

– випадковими величинами, котрі пов'язані з особливостями конструкції нафтопровідної системи, вважаються: товщина стінки труби, фізико-механічні властивості матеріалу труби;

– імовірнісними параметрами, які зумовлені ремонтними технологічними процесами, є довжина монтажної ділянки, зусилля на гаках трубоукладачів, взаємне розташування трубоукладачів, просторова геометрія магістрального трубопроводу, властивості ґрунту основи;

– відомими є закони розподілу та стохастичні параметри розрахункових випадкових величин.

**Висновки.** Зважаючи на перераховані вище передумови, можна зробити висновок, що відхилення від технологічної схеми монтажу може призвести до перевищення напруженнями межі текучості сталі  $R_y$  та вплинути на надійність конструкції в цілому.

#### Література

1. Березин, В.Л. Капитальный ремонт нефтепроводов без остановки перекачки / В.Л. Березин, К.Е. Рацеккин. – М.: Недра, 1967. – 128 с.

2. Капитальный ремонт магистральных трубопроводов / В.Л. Березин, К.Е. Рацеккин и др. – М.: Недра, 1978. – 363 с.

3. ВБН В.2.3-00013741-09:2009. Магистральні трубопроводи. Будівництво. Лінійна частина. Очищення порожнини та випробування

4. Капитальный ремонт подземных нефтепроводов / А.Г. Гумеров, А.Г. Зубаиров, М.Г. Векиштейн, Р.С. Гумеров, Х.А. Азметов. – М.: 000 «Недра-Бизнесцентр», 1999. – 525 с.: ил. ISBN 5-8365-0013-4

5. Пічугін, С.Ф. Питання імовірнісного розрахунку сталевих підземних трубопроводів / С.Ф. Пічугін, А.В. Махінько // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. Вип. 9. – Рівне: УДУВГП, 2003. – С. 90 – 96.

6. Пічугін, С.Ф. Розрахунок надійності сталевого магістрального трубопроводу / С.Ф. Пічугін, О.Є. Зима // Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку академічної та університетської науки», 16–18 грудня 2009 р. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – С. 210 – 214.

7. СНиП 2.01.06-85. Магистральные трубопроводы / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 52 с.

8. СНиП III-42-80\*. Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1997. – 74 с.

Надійшла до редакції 24.02. 2010

© С.Ф. Пичугин, А.В. Семко, А.Е. Зима, Ж.Ю. Бескровная

## ОСОБЕННОСТИ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ С ЗАМЕНОЙ ТРУБ

*Рассмотрены особенности капитального ремонта стального магистрального нефтепровода с заменой труб и предпосылки для расчета надежности магистрального нефтепровода при появлении переходной ремонтной ситуации.*

**Ключевые слова:** магистральный нефтепровод, капитальный ремонт, надежность магистрального нефтепровода.

## FEATURES OF OVERHAUL OF MAIN OIL PIPELINE WITH THE REPLACEMENT PIPE

*Features of overhaul of main oil pipeline with the replacement pipe were considered. Preconditions for the reliability analysis of main oil pipeline in case of transient repair situation were considered.*

**Key words:** steel main pipeline, overhaul, reliability of main oil pipeline.

**С.Ф. Пічугін, д. т. н., професор, Ю.Е. Патенко, аспірант,  
І.О. Петров, студент, С.С. Шматко, студент**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ СТАЛЕВОГО КАРКАСА**

*У статті викладено методика натурних випробувань із дослідження просторової роботи каркаса виробничої будівлі. Проаналізовано вплив в'язевих елементів на забезпечення просторової роботи. Наведено опис об'єкта та результати натурних випробувань.*

**Ключові слова:** просторова робота, сталевий каркас, натурні випробування, система в'язей.

**Постановка проблеми.** Уведення у практику проектування ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [1], які замінили СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» [2], вимагає пошуку резервів каркасів виробничих будівель (ВБ) для зменшення необґрунтованих перевитрат матеріалів. Таким резервом є просторова робота каркасів. Дослідження особливостей просторової роботи ВБ не проводилися 20–30 років. У зв'язку із цим актуальними є випробування ВБ у напрямі досліджень дійсної роботи каркасів.

**Аналіз останніх досліджень.** Вивчення особливостей умов роботи конструкцій ВБ починає відлік із 30-х років минулого сторіччя роботами ЦНПС, де в 1933 – 1934 рр. під керівництвом проф. М.С. Стрелецького та проф. С.А. Бернштейна були розгорнуті експериментальні дослідження каркасів ВБ [3]. Надалі цей напрям досліджень продовжено в 1936 – 1937 рр. у ДПІ «Проектстальконструкція». Напрацювання, одержані за тривалий період часу, зібрано, зокрема, в праці [4].

Проблемам дослідження дійсної роботи металевих конструкцій цехів присвячені праці проф. Г.О. Шапіро [5]. Автор зауважує, що врахування просторової роботи каркасів будівель, які розраховуються на кранові навантаження, дозволить економити метал і значно спростить конструктивні рішення баз колон. Доктор технічних наук Є.М. Єрмак розвинув дослідження просторової роботи ВБ у напрямі уточнення розрахункових схем поперечних рам цехів [6]. Проведені дослідження виявили значний ефект просторової роботи, який виражається в суттєвому зниженні зусиль в елементах поперечної рами каркаса та просядок основи від дії мостових кранів.

**Виділення не розв'язаних частин загальної проблеми.** На відміну від значного розвитку практичних методів розрахунків конструкцій, зокрема за допомогою програмних комплексів, а також розвитку нормативної бази, розвиток натурних досліджень будівель не відбувається протягом тривалого періоду часу. Відомості про характер роботи каркасів як просторових систем, отримані раніше, потребують уточнення та поповнення новими експериментальними даними.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розширення відомостей про просторову роботу каркасів ВБ на основі експериментальних досліджень із метою врахування цього резерву каркасів, зважаючи на кранові навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи».

**Виклад основного матеріалу.** Натурні випробування з виявлення особливостей просторової роботи ВБ проведені на металевому каркасі (рис.1, 2) виробничої бази «Укргазпромбуд», м. Полтава. Особливості каркаса, вибраного для випробувань, полягають у конструктивному рішенні будівлі, яка є однопролітною та має елементи, вплив яких на просторову роботу каркасів не був досліджений раніше. Такими елементами є горизонтальні ригелі фахверка, а також в'язі покриття. Роль останніх у забезпеченні просторової роботи будівель досліджувалася раніше [3, 5], та були сформульовані рекомендації щодо урахування цих елементів у теоретичних розрахунках [4]. Проте інтерес до даних досліджень пов'язаний із пошуком відповідностей між указаними рекомендаціями, натурним експериментом і розрахунковою моделлю каркаса, створеною за допомогою сучасних програмних комплексів.



Рисунок 1 – Загальний вигляд каркаса

Дослідний об'єкт являє собою одноповерхий однопролітний каркас із габаритними розмірами в осях 9,8 x 20,7 м (рис. 2). Основною несучою конструкцією його є поперечна рама, яка складається з колон круглого перерізу і ригелів – ферм трикутного обрису висотою 1,6 м. Пояси ферми виконані із труби діаметром 83x4 мм. Ферма має розкісну решітку, яка складається зі стрижнів складеного перерізу із двох кутиків 60 x 6 мм.

Колони каркаса мають суцільний замкнений круглий переріз, діаметр якого становить 273 мм і товщина стінки труби дорівнює 9 мм. Кріплення колон до фундаментів виконано жорстким, за допомогою анкерних болтів.

Просторову жорсткість каркаса забезпечують горизонтальні в'язеві ферми та поздовжні в'язі по колонах. По рядах А й Б каркаса між осями 2-3 встановлені поздовжні в'язі, елементи яких виконані з кутика 75 x 5 мм. В'язі між колонами А2 та А3 виконані у вигляді хрестової системи елементів, між колонами Б2 і Б3 в'язі реалізовані у вигляді розкісної системи елементів.

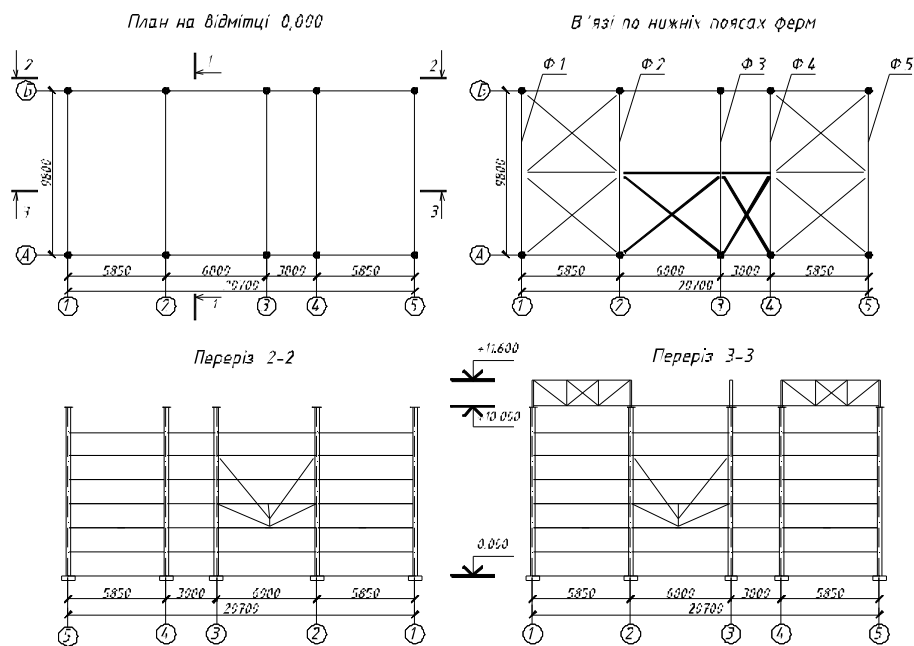


Рисунок 2 – Схеми каркаса

Між фермами Ф1-Ф2 та Ф4-Ф5 встановлені вертикальні в'язі у вигляді ферм із паралельними поясами прольотом 5,8 м. Пояси ферми мають складений переріз, виконаний з двох кутиків 75 x 5 мм. Стрижні хрестової решітки ферми виконані з кутика 50 x 5 мм. Елементи решітки з'єднуються за допомогою фасонки товщиною 7 мм. Між фермами Ф1-Ф2 та Ф4-Ф5 встановлені горизонтальні в'язі по нижніх поясах ферм. Указані хрестові в'язі виконані з кутика 75 x 5 мм. Крім в'язей покриття, по рядах А і Б змонтовані горизонтальні ригелі фахверка, виконані зі швелерів № 16П, 20П та двотаврів № 14Б1. Для даної будівлі

передбачалася прогінна покрівля. Прогони виконані зі швелерів № 10П і змонтовані у частині будівлі в осях 1-2.

Згідно із програмою експерименту, для виявлення внеску горизонтальних в'язей у забезпечення просторової роботи каркаса проведено багатоетапний експеримент. На першому етапі було випробувано каркас за наявності в'язей покриття між осями 1-2 та 4-5. Другий етап досліджень проводився після монтажу в'язей в осях 2-3 і 3-4 (рис. 3).

При експериментальному дослідженні використовувався статичний метод випробування. Проведення експерименту полягало у почерговому завантаженні поперечних рам каркаса горизонтальним навантаженням, направленим поперек цеху. Таке навантаження моделює навантаження від горизонтальних кранових впливів на каркас.



Рисунок 3 – Монтаж в'язей по нижньому поясу ферм

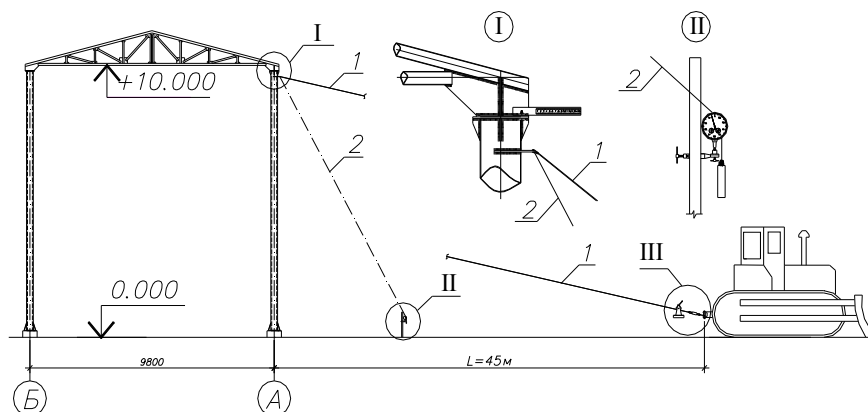


Рисунок 4 – Схема прикладання випробувального навантаження

Оскільки створення горизонтальної сили, прикладеної на великій висоті, вимагає дорогих допоміжних споруд, наприклад спеціальних щогол, виникла необхідність замінити її похилим навантаженням (рис. 4). Навантаження на каркас передавалося шляхом натягнення троса 1 ручною лебідкою вантажопідйомністю 1 тс. Як точку опори використано бульдозер, до якого прикріплювалася лебідка. Для вимірювання сили натягу троса використовувався динамометр, включений у систему «трос – лебідка» (рис. 4, 5, III).

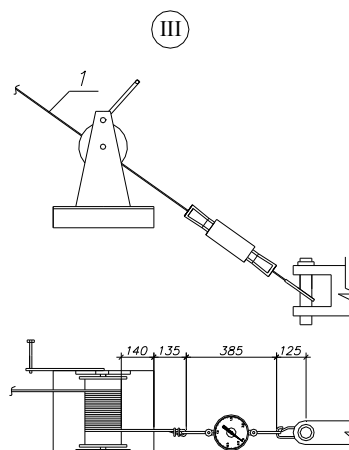


Рисунок 5 – Вузол кріплення динамометра і лебідки до опори

Головним завданням при проведенні експерименту було визначення переміщень колон під час прикладання випробувального навантаження. Для цього застосовано прогиноміри Аїстова (рис. 4, II). Трос 1 та прогиномірний дріт 2 прикріплювалися спеціальними скобами до верхньої частини колон (рис. 4, I). Прогиноміри встановлювалися у площині кожної з поперечних рам на відстані 13...14 м від осі А. Крім того, для контролю переміщень із площини рами було встановлено прогиномір для колони А5.

Для контролю даних, отриманих за допомогою прогиномірів, застосовано оптичний метод вимірювання переміщень. Вимірювання горизонтальних переміщень колон здійснювалося за допомогою теодоліта 4Т30П, який встановлювався на відстані 24 м від каркаса паралельно осі А. У верхній частині колон закріплювалися геодезичні марки з нанесеними шкалами (рис.4, I). Методом візування на марки (рис. 6), які кріпилися до кожної з колон каркаса, знімалися відліки по шкалах марок до навантаження (нульові відліки) та після навантаження колон.



Рисунок 6 – Марки для контролю переміщень оптичним методом

Випробування поперечної рами по осі 3 на першому етапі дали відомості про поведінку під навантаженням рами каркаса, «вільної» від в'язей по нижньому поясу ферм. Залучення в роботу інших рам, при навантаженні однієї рами (рис. 7), обумовлено наявністю поздовжніх в'язей по колонах каркаса (рис. 2). Такий характер роботи суміжних рам каркаса разом із завантаженою рамою вказує на перерозподіл зусиль в його елементах, що необхідно враховувати при формуванні розрахункових схем каркасів. Між тим вплив цілого ряду елементів каркасів раніше (у 30–60-х роках минулого сторіччя) прийнято було вважати другорядним та не враховувати при формуванні просторових моделей каркасів будівель для спрощення розрахунків [4, 5].

Результати другого етапу випробувань показали зменшення поперечних зміщень точок колон порівняно з першим етапом до 3,5 разу [7]. Виявлено значний вплив горизонтального в'язевого диска на сумісну роботу колон каркаса. При завантаженні середньої колони каркаса (А3), інші колони каркаса отримали практично однакові зміщення (рис. 7, б), що можна пояснити високою жорсткістю утвореного в'язевого диска та невеликою довжиною каркаса.

Аналіз графіків, побудованих за даними двох етапів випробувань колон А2, А3, А4 та А5, показав, що в'язі по нижньому поясу ферм дозволяють знизити зусилля у конструкціях каркаса, на що вказують зменшення зміщень точок колон на другому етапі випробувань у 1,5..3,5 разу для навантажених колон. Поздовжні в'язеві елементи по колонах каркаса забезпечують розподіл внутрішніх зусиль у його конструкціях. При завантаженні крайньої колони А5 на першому етапі випробувань колони каркаса (А2 – А4) отримують зміщення верхньої частини у межах від 57 до 7 % від зміщення навантаженої колони А5. Цей факт підтверджує необхідність урахування таких в'язевих елементів при створенні просторових моделей каркасів.

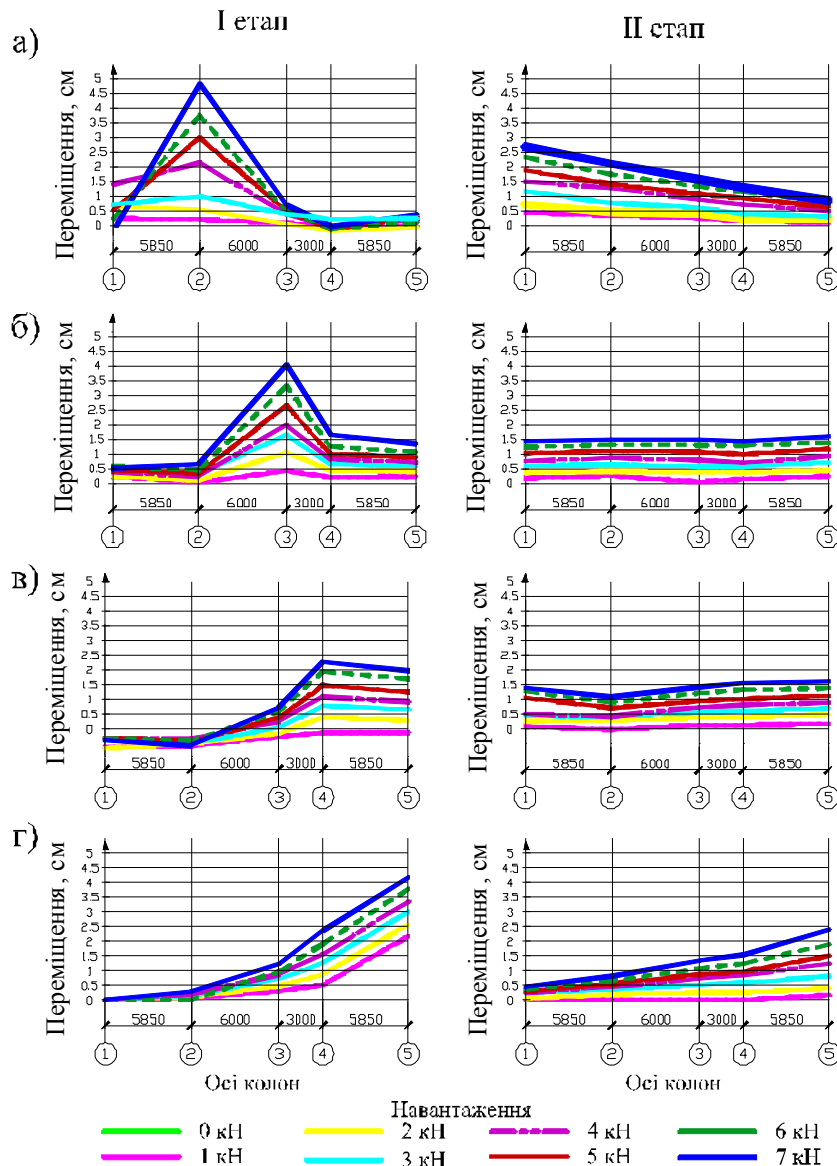


Рисунок 7 – Графіки зміщень колон каркаса:

а) при завантаженні колони по осі 2; б) по осі 3; в) по осі 4; г) по осі 5

**Висновки.** Застосована методика натурних досліджень дозволила отримати важливі відомості про дійсний характер роботи сталевго каркаса як просторової системи та застосувати одержані результати для аналізу впливу окремих елементів на забезпечення просторової роботи. Експериментально підтверджено вплив на просторову роботу каркаса в'язей покриття, а також виявлено вагомий вплив горизонтальних ригелів фахверка. Попереднє порівняння показало відповідність теоретичних розрахунків дослідним даним на першому етапі випробувань. Поперечні зміщення колон суттєво зменшуються при включенні в роботу каркаса в'язей покриття. При цьому поперечні рами каркаса отримують практично однакові переміщення при завантаженні середньої рами, що вказує на високу ефективність в'язевих ферм.

#### Література

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. – К.: Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с.
2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 36 с.
3. Исследование действительной работы стальных конструкций промышленных цехов: сб. трудов / под ред. С. А. Бернштейна. – М., 1938. – 196 с.

4. Расчет поперечных рам стального каркаса одноэтажных промышленных зданий с учетом пространственной работы конструкций. – М.: Государственный проектный институт «Проектстальконструкция», 1957. – 47с.

5. Шапиро, Г.А. Действительная работа стальных конструкций промышленных цехов / Г.А. Шапиро. – М.: Госстройиздат, 1952. – 288 с.

6. Ермак, Е.М. Совершенствование расчетных моделей и конструкций для продления сроков эксплуатации промышленных зданий: автореф. дис....докт. техн. наук / Е.М. Ермак; ХГАЖТ. – Харьков, 2003. – 36 с.

7. Натурні випробування сталевого каркаса / Пічугін С.Ф., Семко О.В., Патенко Ю.Е., Дунаєв В.Г, Крикля В.О, Маслов Е.М. // Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів жилищно-громадянського, промислового і транспортного призначення: сб. науч. тр. – Дніпропетровськ: ПГАСиА. – Вип. 56. – С. 320 – 324.

Надійшла до редакції 28.03.2011

© С.Ф. Пічугін, Ю.Э. Патенко, И.А. Петров, С.С. Шматко

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ СТАЛЬНОГО КАРКАСА

*В статье изложена методика натурных испытаний по исследованию пространственной работы каркаса производственного здания. Проанализировано влияние связевых элементов на обеспечение пространственной работы. Представлено описание объекта и результаты натурных испытаний.*

**Ключевые слова:** пространственная работа, стальной каркас, натурные испытания, система связей.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STEEL FRAME SPATIAL PERFORMANCE

*The article describes the testing technique of full-scale investigations. These investigations were concerned with the spatial performance of the steel frame of production building. The influence of the bracing system on assurance of the spatial performance was analyzed. The description of researched object and some results of the investigation are presented.*

**Key words:** spatial performance, steel frame, full-scale investigation, bracing system.