

МІЦНІСТЬ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КУЛЬКОВОЇ МУФТИ ВІЛЬНОГО ХОДУ ВЕЛОСИПЕДА

© Сороківський О.І., Носов Ю.Є., 2011

Розглянуто теоретичні дослідження кулькової муфти вільного ходу задньої втулки велосипеда. Побудовано тривимірну модель муфти та виконано розрахунок на міцність основних її елементів. Для перевірки теоретичних досліджень виготовлено дослідний зразок, і перевірено його працездатність у реальних умовах експлуатації. В результаті досліджень виявлено ділянки, де виникають значні контактні напруження.

In article the theoretical researches of a overrunning ball clutch of a back cartridge of a bicycle is considered. The volumetric model clutch is created and the account on durability of its basic elements is carried out. For check of theoretical researches the skilled sample is made, and its serviceability in real conditions of operation is checked up. As a result of the carried out researches it is revealed places, where there are significant contact pressure.

Постановка проблеми. Муфти вільного ходу широко застосовуються у різноманітних механізмах і, зокрема, у транспортних засобах для автоматичного з'єднання та роз'єднання валів, та слугують для передавання обертового моменту тільки в одному напрямку [1]. Нині в таких випадках здебільшого застосовують роликові муфти вільного ходу. Проте вони мають істотні недоліки, головними з яких є обмежений термін роботи та незначний обертовий момент, оскільки навантаження передається за рахунок тертя. Ці явища ставлять актуальну проблему щодо подальшого вдосконалення механізмів вільного ходу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі дослідження муфт вільного ходу здебільшого стосуються роликових муфт та храпових механізмів. У машинобудуванні та приладобудуванні переважно застосовують роликові муфти завдяки безшумності в роботі, можливості працювати за високих швидкостей і будь-якої кількості вмикань, а також простоті обслуговування і технологічності конструкції. Аналіз конструкцій муфт вільного ходу виявив їхні істотні недоліки, а саме: високу точність виготовлення та складання, проковзування півмуфт у разі спрацювання деталей, високі контактні напруження в робочій зоні. Довговічність муфти тісно пов'язана з відхиленням від співвісності півмуфт.

Постановка задачі. З метою впровадження у виробництво нової конструкції кулькової муфти вільного ходу необхідно досконало вивчити закони руху елементів муфти, розробити методику розрахунку на міцність, виконати експериментальні дослідження кулькової муфти, а також розробити рекомендації щодо вибору геометричних розмірів елементів цих муфт під час проектування.

Основний матеріал. На основі попередніх досліджень у Національному університеті "Львівська політехніка" розроблено нову конструкцію кулькової муфти вільного ходу для задньої втулки багатошвидкісного велосипеда.

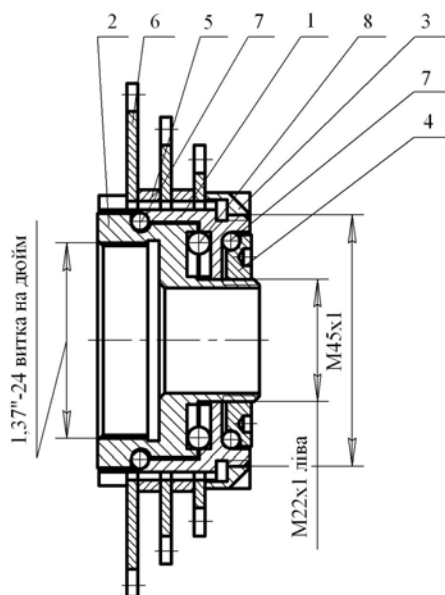


Рис. 1. Кулькова муфта вільного ходу для задньої втулки велосипеда

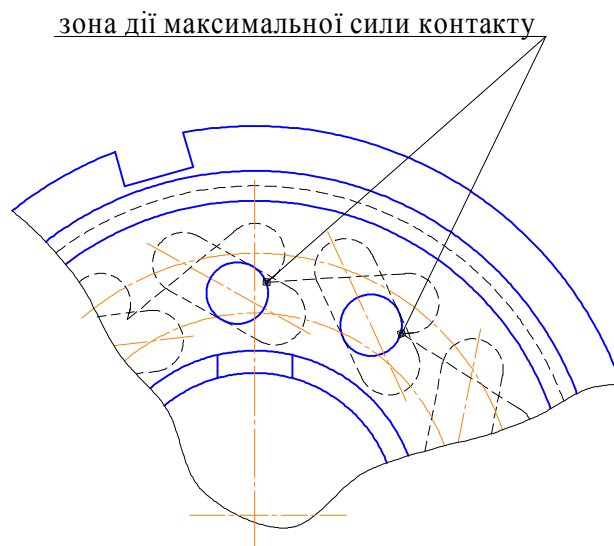


Рис. 2. Зона дії максимальної сили контакту між кулькою і веденою півмуфтою у момент вмикання

Дослідний зразок цієї муфти виготовлено у заводських умовах і досліджено експериментально його роботоздатність в реальних умовах експлуатації.

Запропонована муфта (рис. 1) складається із ведучої півмуфти 1, яка за допомогою шліців з'єднується із зірочками 6 велосипеда веденої півмуфти 2, що за допомогою нарізі нагвинчується на маточину його заднього колеса; зовнішньої гайки 3, яка притискає зірки та дистанційні кільця 5 до фланця ведучої півмуфти; внутрішньої гайки 4; підшипників кочення зі стандартними кульками 7; з'єднувальних кульок 8, що розміщені одночасно в пазах ведучої 1 та веденої 2 півмуфт та насипного підшипника.

На основі попередніх досліджень встановлено, що найнавантаженишими ділянками муфти є гостра кромка циліндричного паза веденої півмуфти (рис. 2).

Для визначення контактної сили та напружень, що виникають в зоні кромки паза на веденій півмуфті, скористаємося динамічною моделлю, побудованою за допомогою програмних продуктів Solid Works та Cosmos Motion. У результаті отримано графіки зміни сили контакту кульки з веденою півмуфтою (рис. 3), швидкості веденої півмуфти (рис. 4) та лінійної швидкості кульки (рис. 5) у момент вмикання муфти. Варто зауважити, що на веденій півмуфті відсутнє будь-яке навантаження, тобто вона обертається вільно, а моментами, що протидіють її руху, є тертя та інерції.

Максимальні значення сили контакту між кулькою та веденою півмуфтою (рис. 5) будуть у момент удару кульки до гострої кромки паза веденої півмуфти.

З цих рисунків видно, що у момент удару кульки об гостру кромку паза веденої півмуфти (на рис. 3 відповідає піковому значенню контактної сили) різко змінюється величина та напрямок швидкості кульки (рис. 5), а на рис. 4 бачимо невеличку поличку. Це свідчить про те, що ведена півмуфта отримала певну швидкість ще до того, як кулька запала у її циліндричний паз. Після цього швидкості кульки і веденої півмуфти поступово знижуються, аж поки не зрівняються зі швидкістю ведучої півмуфти.

У теорії для визначення сили удару під час зіткнення кульки з кромкою веденої півмуфти можна скористатись відомою з теоретичної механіки формулою про кількість руху:

$$\vec{q}_2 - \vec{q}_1 = \vec{F}_k t, \quad (1)$$

де $\vec{q}_2$, $\vec{q}_1$ – вектор кількості руху системи відповідно після і до удару; $\vec{F}_k$ – вектор контактної сили; t – час удару.

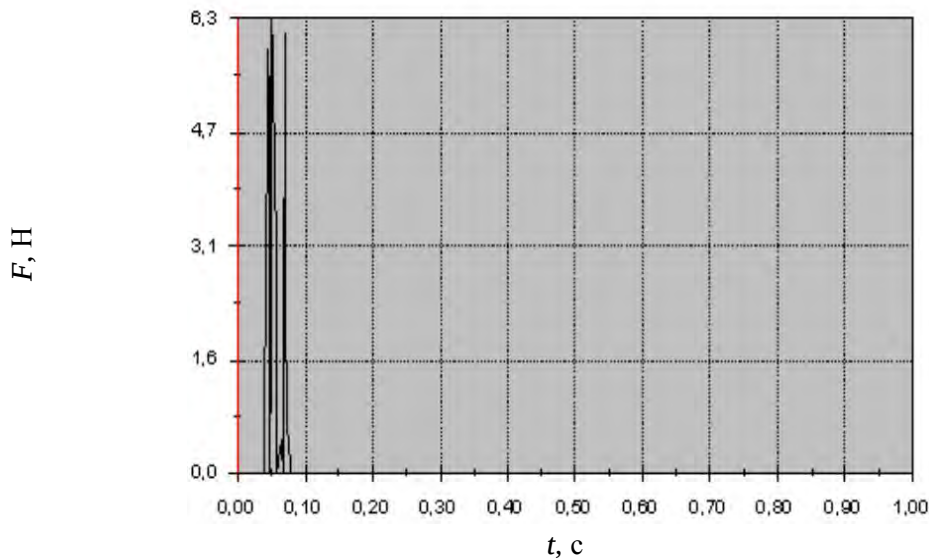


Рис. 3. Сила контакту між кулькою та веденою півмуфтою за частоти обертання ведучої півмуфти 2 об/с та однієї робочої кульки

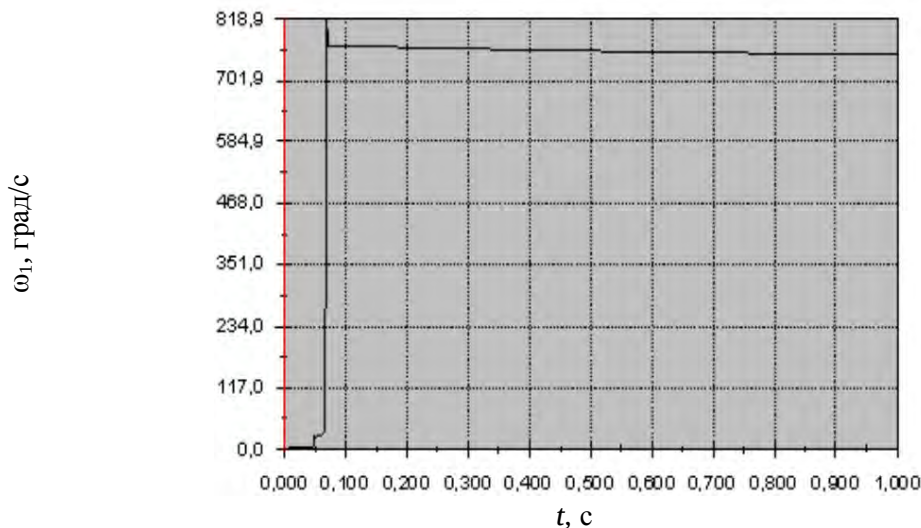


Рис. 4. Зміна швидкості веденої півмуфти у момент вмикання муфти при частоті обертання ведучої півмуфти 2 об/с та одній робочій кульці

Оскільки ми розглядаємо випадок удару кульки об гостру кромку паза, то кількість руху після удару складається з лінійної швидкості кульки та обертової швидкості веденої півмуфти:

$$q_2 = -mv_2 + \omega_2 J_2,$$

де m – маса кульки; v_2 – швидкість кульки після удару; ω_2 – кутова швидкість веденої півмуфти після удару; J_2 – момент інерції веденої півмуфти.

Доданок mv_2 має знак, протилежний до $\omega_2 J_2$, оскільки вважаємо, що після удару кулька рухається у протилежному напрямку.

Якщо прийняти, що в момент удару кулька рухається вільно по пазу ведучої півмуфти без тертя, тобто не зазнає жодних силових взаємодій з боку ведучої півмуфти, то кількість руху кульки до удару складається лише з її лінійної швидкості:

$$q_1 = mv_1, \quad (2)$$

де v_1 – швидкість кульки до удару.

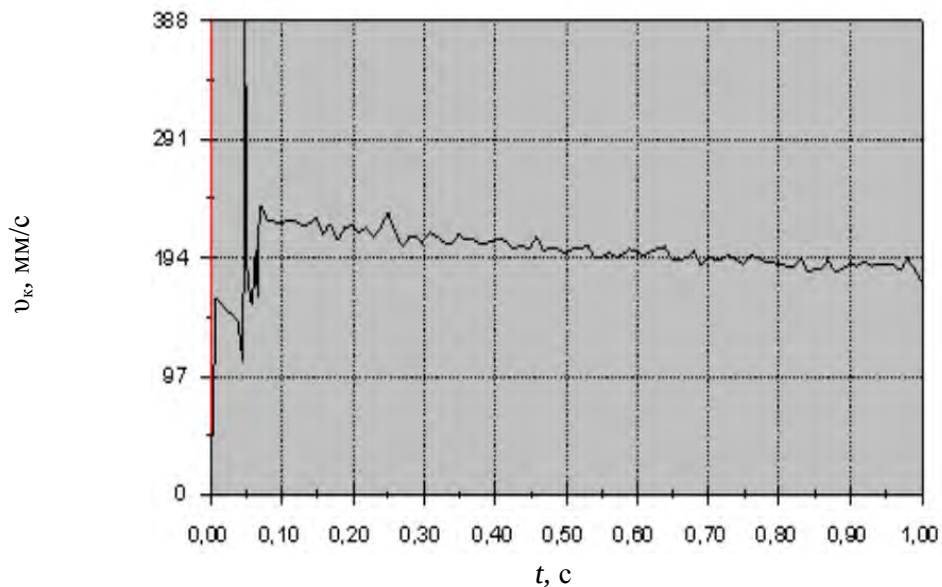


Рис. 5. Зміна лінійної швидкості кульки у момент вмикання муфти за частоти обертання ведучої півмуфти 2 об/с та одній робочій кульці

З урахуванням усіх наведених означень формула (3) для визначення контактної сили запишеться як

$$F_k = \frac{1}{t} (mv_2 - \omega_2 J_2 + mv_1). \quad (3)$$

Для визначення залежності контактної сили від швидкості обертання веденої півмуфти виконано серію дослідів за допомогою Cosmos Motion, під час яких визначено максимальну силу контакту між веденою півмуфтою та кулькою (як показано на рис. 3) за різних значень кутової швидкості веденої півмуфти. Отримані результати досліджень занесено в таблицю.

Залежність максимального значення сили контакту від швидкості обертання ведучої півмуфти (ω_1)

ω_1 , об/с (об/хв)	1 (60)	2 (120)	3 (180)	4 (240)	5 (300)	6 (360)	7 (420)	8 (480)	9 (540)
F_k , Н	2,3	4,2	5,5	8,8	10,8	19,0	28,0	33,2	35,2

За даними таблиці побудовано графік зміни максимального значення сили контакту між кулькою і веденою півмуфтою від швидкості обертання ведучої півмуфти (рис. 5).

З графіка видно, що до частоти обертання ведучої півмуфти 5 об/с контактна сила змінюється лінійно, що, по суті, відповідає (3), оскільки зі збільшенням частоти обертання ведучої півмуфти також зростає лінійна швидкість кульки, а отже, і сила контакту. Однак далі спостерігається стрімке її зростання. Можливо, це пов'язано з тим, що зі збільшенням частоти зменшується відстань її пробігу по пазу ведучої півмуфти, а тому вона може ударитись об гостру кромку веденої півмуфти по-різному. Можливі різні траєкторії її подальшого руху.

Очевидно, що у випадку б виникатимуть найбільші контактні напруження, бо саме тоді відбувається прямий удар кульки об кромку паза. А зі збільшенням частоти змінюється траєкторія руху кульки: випадок а – до 5 об/с; б – 5...7 об/с; в – 8...9 об/с. За більших значень частоти обертання ведучої півмуфти кулька вже може не потрапити у паз, а заклинитись у наступному.

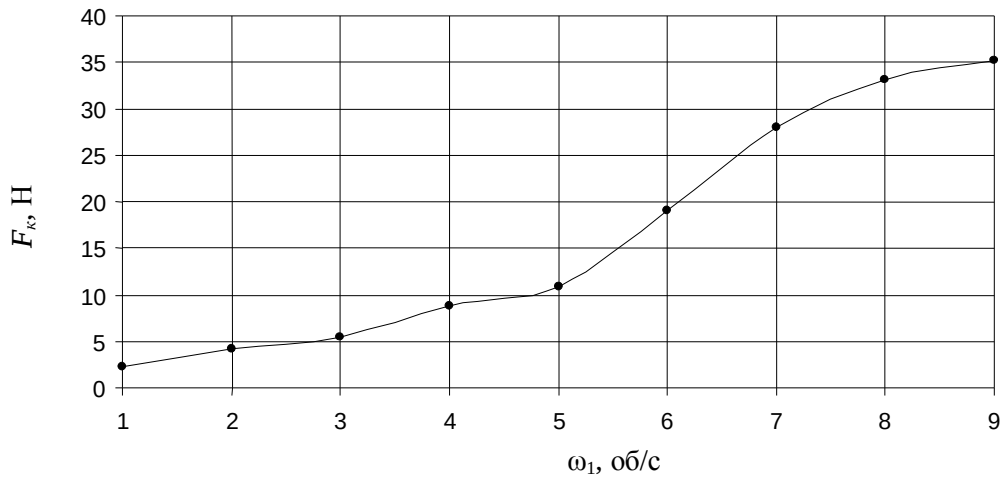


Рис. 6. Графік зміни максимального значення сили контакту між кулькою і веденою півмуфтою від швидкості обертання ведучої півмуфти

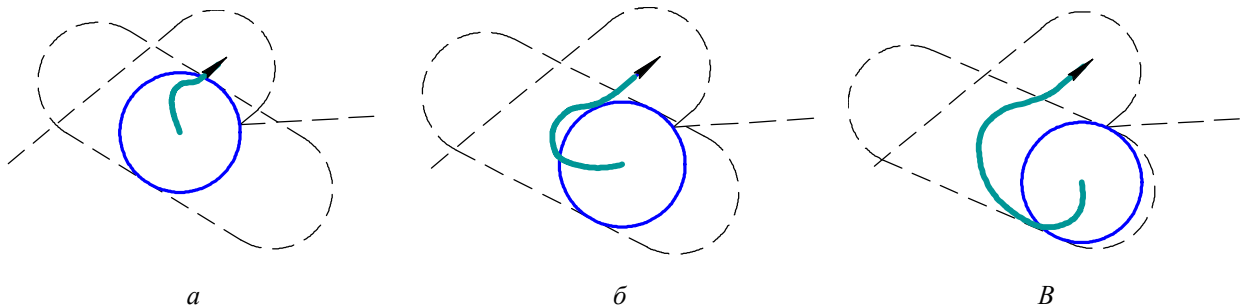


Рис. 7. Можливі траєкторії руху кульки під час вмикання муфти

Виконаємо розрахунок на міцність гострої кромки паза веденої півмуфти. Якщо дію кульки замінити силою, що прикладена до верхньої частини гострої кромки паза і паралельна до паза веденої півмуфти, то розрахунок на ударну міцність спроститься до розрахунку міцності на стиск:

$$s = \frac{F}{A}, \quad (4)$$

де A – площа поперечного перерізу кромки паза, мм^2 ; F – максимальне значення контактної сили, $F=35 \text{ Н}$ (з табл. 1).

$$A = h \cdot t = h \cdot l \cdot \sin \alpha,$$

де h – висота паза; $h=2 \text{ мм}$; t – товщина паза; l – відстань до краю кромки паза; мм ; α – кут основи кромки паза; $\alpha=36^\circ$ град.

Отже,

$$s = \frac{F}{h \cdot l \cdot \sin \alpha} = \frac{35}{2 \cdot l \cdot \sin 36^\circ} = \frac{29,77}{l} \text{ МПа}. \quad (5)$$

На основі виразу (5) побудовано графік зміни нормальних напружень у веденій півмуфті залежно від відстані розрахункової площини до краю кромки (рис. 8). Біла точка на кривій показує значення допустимого напруження стиску (340 МПа) і, як видно, умова міцності виконується для перерізів, що розташовані більше ніж на $0,9 \text{ мм}$ від краю кромки.

Бачимо, що функція $\sigma(l)$ змінюється за гіперболічним законом, тобто якщо постійно зменшується товщина паза, напруження безмежно зростатимуть. На практиці це, звісно ж, неможливо.

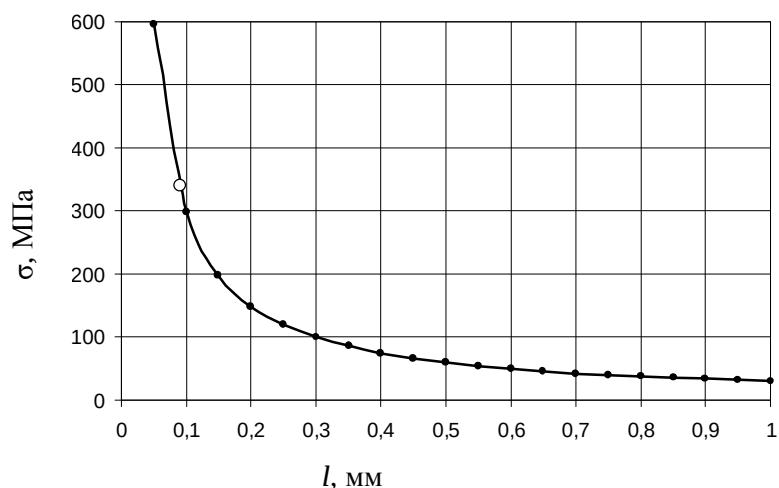


Рис. 8. Графік зміни нормальних напружень у веденій півмуфті залежно від відстані до краю кромки

Також виконано розрахунок на міцність за допомогою програми Cosmos Motion, у якій ударна дія кульки на ведену півмуфту замінена постійною в часі силою, величиною 35 Н·м. У результаті отримано епюру веденої півмуфти (рис. 9), на якій показано ділянки з коефіцієнтом запасу міцності, меншим за 1. Як видно з цієї епюри, небезпечні ділянки розміщені у верхній частині гострої кромки паза веденої півмуфти, оскільки саме тут діє найбільша контактна сила з боку кульки у момент удару.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що під час експлуатації муфти саме ці місця зазнали найбільшого руйнування.

Для перевірки теоретичних результатів виготовлено дослідний зразок цієї кулькової муфти вільного ходу і досліджено експериментально його роботоздатність у реальних умовах експлуатації. Після експериментальних досліджень дослідний зразок було розібрано. На рис. 5 зображені ведуча та ведена півмуфти після експериментальних досліджень. Як видно з рис. 5, внаслідок значних навантажень у робочій зоні виникають місцеві пластичні деформації. Щоб виявити місця перевантажень, основні елементи муфти, зокрема напівмуфти, спеціально виготовлено зі сталі 40Л без будь-якої додаткової обробки.

На рис. 5, а добре помітні місця вильоту кульок з пазів ведучої півмуфти (показані стрілками), що насамперед пов'язано з неточністю виготовлення дослідного зразка та великою пластичністю сталі без будь-якої термічної чи хіміко-термічної обробки.

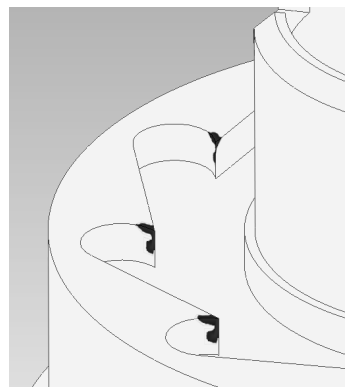
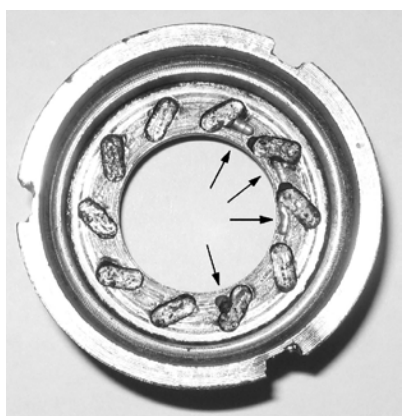


Рис. 9. Ділянки на веденій півмуфті з коефіцієнтом запасу міцності, меншим за 1



а



б

Рис. 10. Основні елементи розробленої муфти: а – ведуча півмуфта; б – ведена півмуфта

Позбутися цього негативного явища можна використанням високоточних фрезерних верстатів з ЧПУ та спеціальної обробки сталі, що забезпечить їй високу поверхневу твердість. Щодо веденої півмуфти, то з рис. 5, б видно, що найбільше пошкоджена гостра кромка циліндричного паза (рис. 6), оскільки саме в цій ділянці виникає найбільша контактна сила у момент вмикання муфти, коли кулька вдаряється об паз.

Висновки. У результаті теоретичних та експериментальних досліджень виявлено найслабші місця в конструкції муфти, а саме гостра кромка паза веденої півмуфти. Оскільки дані, отримані з динамічної моделі, відповідають експериментальним дослідженням, то можна зробити висновок щодо достовірності отриманих результатів. Можливим заходом для зменшення напружень у цій ділянці й запобігання швидкому її зносу є зміна форми кромки паза: гострі кути замінити плавними скругленнями або фасками.

1. Мальцев В.Ф. *Роликовые механизмы свободного хода*. – М.: Машиностроение, 1968. – 415 с. 2. Пат. 66514А Україна, МКІ F16D43/20. *Запобіжна муфта*. Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. Опубл. 17.05.2004. Бюл. №5. 3. Пат. 77435 Україна, МПК F16D43/00. *Запобіжна муфта*. Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. Опубл. 15.12.2006. Бюл. № 12. 4. Ряховский О.А., Иванов С.С. *Справочник по муфтам*. – Л.: Политехника, 1991. – 383 с.

УДК 621.825.5

Є.В. Харченко, Ю.Я. Новіцький

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра опору матеріалів

ВПЛИВ ЛОКАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ТОНКОСТІННОГО ТРУБОПРОВОДУ

О Харченко Є.В., Новіцький Ю.Я., 2011

Виконано дослідження напружено-деформованого стану наземних переходів магістральних газопроводів при їх підйомі над опорами з урахуванням локальних навантажень від взаємодії опорних елементів підйимального пристрою з трубопроводом. Здійснено порівняльний аналіз напружень у тонкостінному трубопроводі без урахування впливу локальних навантажень та з урахуванням їхнього впливу на напружено-деформований стан труби.

Research of the tensely-deformed state of surface transitions of main gas pipelines is executed at their getting up above supports taking into account the local loading from co-operating of supporting elements of jack with a pipeline. The comparative analysis of tensions is conducted in the thin-walled pipeline without the account of influence of the local loading and taking into account their influence on the tensely-deformed state of pipe.

Постановка проблеми та аналіз відомих досліджень і публікацій. Надземні переходи магістрального газопроводу – це частини газопроводу, які розташовані в повітрі над ріками та заболоченою місцевістю. Переходи є проблемним місцем газопроводів, оскільки вони зазнають корозійного впливу атмосфери, особливо у важкодоступних для обслуговування місцях їхніх опор.

Класичний перехід складається із трубопроводу на опорах, що розташовані на берегах ріки. Якщо потрібно, опори встановлюють також і всередині ріки. Як показує досвід експлуатації трубопроводів, у місцях їх контакту з опорними конструкціями виникають корозійні процеси металевої поверхні труб, які спричиняють їх поступове руйнування [2].