

*С.Ф. Пичугін, д.т.н., професор
Ю.Е. Патенко, к.т.н.*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ВИЗНАЧЕННЯ ВНЕСКУ В'ЯЗЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ У НАДІЙНІСТЬ КАРКАСІВ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

Визначено вплив на надійність каркасів окремих відмов елементів в'язей, спричинених випадковими впливами. Розглянуті моделі сталевих каркасів виробничих будівель, запроєктованих на навантаження, регламентовані ДБН В.1.2-2:2006. Наведено залежність ймовірнісних параметрів каркасів від внеску різних в'язевих елементів у забезпечення просторової роботи каркасів.

Ключові слова: *надійність конструкцій, просторова робота, сталевий каркас, система в'язей.*

*С.Ф. Пичугин, д.т.н., профессор
Ю.Э. Патенко, к.т.н.*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА СВЯЗЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАДЕЖНОСТЬ КАРКАСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Определено влияние на надежность каркасов отдельных отказов элементов связей, вызванных случайными воздействиями. Рассмотрены модели стальных каркасов производственных зданий, запроектированных на нагрузки, регламентированные ДБН В.1.2-2:2006. Приведена зависимость вероятностных параметров каркасов от вклада связевых элементов в обеспечение пространственной работы каркасов.

Ключевые слова: *надежность конструкций, пространственная работа, стальной каркас, система связей.*

*S. Pichugin, ScD, Professor
Yu. Patenko, PhD*

Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University

DETERMINATION OF INFLUENCE OF THE BRACING ELEMENTS ON RELIABILITY OF INDUSTRIAL BUILDING FRAMEWORKS

The article is devoted to the determination of influence of the bracing elements failure on steel frameworks reliability. Steel frameworks of one-storey industrial buildings with overhead travelling cranes were considered. Crane loads were offered suggesting to DBN V.1.2-2:2006. The dependence of probabilistic parameters of frameworks from bracing elements contribution in the design reliability assurance is given.

Key words: *structural reliability, spatial performance, steel frame, bracing system.*

Вступ. На сучасному етапі розвитку ймовірнісних розрахунків залишається невирішеним питання оцінювання надійності сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель (ОВБ). Така ситуація склалася, зважаючи на складний математичний апарат ймовірнісних методів для аналізу просторових систем каркасів виробничих будівель. Вирішення цього питання пов'язане з урахуванням випадкового характеру міцності сталі та навантажень, які діють на конструкції, а також дійсного характеру роботи каркасів. У зв'язку із цим актуальними є дослідження впливу на надійність каркасів окремих відмов елементів в'язей, спричинених випадковими факторами.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Ймовірнісним розрахункам конструкцій присвячені роботи [6, 12, 15]. Аналіз факторів, які визначають надійність сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель, обладнаних мостовими кранами, виконаний у роботах [11, 12]. Оцінювання надійності сталевих каркасів виробничих будівель з урахуванням збільшених у нормах [1] характеристичних значень кранових навантажень [2, 5, 8, 10, 14] та з урахуванням просторової роботи сталевих каркасів [3, 4, 7, 9] виконано у роботах [5, 11, 12].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Оцінка надійності сталевих каркасів дозволить заповнити частину невирішених питань із надійності будівельних конструкцій. Потребує уточнення питання пошуку визначальних впливів на показники надійності каркасів ОВБ та кількості елементів, які слід ураховувати при формуванні розрахункових моделей каркасів для об'єктивного оцінювання надійності будівель. Така оцінка для сталевих каркасів, обладнаних мостовими кранами, які розраховані на дійсні значення навантажень з урахуванням просторової роботи, зробить суттєвий внесок у розв'язання актуальної проблеми надійності сталевих каркасів виробничих будівель, котра має велике теоретичне та практичне значення.

Формулювання цілей статті. Метою статті є визначення впливу на надійність каркасів окремих відмов елементів в'язей, спричинених випадковими впливами, а також оцінювання надійності конструкцій сталевих каркасів виробничих будівель, запроектованих на навантаження, регламентовані нормативним документом [1].

Основний матеріал і результати. Для розрахунку надійності каркасів застосовувався логіко-ймовірнісний метод з огляду на зручність та наочність методу для опису поведінки складних багатів'язевих систем каркасів виробничих будівель. Процес руйнування каркаса аналізувався методом станів за допомогою графа, який передбачає розгляд вихідного стану системи та наступних проміжних працездатних станів, що виникають із вихідного стану внаслідок відмови елементів.

На прикладі каркаса ОВБ із чотириколісними мостовими кранами вантажопідйомністю 50 тс розглянемо можливі відмови конструктивних елементів, які забезпечують важливі функції перерозподілу зусиль у каркасах при локальних навантаженнях. Такими конструктивними елементами є гальмівні конструкції, горизонтальні в'язі по нижніх поясах кроквяних ферм, робочі майданчики, горизонтальні ригелі стінового фахверка, прогони покриття.

Завантаження каркаса виконується постійними (від власної ваги конструкцій, ваги покриття та огороження) й змінними навантаженнями (від впливу снігу, вітру та мостових кранів). Так, деформована схема каркаса від комбінації всіх прикладених навантажень має вигляд, показаний на рис. 1.

Попередній етап оцінювання надійності каркасів ОВБ передбачає аналіз внутрішніх зусиль і переміщень конструкцій каркаса у випадку відмови його елементів. Результати розрахунку внутрішніх зусиль у каркасі ОВБ від комбінації навантажень для цієї схеми показані на рис. 2.

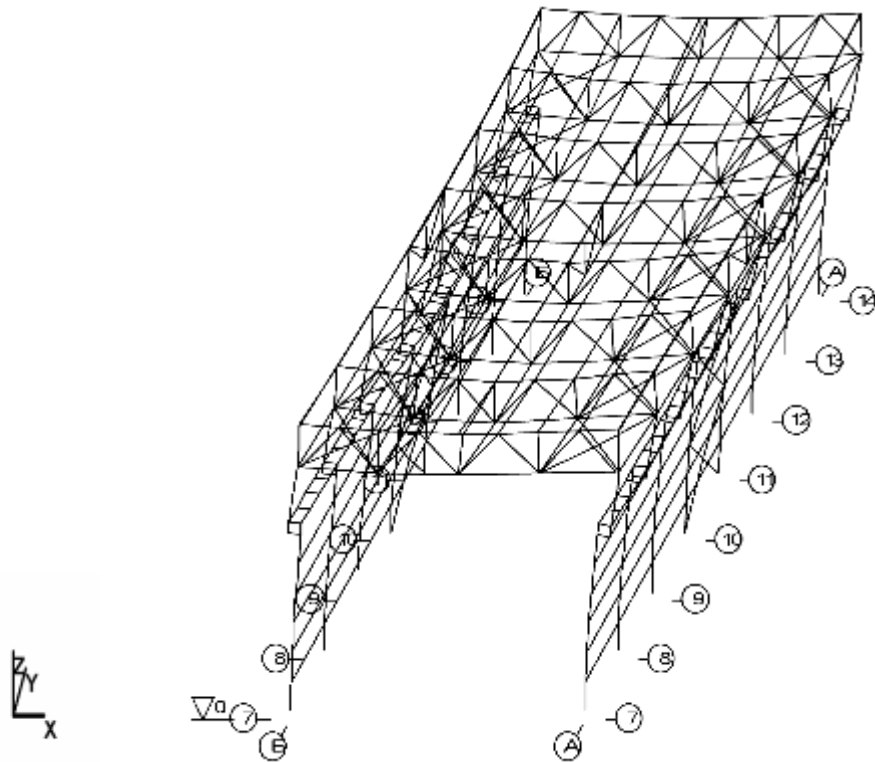


Рис.1. Деформована схема каркаса від дії суми навантажень

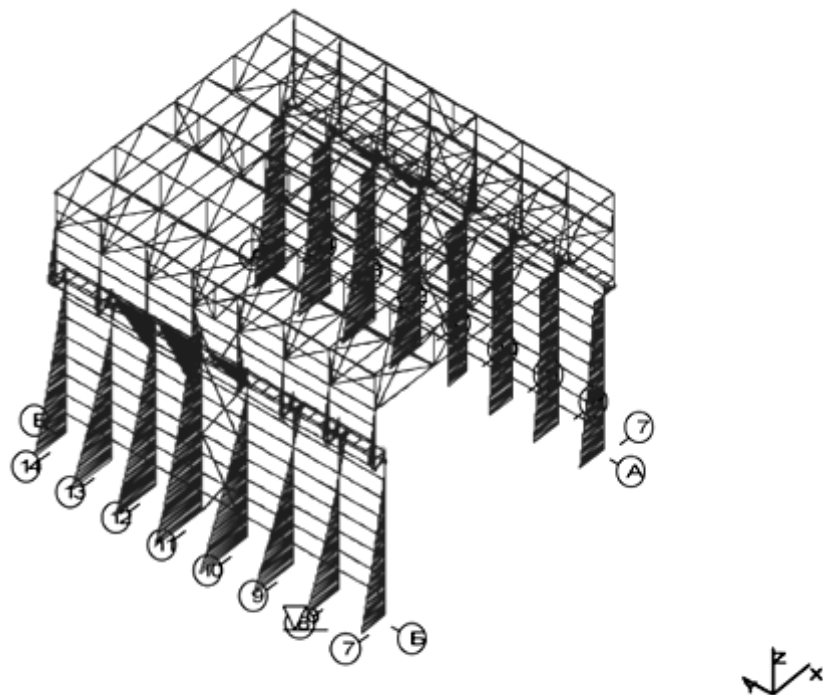


Рис. 2. Епюри внутрішніх згинальних моментів у каркасі ОБВ

Отримані результати ймовірнісних розрахунків показали практично однакові параметри надійності всіх варіантів каркасів. Імовірність відмови каркаса протягом 50 років становить $Q(t=50) = 1,75 \cdot 10^{-7}$. Із цього можна зробити висновок, що система каркаса не чутлива до відмови окремих елементів розглядуваних конструкцій і в

подальшому аналізі слід переходити від оцінювання внеску окремих елементів до аналізу впливу на каркас фрагментарних або цілісних в'язевих дисків.

Для виявлення впливу на надійність каркаса в'язевих дисків по чергово видаляються окремі в'язеві блоки до отримання плоскої рами будівлі та порівнюються параметри роботи плоскої поперечної рами та рам у складі просторових блоків (рис. 3).

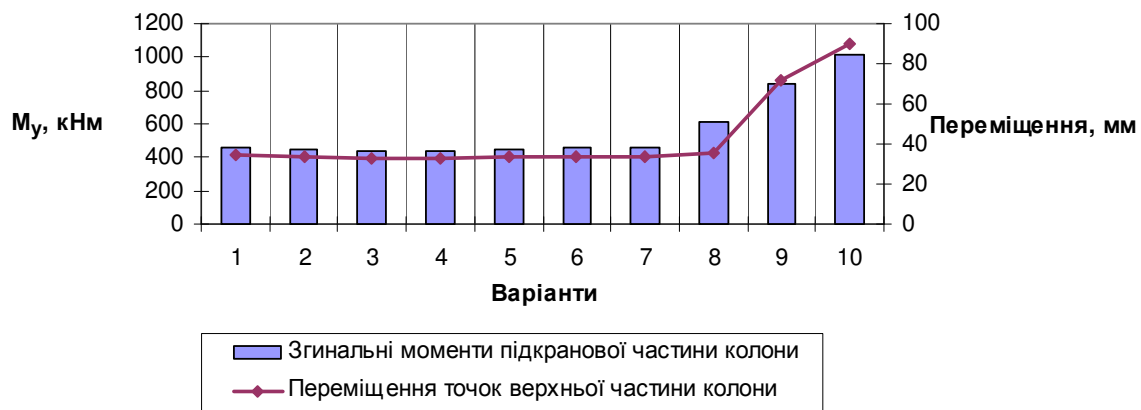


Рис. 3. Внутрішні зусилля й переміщення колони каркаса ОБВ при різних схемах

Розглянуто такі варіанти каркаса ОБВ:

- 1) каркас з усіма поперечними рамами (21 рама) й усіма елементами в'язей та покриття;
- 2) повний каркас будівлі (варіант 1) без поперечних елементів в'язей по верхньому поясу кроквяних ферм;
- 3) повний каркас будівлі (варіант 1) без конструктивних елементів у торцях будівлі (фахверкових колон, горизонтальних вітрових ферм і робочих майданчиків);
- 4) середній блок із восьми поперечних рам. У цьому блоці присутні такі в'язеві елементи: в'язі по верхніх і нижніх поясах кроквяних ферм, вертикальні в'язі по фермах та колонах, гальмівні конструкції по підкранових балках, а також прогони для кріплення сталевого профільованого настилу;
- 5) варіант 3 просторового блока без поздовжніх вертикальних в'язей по кроквяних фермах. У блоці наявні в'язі по нижніх та верхніх поясах ферм, гальмівні конструкції, прогони;
- 6) варіант 4 без прогонів. У блоці є в'язі по нижніх та верхніх поясах ферм, гальмівні конструкції;
- 7) варіант 5 без в'язей по верхньому поясу ферм. У блоці наявні в'язі по нижніх поясах ферм, гальмівні конструкції;
- 8) варіант 6 без гальмівних конструкцій. У блоці є в'язі по нижніх поясах ферм;
- 9) варіант 7 без в'язей по нижніх поясах ферм. У блоці наявні лише підкранові балки;
- 10) плоска поперечна рама.

Результати розрахунку перелічених варіантів, наведених на рис. 3, демонструють близькі значення дослідних параметрів для варіантів 1 – 7. Для цих варіантів значення згинальних моментів від суми навантажень, діючих на конструкції будівлі, відрізняються від вихідного варіанта на 0,5 – 2,3 %, значення переміщень точок колон – на 0,3 – 1,9 %.

Для варіантів 8, 9 характерне стрімке зростання значень внутрішніх зусиль та переміщень (крім варіанта 8, за яким переміщення точок колон зросло на 5,4 % порівняно з вихідним варіантом). Значення згинальних моментів варіанта 9 порівняно з варіантом 10 (плоскою поперечною рамою) знизилося на 17 %, для варіанта 8 –

на 40 %. Загалом можна відзначати високу ефективність в'язей по нижніх поясах кроквяних ферм (варіант 8), а також гальмівних конструкцій (варіант 9) у забезпеченні перерозподілу зусиль цими конструкціями з безпосередньо завантажених поперечних рам на сусідні поперечні рами.

Результати ймовірного розрахунку дев'яти варіантів каркасів будівлі та плоскої поперечної рами (варіант 10) показані на рис. 4 у вигляді ймовірностей безвідмовної роботи конструкцій протягом 50 років $P(t)$, вираженої у белах, $P_L = -\lg [1 - P(t)]$. Ймовірність відмови варіантів 1 – 6 знаходиться в межах $Q(t) = 1,05 \cdot 10^{-7} \dots 1,75 \cdot 10^{-7}$. Відкидання гальмівних конструкцій (варіант 8) призводить до підвищення ймовірності відмови порівняно з варіантом 7 із $Q(t) = 1,75 \cdot 10^{-7}$ до $Q(t) = 9,72 \cdot 10^{-5}$ (варіант 8). Видалення зі схеми каркаса диска в'язей покриття (варіант 9) спричинює зниження рівня надійності каркаса, при цьому кількість можливих викидів резерву стійкості у від'ємну область протягом 50 років підвищується до $N_+(t) = 0,11$.

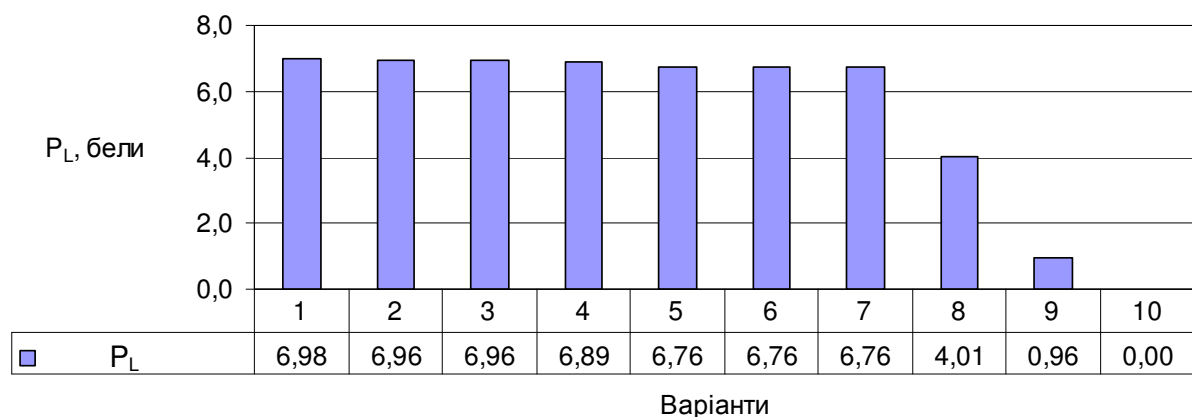


Рис. 4. Ймовірність безвідмовної роботи колон каркаса ОВБ при різних варіантах

Для варіанта 10 (плоскої поперечної рами) отримане значення ймовірності безвідмовної роботи $D(t) \cong 0$, що вказує на недостатню надійність колони плоскої поперечної рами каркаса ОВБ. Параметрична надійність варіантів 1–7 знаходиться в межах $Q(\beta) = (6,16 \dots 9,47) \cdot 10^{-13}$ і зменшується для варіантів 8, 9 та приймає найменше значення для варіанта 10 $Q(\beta) = 6,70 \cdot 10^{-5}$.

Висновки. Реалізована оцінка надійності колон каркасів ОВБ з урахуванням фактора часу та стохастичного характеру навантажень і міцності сталі. Виконаний аналіз впливу відмов окремих в'язевих елементів на надійність сталевого каркаса дозволив відмітити, що такі багатов'язеві системи, як каркаси ОВБ не чутливі до одиничних відмов елементів в'язей.

Ймовірнісні розрахунки колон у складі каркасів при врахуванні у просторових розрахункових моделях гальмівних конструкцій, підкранових балок та в'язей покриття по нижніх поясах кроквяних ферм виявили високу надійність конструкцій, для яких ймовірність відмови протягом 50 років становить $Q(t) = 1,75 \cdot 10^{-7}$. Уведення у розрахункові моделі інших елементів, таких як в'язі покриття по верхніх поясах ферм, прогони покриття, горизонтальні ригелі стінового фахверка, незначно підвищує надійність каркасів. Ймовірність відмови при таких варіантах розрахункових схем знаходиться у межах $Q(t) = 1,73 \cdot 10^{-7} \dots 1,05 \cdot 10^{-7}$ й різко знижується, якщо не враховувати у просторових моделях каркасів в'язей покриття та гальмівних конструкцій.

Література

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. – [Чинний від 2007-01-01]. – Мінбуд України. – К. : Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с.
2. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / [В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, А.В. Пашинский, С.Ф. Пичугин]; под ред. А.В. Перельмутера. – М. : Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2006. – 482 с.
3. Натурні випробування сталевого каркаса / [С.Ф. Пичугін, О.В. Семко, Ю.Е. Патенко та ін.] // *Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения* : сб. науч. трудов. – Д. : ПГАСА, 2010. – Вып. 56. – С. 320 – 324.
4. Патенко Ю. Е. Аналіз дійсної роботи сталевого каркаса виробничої будівлі / Ю.Е. Патенко, І.О. Петров, С.С. Шматко // *Зб. наук. праць студентів будівельного факультету*. – Полтава : ПолтНТУ, 2011. – С. 3 – 9.
5. Патенко Ю. Е. Надійність сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Ю.Е. Патенко. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 25 с.
6. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий : монография / С.Ф. Пичугин. – [2-е изд.]. – М. : Изд-во «АСВ», 2011. – 455 с.
7. Пичугин С.Ф. Влияние крановых нагрузок на каркасы производственных зданий / С.Ф. Пичугин, Ю.Е. Патенко // *Будівельні конструкції спортивних та просторових споруд: сьогодні та перспективи розвитку*: зб. наук. пр. – К. : УКРНДПСК, 2010. – Вып. 5 – С. 106 – 116.
8. Пичугин С.Ф. Кранові навантаження в ДБН В.1.2–2:2006 «Навантаження і впливи» // *Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону*: зб. наук. пр. – К. : НДІБК, 2007. – Вып. 67. – С. 691 – 702.
9. Пичугин С.Ф. Методика врахування просторової роботи сталевих каркасів виробничих будівель : каталог наук. розроблень ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка / С.Ф. Пичугин, Ю.Е. Патенко. – Полтава : ПолтНТУ, 2011. – С. 33.
10. Пичугин С.Ф. Особливості навантажень на каркаси виробничих будівель / С.Ф. Пичугин, Ю.Е. Патенко, Ю.В. Дрижирук // *Будівельні конструкції : міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць (буд-во) / Держ. підпр-во «Держ. наук.-досл. інст. буд. констр.» Міністерства регіон. розв. та буд-ва України*. – Вып. 74 : [у 2-х кн.]. Книга 1. – Київ, ДП НДІБК, 2011. – С 269 – 277.
11. Пичугин С.Ф. Оцінка надійності сталевих колон постійного перерізу виробничих будівель / С.Ф. Пичугин, Ю.Е. Патенко // *Современные строительные конструкции из металла и древесины*: сб. науч. тр. – Одесса : ОГАСА, 2011. – № 15(2). – С. 191 – 197.
12. Пичугин С.Ф. Питання надійності сталевих каркасів виробничих будівель / С.Ф. Пичугин, Ю.Е. Патенко // *Вісник Донбаської нац. академії будівництва та архітектури*: зб. наук. праць. – Макіївка : ДонНАБА, 2011. – Вып. 4 (90). – С. 146 – 153.
13. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстрой СССР, 1987. – 36 с.
14. Pichugin S. Analysis of Bridge Crane Loads on Industrial Buildings / S. Pichugin // *XLIV Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB. Tom 7. – Poznan-Krynica, 1998. – P. 171 – 178.*
15. Pichugin S. Reliability of Building Structures / S. Pichugin, N. Demchenko. – Poltava : PNTU, 2005. – 91 p.

Надійшла до редакції 24.12.2014

© С.Ф. Пичугин, Ю.Е. Патенко