



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2011, ТОМ 17, НОМЕР 3, 191–198

УДК 624.014

(11)-0245-0

## **ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ НАДЗЕМНОГО БАЛКОВОГО ПЕРЕХОДУ ТРУБОПРОВОДІВ**

**І. Д. Пелешко, І. М. Балук**

*Національний університет «Львівська політехніка»,*

*вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013.*

*E-mail: ipeleshko@hotmail.com*

*Отримана 10 червня 2011; прийнята 24 червня 2011.*

**Анотація.** Оптимально запроєктовано реконструкцію надземного балкового переходу трубопроводів з урахуванням властивостей ґрунту та зміни його розрахункової схеми внаслідок виконання будівельно-монтажних робіт. Здійснено числові дослідження впливу цих факторів на напружено-деформований стан оптимальної конструкції.

**Ключові слова:** балковий перехід трубопроводів, реконструкція, стрижнева система, оптимальне проектування.

## **ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ НАДЗЕМНОГО БАЛОЧНОГО ПЕРЕХОДА ТРУБОПРОВОДОВ**

**И. Д. Пелешко, И. М. Балук**

*Национальный университет «Львовская политехника»,*

*ул. С. Бандери, 12, м. Львов, Украина, 79013.*

*E-mail: ipeleshko@hotmail.com*

*Получена 10 июня 2011; принята 24 июня 2011.*

**Аннотация.** Оптимально запроектирована реконструкция надземного балочного перехода трубопроводов через р. Стрый во Львовской области с учетом свойств грунта и изменения расчетной схемы перехода вследствие выполнения строительно-монтажных работ. Выполнены численные исследования влияния свойств грунта и изменения расчетной схемы перехода на напряженно-деформированное состояние оптимально запроектированной конструкции.

**Ключевые слова:** балочный переход трубопроводов, реконструкция, стержневая система, оптимальное проектирование.

## OPTIMAL DESIGN OF RECONSTRUCTION OVERGROUND BEAM OVERPASS PIPELINES

Peleshko Ivan, Baluk Igor

National University «Lviv Politechnique»,

12, S. Bandery Str., Lviv, Ukraine, 79013.

E-mail: [ipeleshko@hotmail.com](mailto:ipeleshko@hotmail.com)

Received 10 June 2011; accepted 24 June 2011.

**Abstract.** Reconstruction of the overground beam overpass pipelines across river Stry in Lviv region with regard by soil properties and changing its design schema as a result of building-assembly works is optimally designed. The numerical investigations of influence the soil properties and changing design schema of overpass on the stress-strain state of optimal structure are done.

**Keywords:** beam overpass pipelines, reconstruction, bar system, optimal design.

### Постановка проблеми

З метою економії ресурсів при проектуванні реконструкції надземних балкових переходів трубопроводів (надалі переходів) через перешкоди можна використовувати методи оптимізації, що знаходять найкраще рішення за певним критерієм оптимальності. Програми, що застосовують ці методи, повинні реалізовувати адекватну математичну модель об'єкта проектування. Зокрема слід урахувати властивості ґрунту та зміни розрахункової схеми конструкції, що виникають під час проведення будівельно-монтажних робіт з її реконструкції.

### Аналіз попередніх досліджень

В [1, 4] розглядаються основні принципи проектування трубопроводів.

В [2, 3] представлено ефективну в обчислювальному плані методику врахування зміни розрахункової схеми стрижневих металевих конструкцій при оптимальному проектуванні їхньої реконструкції. При аналізі конструкції за цією методикою формується та розв'язується лише одна матрична система рівнянь методу скінченних елементів із декількома правими частинами.

Невирішеною складовою проблеми оптимального проектування переходу залишається визначення ступеня впливу властивостей ґрунту та зміни розрахункової схеми переходу в процесі його реконструкції на напружено-деформований стан оптимальної конструкції.

### Мета роботи

Дослідити вплив властивостей ґрунту та зміни розрахункової схеми переходу внаслідок виконання будівельно-монтажних робіт із реконструкції на напружено-деформований стан оптимальної конструкції.

### Виклад основного матеріалу

Унаслідок поступової прогресуючої зміни положення берегової лінії та ускладнення подальшої експлуатації трубопроводів виникла необхідність реконструкції переходу нафтопроводу та газопроводу через р. Стрий у Стрийському районі Львівської області (рис. 1а). Для забезпечення подальшої нормальної експлуатації переходу потрібно було продовжити його надземну частину з улаштуванням двох додаткових опор.

Даний перехід є прямолінійною багатопрогоною спорудою, довжина якого до реконструкції дорівнювала 364 м. Він спирається на 18 опор рамної конструкції з буронабивних паль, які попарно об'єднані між собою залізобетонним ригелем. Основні несучі конструкції трубопроводів нерухомо закріплені до оголовка опори № 9 та шарнірно-рухомо спираються на оголовки інших опор споруди, що дозволяє їм вільно переміщатися вздовж переходу. Роль компенсаторів виконують спуски трубопроводів із переходу в підземну частину, що зазнає впливу ґрунту. До несучих конструкцій

трубопроводів кріпиться місток обслуговування переходу.

Газопровід є нерозрізною несучою конструкцією з металевої труби  $\varnothing 325 \times 8$  мм. Конструкція нафтопроводу на переході складається з основної несучої конструкції – кожуха із труби  $\varnothing 325 \times 8$  мм, та самого нафтопроводу із труби  $\varnothing 114 \times 6$  мм, що вільно прокладена всередині кожуха та шарнірно-рухомо спирається на нього. Кожух та нафтопровід є нерозрізними. У прольоті між опорами № 16 і № 17 та на приопорних ділянках суміжних прольотів виконано підсилення (рис. 1а) зі сталеві труби  $\varnothing 325 \times 8$  мм для газопроводу та нафтопроводу.

Реконструкція переходу передбачала влаштування двох додаткових опор рамної конструкції з буронабивних паль та двох додаткових прольотів. Розміри поперечних перерізів труб газопроводу, нафтопроводу та кожуха на додаткових прольотах збігаються з розмірами відповідних існуючих труб.

У розрахунковій схемі переходу взаємодію труби нафтопроводу та її кожуха враховано за допомогою в'язей, що розміщені над опорами та рівномірно у двох додаткових прольотах та у двох існуючих прольотах на початку переходу й на його кінці (рис. 2а). Такий варіант даної взаємодії було прийнято з урахуванням того, що момент інерції труби нафтопроводу порівняно з моментом інерції її кожуха є приблизно в 34 рази меншим. Тому при однаковому вертикальному переміщенні в прольоті цих труб у найнапруженішому перерізі труби нафтопроводу виникають невеликі зусилля й напруження (до 40 % від максимальних). Ураховуючи це, до кожуха прикладаються всі на-

вантаження, у тому числі вага нафтопроводу. Тим самим збільшено навантаження на кожух, що піде в запас міцності останнього.

Розрахункові схеми переходу для нафтопроводу та газопроводу, що утворюються після завершення всіх будівельно-монтажних робіт із реконструкції, показано на рис. 2.

Для моделювання взаємодії підземної частини трубопроводів із ґрунтом використано модель пружної місцевої деформації ґрунту [1]. Незважаючи на ряд недоліків, ця модель є простою та прийнятною для практичних цілей, дає задовільні результати при розрахунку різних будівельних конструкцій.

Для моделювання взаємодії підземного трубопроводу (із зовнішнім діаметром  $D_3$ ) із ґрунтом використаємо розрахункову схему, що містить лінійно деформовані пружні опорні стрижні довжиною  $l_c$ , що закріплені до жорсткої основи й трубопроводу посередині ділянок довжиною  $l_o$ . Вертикальне переміщення  $\Delta_i$  трубопроводу посередині  $i$ -ї ділянки викликає таке ж скорочення відповідного стрижня, у якому виникає зусилля  $P_{ci}$ .

Визначимо жорсткість опорного пружного стрижня при розтягу й стиску  $E_o A_o$ , при якій значення зусилля  $P_{ci}$  буде збігатися зі значенням реакції ґрунту  $P_{uit}$ , викликані переміщенням трубопроводу в ґрунті на ту ж величину  $\Delta_i$ .

Для визначення реакції ґрунту використаємо розрахункову схему, у якій посередині кожної ділянки підземного трубопроводу розміщено абсолютно жорсткий опорний стрижень, що кріпиться до трубопроводу та штампа, який взаємодіє з основою. Розміри штампів відповідають параметрам ділянок трубопроводу.



Рисунок 1. Балковий перехід: а) до реконструкції; б) після реконструкції.

Переміщення трубопроводу посередині  $i$ -ї ділянки  $\Delta_i$  передаються через опорний стрижень та штамп на основу, викликаючи відповідну реакцію основи  $P_{ши}$ .

Прирівнюючи сили  $P_{ши}$  і  $P_{ст}$ , було виведено залежність для визначення  $E_o A_o$  моделюючих стрижнів, що забезпечує еквівалентність зазначених схем:

$$E_o A_o = C_{y0} \cdot D_3 \cdot l_o \cdot l_c, \quad (1)$$

де  $C_{y0}$  – узагальнений коефіцієнт нормального опору ґрунту, МПа/см.

Залежність (1) справедлива при виконанні обмеження  $R_{сп} \geq C_{y0} \cdot \Delta_i$ , де  $R_{сп}$  – умовна несуча здатність ґрунту [1].

За [1] значення  $C_{y0}$  можна знайти за формулою:

$$C_{y0} = \frac{0,12 \cdot E_{сп}}{(1 - \mu_{сп}^2) \sqrt{l_o \cdot D_3}}, \quad (2)$$

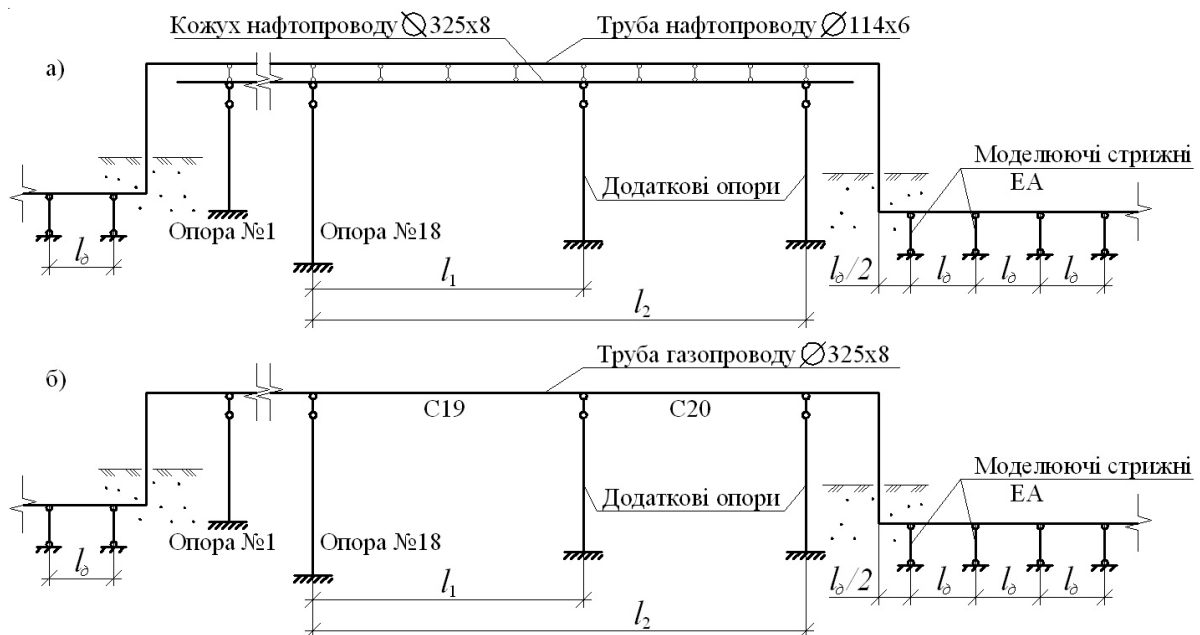
де  $E_{сп}$  – модуль деформації ґрунту, МПа;  $\mu_{сп}$  – коефіцієнт Пуассона ґрунту;  $l_o$  – одиниця довжини труби (прийнято 100), см.

Для врахування при оптимальному проектуванні переходу технології виконання робіт із його реконструкції, розглянемо зміни його розрахункових схем та навантаження на ці схеми. Для цього виділимо такі основні два стани пе-

реходу, що виникають у процесі здійснення будівельно-монтажних робіт за запропонованою технологією їхньої реконструкції: стан 1, що виникає після відрізання компенсаторної (вертикальної) частини існуючих труб і наступного монтажу (з тимчасовим закріпленням, перед зварюванням) на додаткових опорах прольотів нових труб і компенсаторів; стан 2 – після завершення всіх будівельно-монтажних робіт.

Розрахункові схеми переходу, що відповідають стану 1, показано на рис. 3. Розрахункові схеми газопроводу, що відповідають його станам 1 (рис. 3) і 2 (рис. 2), відрізняються чотирма тимчасовими шарнірами – трьома шарнірами  $ш1, ш2, ш3$ , що дозволяють взаємний поворот суміжних із шарніром поперечних перерізів, та шарніром  $ш4$ , що забезпечує відсутність у компенсаторній частині трубопроводу поздовжньої сили стиску чи розтягу перед зварюванням. Для нафтового трубопроводу (рис. 3а) місцям з'єднання його частин відповідають аналогічні шарніри та додатково шарнір  $ш0$  на кожусі.

Для підвищення швидкодії програмного забезпечення та економії часу аналізу напружено-деформованого стану переходу застосуємо



**Рисунок 2.** Розрахункові схеми переходу після реконструкції (прольоти між опорами №1 та №18 умовно не показані): а – нафтопроводу; б – газопроводу.

запропоновану методику врахування розрахункових схем, що змінюються внаслідок виконання будівельно-монтажних робіт при реконструкції [3]. Дана методика зменшує кількість систем рівнянь методу скінченних елементів (МСЕ), що формуються та розв'язуються в процесі оптимізації. Це забезпечується формуванням та розв'язуванням однієї матричної системи рівнянь МСЕ з декількома правими частинами для різних розрахункових схем однієї конструкції, що відповідають різним стадіям реконструкції однієї конструкції [3].

Матрицю жорсткості кожної системи рівнянь формуватимемо для кінцевої розрахункової схеми нафтопроводу чи газопроводу, що утворюється після завершення всіх робіт із реконструкції, урахуваючи, що на таку схему прикладається більшість завантажень.

Згідно з методикою врахування змін розрахункової схеми потрібно в розрахунковій схемі, що відповідає стану 1 переходу газопроводу й, аналогічно, нафтопроводу, побудувати епюру зусиль від дії монтажного завантаження – власної ваги існуючих та проєктованих елементів переходу. Для побудови цієї епюри використаємо епюру, що будуються в розрахунковій схемі,

що відповідає стану 2: епюру  $\bar{B}^{(0)}$  від дії монтажного завантаження та  $n$  одиничних епор попереднього напруження (ОЕПН)  $\bar{A}_i^{(0)}$ ,  $i = \bar{1}, n$ , що виникають від уведення одиничних зусиль попереднього напруження у зайві в'язі. При цьому розглядаються зайві в'язі, що утворюються внаслідок замикання (ліквідації) раніше розглянутих тимчасових шарнірів ш0 .. ш4. Для газопроводу  $n = 4$ , а для нафтопроводу  $n = 5$ . У точках шуканої епюри, що відповідають цим шарнірам, зусилля відсутні (у [3] ці точки називаються нульовими).

Основна ідея методики врахування змін розрахункової схеми полягає в тому, що шукану епюру можна представити як суму лінійної комбінації  $n$  ОЕПН та епюри  $\bar{B}^{(0)}$ . Коефіцієнти лінійної комбінації визначаються із системи рівнянь, що враховує нульові значення шуканої епюри в нульових точках. Знайдені коефіцієнти можна використати в програмах оптимізації як коефіцієнти до відповідних ОЕПН при формуванні розрахункових сполучень завантажень.

Запроєкуємо перехід із максимально допустимою сумарною довжиною двох додаткових прольотів (рис. 3) з урахуванням

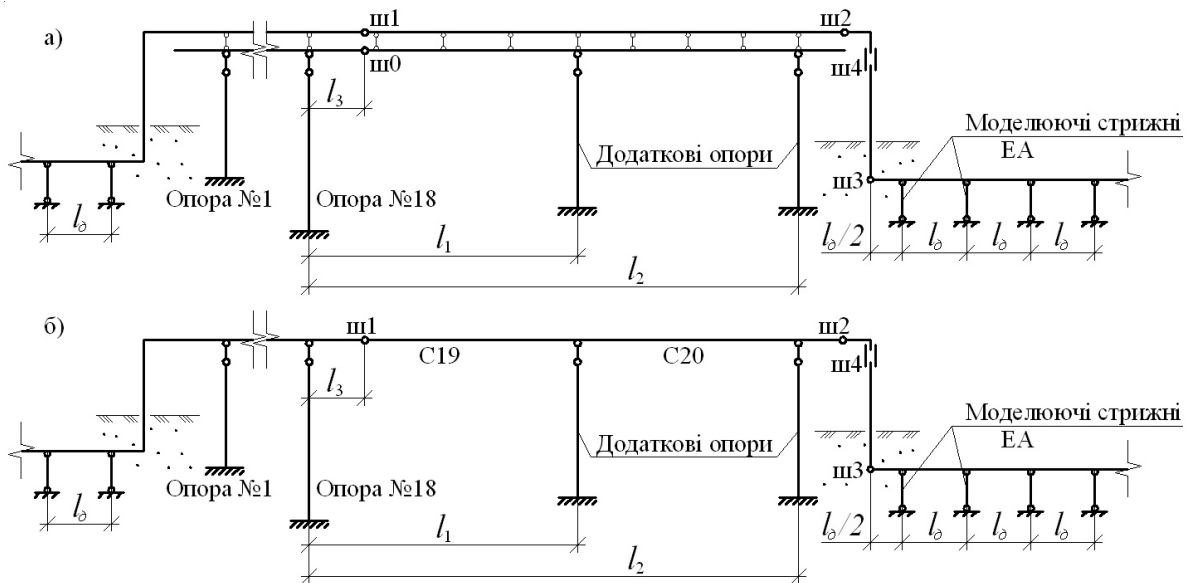


Рисунок 3. Розрахункові схеми переходу, що відповідають його стану 1 (прольоти між опорами № 1 та № 18 умовно не показані): а – нафтопроводу; б – газопроводу.

розглянутих особливостей – технології виконання будівельно-монтажних робіт та взаємодії трубопроводів із ґрунтом. Для цього сформулюємо дві задачі оптимізації реконструкції переходу: для нафтопроводу та газопроводу. Для цих задач уведемо три змінні проектування:  $l_1$  – довжина першого додаткового проектованого прольоту,  $l_2$  – сумарна довжина двох додаткових проектованих прольотів,  $l_3$  – відстань від опори № 18 до місця з'єднання існуючих та проектованих несучих конструкцій із труб ( $l_3$  задає положення  $ш0$  та  $ш1$ ). У математичну модель задачі оптимізації переходу введено змінну  $l_3$  тому, що від її значення залежить розподіл зусиль в елементах конструкції переходу й, як показали дослідження, залежить максимальне значення  $l_2$ . Задачі оптимізації реконструкції переходу полягають у пошуку таких значень змінних проектування, при яких  $l_2 \rightarrow \max$ .

До системи обмежень задачі оптимізації залучимо обмеження, що реалізують вимоги норм щодо проектування переходу [5], а також додатково введемо обмеження  $l_3$  значенням довжини наявних прямолінійних ділянок існуючих труб між опорою № 18 і компенсаторами: для газопроводу – не більше 2,24 м, для нафтопроводу – не більше 1,86 м.

Для пошуку оптимального рішення сформульованих задач використано програму OptCAD ([www.optcad.com](http://www.optcad.com)), математичний апарат якої поєднує метод скінчених елементів для

виконання статичного лінійного аналізу стрижневих систем та градієнтний метод для розв'язування задачі оптимізації. Значення змінних проектування, отриманих внаслідок розв'язку сформульованих задач оптимізації, показано в табл. 1.

Оскільки газопровід та нафтопровід мають спиратися на одні й ті ж опори, то за результати оптимізації реконструкції переходу братимемо результати розв'язку задачі оптимізації нафтопроводу, з меншим отриманим значенням  $l_2 = 39,57$  м. Напружено-деформований стан газопроводу із прийнятими довжинами ( $l_1 = 39,57$ ,  $l_2 = 21,025$ ,  $l_3 = 2,24$  м) задовольняє нормативні вимоги.

Оцінимо вплив властивостей ґрунту та зміни розрахункової схеми переходу на його напружено-деформований стан для восьми розрахункових моделей переходу (РМП), відмінності між якими представлено в табл. 2. Оцінювати різні варіанти РМП будемо за коефіцієнтом використання несучої здатності

**Таблиця 1.** Розв'язки задач оптимізації реконструкції переходу

Значення змінних для задачі оптимізації					
газопроводу			нафтопроводу		
$l_3$ , м	$l_2$ , м	$l_1$ , м	$l_3$ , м	$l_2$ , м	$l_1$ , м
2,24	42,953	21,199	1,86	39,570	21,025

**Таблиця 2.** Характеристика РМП

Ознака	Номер РМП							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тип трубопроводу	н	г	н	г	н	г	н	г
Модель ґрунту	а	а	а	а	б	б	в	в
Урахування змін розрахункової схеми	+	+	-	-	+	+	+	+
Коефіцієнт використання, %	100	86,98	97,96	83,35	100,36	89,57	99,92	86,53

Умовні позначення: н, г – нафтопровід та газопровід відповідно, а – пружної місцевої деформації, б – абсолютно податливий, в – абсолютно жорсткий, «+», «-» – зміни враховано та не враховано відповідно.

конструкції (надалі – коефіцієнт використання). Даний коефіцієнт може бути визначеним за значеннями складових елементів  $\varphi_i$  і  $[\varphi]_i$  нормативних обмежень  $\varphi_i \leq [\varphi]_i$ , де  $\varphi_i$  – фактичне значення деякої характеристики (зусилля, напруження тощо), а  $[\varphi]_i$  – граничне значення цієї характеристики. Для обмежень, заданих у такій формі, коефіцієнт використання визначається у відсотках за формулою  $k = \max(\varphi_i / [\varphi]_i) \cdot 100$ , де  $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – загальна кількість нормативних обмежень.

В оптимальному варіанті конструкції коефіцієнти використання її стрижнів завжди є меншими або рівними 100 %. Для стрижнів, у яких дані коефіцієнти є більшими за 100 %, нормативні обмеження є порушеними.

Для аналізу напружено-деформованого стану переходу в усіх його РМП використано однакові значення  $l_1 = 39,57$  м,  $l_2 = 21,025$  м, а також  $l_3 = 1,86$  для нафтопроводу та  $l_3 = 2,24$  для газопроводу.

У результаті аналізу напружено-деформованого стану розглянутих РМП встановлено, що найнапруженішими є два додаткових проєктованих прольоти. Для РМП 1 коефіцієнт використання цих прольотів, що є максимальним у їхньому спільному перерізі над першою додатковою опорою, складає 100 %, для РМП 3 – є меншим на 2,04 %. Для РМП 5 та 7 даний коефіцієнт дорівнює 100,36 та 99,92 % відповідно, що свідчить про незначний вплив ґрунту на кожух нафтопроводу. Реалізація РМП 5 з абсолютно податливим ґрунтом є практично нездійсненою, тому незначним перевищенням на 0,36 % несучої здатності найнапруженішого спільного перерізу двох додаткових проєктованих

них прольотів при цій моделі можна, на думку авторів, знехтувати.

При порівнянні значень коефіцієнта використання для конструкції переходу газопроводу виявлено, що в РМП 4 порівняно із РМП 2 даний коефіцієнт у описаному перерізі двох додаткових проєктованих прольотах переходу є меншим на 3,63 %, у РМП 6 – більшим на 2,59 %, у РМП 8 – меншим на 0,45 %.

Різниця значень коефіцієнта використання, отриманих у найнапруженішому спільному перерізі двох додаткових проєктованих прольотів газопроводу при РМП 4 та РМП 6, складає 6,22 %.

## Висновки

Оптимально запроектовано реконструкцію надземного балкового переходу із застосуванням розроблених методик для аналізу напружено-деформованого стану стрижневої системи конструкції з урахуванням властивостей ґрунту та зміни її розрахункової схеми внаслідок виконання будівельно-монтажних робіт.

Виконані числові дослідження показали, що максимальна різниця значень коефіцієнта використання несучої здатності в найнапруженішому перерізі над опорою № 18, що викликана застосуванням розроблених методик, складає 6,22 %.

Підтверджено, що при проектуванні реконструкції переходу потрібно враховувати зміни його розрахункової схеми, що виникають внаслідок виконання будівельно-монтажних робіт із реконструкції, та взаємодію підземної частини трубопроводів із ґрунтом.

## Література

1. Айнбиндер, А. Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость / А. Б. Айнбиндер. – М. : Надра, 1991. – 288 с.
2. Пелешко, І. Д. Про аналіз напружено-деформованого стану підсилованих стрижневих металевих конструкцій / І. Д. Пелешко, І. М. Балук // Збірник наукових праць «Геодезія, архітектура та будівництво: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених GAC-2010». – Л. : НУ «ЛП», 2010. – С. 84–85.

## References

1. Ainbinder, A. B. Durability and stability design of main and industrial pipe-lines. Moscow: Nadra, 1991. 288 p. (in Russian).
2. Peleshko, I. D.; Baluk, I. M. The analysis of stressed deformed state of reinforcing bar type metal structures. *Scientific works «Geodesy, Architecture and Construction: III International conference of young scientists GAC-2010»*. Lviv: NU «LP», 2010, p. 84–85. (in Ukrainian).
3. Peleshko, I. D.; Ivaneyko, I. D.; Baluk, I. M. Optimum designing of rod metal taking into account

3. Пелешко, І. Д. Оптиміальне проектування стрижневих металевих конструкцій з урахуванням монтажних станів / І. Д. Пелешко, І. Д. Іванейко, І. М. Балук // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – 2010. – Вип. 5(85) : Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель і споруд. Том 2. – С. 353–359.
4. Царинник, О. Ю. Металеві конструкції. Спецкурс : Навчальний посібник / О. Ю. Царинник. – Л. : Вид-во «Бескид Біт», 2004. – 304 с.
5. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы : СНиП 2.05.06–85\*. – Взамен СНиП II–45–75 ; введ. 1986–01–01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 52 с.
6. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции : СНиП II–23–81\*. – Взамен СНиП II–В.3–72; СНиП II–И.9–62; СН 376–67 ; введ. 1982–01–01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 90 с.
- the state assembling. In compendium *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2010, Vol. 5(85): Modern building materials, structures and innovative technologies of buildings and structures erection. Vol. 2, p. 353–359. (in Ukrainian).
4. Tsarynnyk, O. Yu. Metal Constructions. Special course: Course book. Lviv: Vyd-vo «Beskyd Bit», 2004. 304 p. (in Ukrainian).
5. Structural Rules and Regulations. Main pipe-lines: SNiP 2.05.06–85\*. Moscow: TsITP Gosstroia SSSR, 1988. 52 p. (in Russian).
6. Structural Rules and Regulations. Steel structures: SNiP II–23–81\*. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 90 p. (in Russian).

**Пелешко Іван Дмитрович** – кандидат технічних наук, докторант, доцент кафедри будівельного виробництва Національного університету «Львівська політехніка». Наукові інтереси: оптиміальне проектування складних технічних систем, оптимізація лінійно-деформованих стержневих конструкцій, різноманітні методології пошуку оптимального рішення.

**Балук Ігор Мирославович** – аспірант кафедри будівельного виробництва Національного університету «Львівська політехніка». Наукові інтереси: оптиміальне проектування стержневих металевих конструкцій.

**Пелешко Іван Дмитрієвич** – кандидат технічних наук, докторант, доцент кафедри строительного производства Национального университета «Львовская политехника». Научные интересы: оптимальное проектирование сложных технических систем, оптимизация линейно-деформируемых стержневых конструкций, различные методологии поиска оптимального решения.

**Балук Игорь Мирославович** – аспирант кафедры строительного производства Национального университета «Львовская политехника». Научные интересы: оптимальное проектирование стержневых металлических конструкций.

**Peleshko Ivan** – C.Sc., a doctoral student, Associate Professor of the «Building Production» Chair of National University «Lviv polytechnics». Scientific interests: optimum designing of complex technical systems, optimization of elastic frame structures, development of different techniques for optimum search decision.

**Baluk Igor** – a post-graduate Student of the «Building Production» Chair of the National University «Lviv polytechnics». Scientific interests: optimum designing of steel structures.