мостові і консольні крани» зведені до таблиці 1. Контролювалися зміни внутрішніх зусиль (поздовжньої сили) в елементах несучих конструкцій, а також горизонтальних і вертикальних переміщень вузлів каркасу на відмітках верху кранових рейок (+10,150м) та низу кроквяних ферм (+12,540м) по рядах Е, К, М і Р. За центр координат (нульові переміщення) прийнято центр середнього прольоту К-М. Зміна внутрішніх зусиль та переміщень порівнювалась між існуючою схемою 2 поперечника, взятою за базову, та первісною схемою 1 (див. рис. 1), а також запропонованими схемами реконструкції 3 і 4 (див. рис. 3).

Таблиця 1

Порівняння результатів розрахунку розрахункових схем

№ схеми	Найменування розрахункової схеми	Зміна зусиль в елементах каркасу						Зміна горизонтальних переміщень на відм.+10,150м /+12,540м		
		Ферми – н.п./в.п.			Колони – дв.г./реш.г.					
		проліт			вісь			вісь		
		Е-К	К-М	М-Р	Е	К	М	Р	Е	Р
1	Поперечник 1932 року	0.97	1.16	1.04	0.99	1.01	1.02	1.00	1.00	1.03
		0.97	0.72	1.04	0.99	0.92	1.13	1.10	1.02	1.04
2	Існуючий поперечник 2013 року	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	Поперечник після підняття середнього прольоту К-М	0.92	0.63	0.86	0.97	0.93	0.97	0.97	0.52	0.55
		0.84	1.81	0.83	0.96	0.87	0.73	0.96	0.20	0.44
4	Поперечник після підняття середнього прольоту К-М та демонтажу ліхтарів прольотів Г-Е, Е-К і М-Р	0.89	0.60	0.86	0.96	0.93	0.97	0.97	0.53	0.54
		0.84	1.74	0.83	0.95	0.88	0.72	1.04	0.24	0.44

У таблиці 1 прийняті наступні скорочення: н.п. і в.п. – нижній і верхній пояси ферм; дв.г. і реш. г. – двотаврова і решітчаста гілки колон відповідно.

Висновок. Виконаний аналіз зміни розрахункових схем поперечника цеху в осях Г-Р доводить можливість заміни існуючої розрахункової схеми на більш ефективну з точки зору просторової жорсткості. Ефективність нової розрахункової схеми полягає в:

- заміні покрівлі на легку із використанням профільованого настилу та ефективного мінераловатного утеплювача, що зменшує зусилля в елементах та деформації від постійного навантаження приблизно в два рази;
- демонтажі консольних кранів прольотів Е-К і М-Р, що зменшує зусилля в елементах та деформації від тимчасового кранового навантаження приблизно на 10-50%;
- піднятті покрівлі середнього прольоту К-М, що зменшує зусилля в елементах в середньому на 15%, а горизонтальні переміщення точок каркасу в середньому на 40%.

SUMMARY

It is presented a brief description of the architectural and planning solutions of industrial buildings that changed during its operation over 80 years. The effective variants of changing settlement schemes of the frame are shown to improve spatial frame rigidity and reduce internal efforts in its elements.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горохов Е.В. Надежность эффективных пространственных большепролетных конструкций покрытий спортивных сооружений / Е.В. Горохов, В.Ф. Мушанов // Сб. науч. трудов Института строительства и архитектуры МГСУ. – М., 2008. – С. 91 – 95.
2. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / [А.В. Перельмутер, В.М. Гордєєв, С.В. Горохов та ін.] ; під ред. А.В. Перельмутера. – К. : Сталь, 2002. – 166 с.
3. Типові пошкодження несучих конструкцій складських і виробничих будівель та шляхи запобігання їх утворення / С.Ф. Пічугін, О.В. Семко, Г.М. Трусів, В.М. Бібік, А.В. Гасенко // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне : НУВГ таП, 2012. – Вип. 23. – С. 715 – 720.
4. Беляев Б.И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Б.И. Беляев, В.С. Корниенко. – М. : Издательство литературы по строительству, 1968. – 208 с.
5. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будинків і споруд, що знаходяться в експлуатації. – Держбуд України ; К. : Украндбудінформ, 1992. – 45 с.
6. Волкова И.А. Экспертное диагностирование коррозионного разрушения при определении остаточного ресурса строительных металлоконструкций / И.А. Волкова // Современные проблемы строительства. – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, 2004. – Вып. 7. – С. 36–43.
7. Пичугин С.Ф. Снеговые и гололедные нагрузки на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько. – Полтава, 2012. – 460 с.
8. Пічугін С.Ф. Засоби боротьби з підвищеним сніговим навантаженням на покрівлю / С.Ф. Пічугін, О.В. Семко, Ю.В. Дрижирук // Зб. наук. пр. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2007. – Вип. 20.– С. 95–100.
9. Навантаження і впливи : ДБН В.1.2-2:2006. – [Чинний з 2007–01–01]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 59 с. – (Державні будівельні норми України).
10. Пичугин С.Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько. – Полтава, 2005. – 342 с.
11. Пичугин С.Ф. Крановые нагрузки на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин. – Полтава, 2014. – 504 с.
12. Сталеві конструкції. Норми проектування : ДБН В.2.6-198:2014. – [Чинний з 2015–01–01]. – К. : Мінбуд України, 2014. – 199 с. – (Державні будівельні норми України).