

УДК: 21.983.3.001 – 621. 983.7.004

**В. О. МАКОВЕЙ**, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ»;

**В. С. МЕЛЬНИК**, аспірант, НТУУ «КПІ»;

**П. Ю. ПРОЦЕНКО**, асистент, НТУУ «КПІ». Київ

## **ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРОФІЛЮВАННЯ ГВИНТОВИХ КАНАВОК НА ТРУБАХ**

Виконано моделювання профілювання гвинтоподібних профілів шляхом роликового обкочування з протитиском та без нього з використанням програмного пакета Defom 3D. Основним деформуючим інструментом являється обкатна головка з роликом. Досліджено вплив протитиску на формування гвинтоподібних труб. Проведено ряд експериментальних досліджень по виготовленню гвинтоподібних профілів з протитиском та без нього. Розроблено технологію по отриманню гвинтоподібної труби без оправки та протитиску.

**Ключові слова:** роликове обкочування, гвинтоподібні труби, трьох роликова обкатна головка.

**Вступ.** Інтенсифікація теплообміну в каналах є ефективним способом зменшення габаритних розмірів та металоємкості теплообмінних апаратів. При розробці нових теплообмінних апаратів, як правило, намагаються досягнути високої інтенсивності теплопередачі при мінімальній витраті енергії на прокачування теплоносіїв. Аналіз робіт в цьому напрямку показує, що найбільш ефективними виявились гвинтоподібні труби – турбулізатори [1, 2]. Масового виробництва їх у теперішній час не існує. Відповідно ГОСТ 27590, ТУ 400-28-27-90Е и ТУ 400-28-132-90 у теперішній час масово виробляються промисловістю водно-водяні теплообмінники для підігріву води. Теплообмінник використовується в системах опалення та гарячого водозабезпечення будинків різного призначення. В якості поверхні теплообміну використовуються головним чином латунні трубки діаметром 16×1 мм, довжиною 2 та 4 м, максимальний робочий тиск 1 МПа та максимальна температура теплоносія 150°C. В дослідних зразках теплообмінників встановлюють профільні трубки, що збільшує коефіцієнт теплопередачі на 30–50%. Виникає необхідність масового виробництва профільних трубок довжиною 2...4 м.

**Аналіз останніх досліджень і літератури.** Відомим способом виготовлення гвинтоподібних труб є роликове обкочування на оправці. Технологія виробництва одно роликовим обкочуванням однозахідних гвинтоподібних труб описана в роботі [3]. Дослідне виробництво таких труб виконувалось на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 із застосуванням

обкатної головки (рис. 1), що кріпилась в різцетримачі, та оправки 1, яка встановлювалась в середину труби 2 та закріплювалась з одного боку разом з трубою в трьохкулачковому патроні верстату 8, а з іншого – підпиралась центром 7 задньої бабки верстата.

Існуючі технології виготовлення гвинтоподібних профілів на трубах в даний час малопродуктивні [3] потребують гвинтових оправок або спеціального обладнання, що значно збільшує собівартість виготовлення таких труб. Тому розробка високопродуктивної та універсальної технології виготовлення гвинтоподібних трубок різних діаметрів 16...20 мм з товщиною стінки 1 мм та довжиною 2...4 м є досить актуальною.

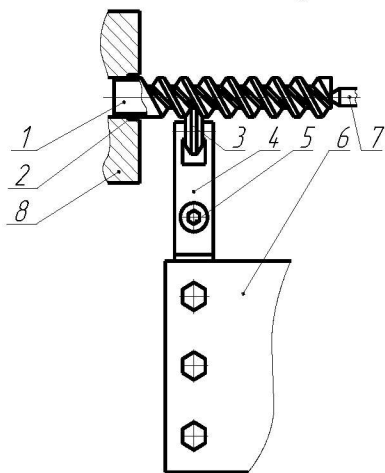


Рис.1 – Схема обкочування гвинтових канавок на трубі: 1 – оправка з гвинтоподібним профілем, 2 – деталь, 3 – ролик, 4 – корпус, 5 – пружинний пакет, 6 – різцетримач, 7 – центр, 8 – трьохкулачковий патрон



Рис. 2 – Фотографії: а – оправка; б – гвинтоподібна труба з зовнішнім діаметром 38×1 мм з кроком гвинта 20 мм

Недоліком наведених способів є відсутність досліджень по встановленню оптимальних параметрів процесу обкочування гвинтових канавок на трубах без використання оправок, впливу його на якість виробів та відсутність високопродуктивних універсальних верстатів для виготовлення трубок теплообмінників.

**Ціль дослідження, постановка проблеми.** Метою роботи є розробка технології отримання гвинтоподібних труб без використання оправки, дослідження впливу параметрів обкочування, створення високопродуктивних універсальних верстатів для виготовлення трубок теплообмінників.

Для оцінки впливу параметрів необхідно виконати моделювання обкочування труб різних діаметрів використовуючи комплекти роликів, у яких для кожного комплекту буде змінюватись радіус заокруглення їх вершини. При

цьому дослідити можливість отримання максимальної глибини гвинтових канавок без руйнування.

**Результати моделювання обкочування роликом.** Проведено моделювання процесу отримання гвинтоподібних труб роликовим обкочуванням. Моделювання виконувалось в програмі Deform 3D, яка була тимчасово надана для використання компанією «Тесис» м. Москва [4–6].

Модель процесу обкочування однозахідної гвинтоподібної труби без використання оправки в програмі Deform 3D показана на рис. 3. Процес обкочування труби моделювався із застосуванням внутрішнього протитиску та без нього (див. рис. 3). В обох випадках трубчаста заготовка 2 була розбита на сітку тетраедричних скінчених елементів. Коефіцієнт тертя задавався – 0,1.

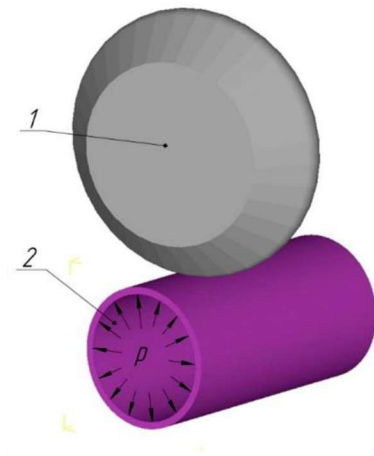


Рис. 3 – Модель обкочування гвинтоподібної труби без та із застосуванням внутрішнього протитиску  $p$ : 1 – ролик, 2 – труба-заготовка

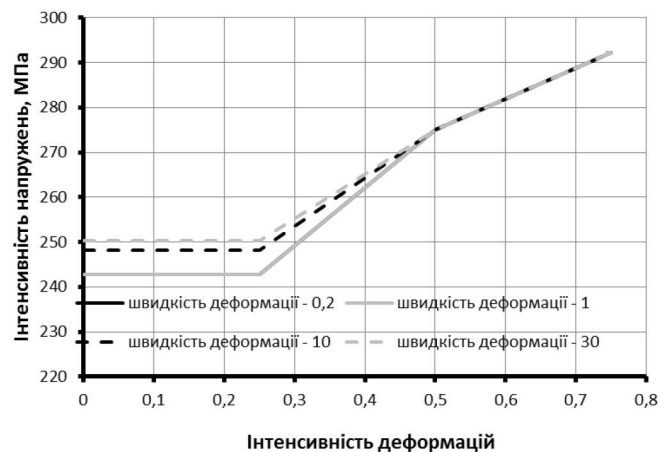


Рис. 4 – Крива зміцнення Aluminum-2017

Задавалась крива течії матеріалу Aluminum-2017 (рис. 4). В обох процесах (з внутрішнім протитиском та без нього) використовувалась труба з зовнішнім діаметром  $D = 20$  мм та товщиною стінки  $s = 1$  мм.

Процес моделювання в обох випадках проходив в 2 етапи:

1. Спочатку в заготовку втискувався ролик на глибину  $h = 1,5$  мм із утворенням на трубці лунки.

2. Далі відбувалось обкочування однозахідної гвинтоподібної труби і отримання гвинтових канавок на трубці глибиною  $h = 1,5$  мм. Труба в кожному випадку моделювання оберталась в напрямку протилежному обертанню ролика з частотою обертів  $n = 160$  об/хв.

В обох випадках моделювання процесу виготовлення гвинтоподібних труб використовувався ролик діаметром  $D_p = 38$  мм.

Внутрішній протитиск труби задавався в межах  $p = 2 \div 10$  МПа. Його величина не має бути більшою за допустимий тиск  $[p] = 10$  МПа у відповідності с ГОСТ 27590. При моделюванні обточування гвинтоподібної канавки на трубі був зроблений розріз відповідно до рис. 5. В перерізі А–А гвинтоподібної труби було вибрано точки відповідно до рис. 6 для подальшого аналізу НДС.

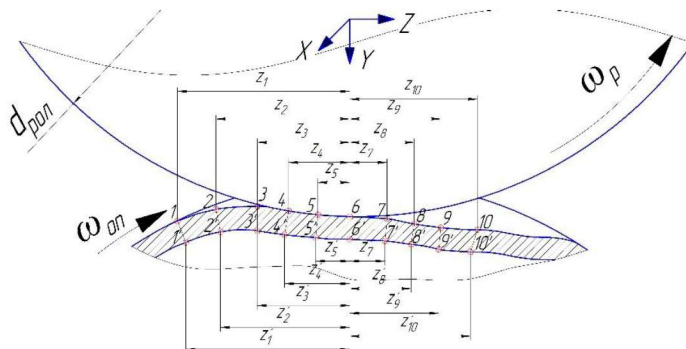
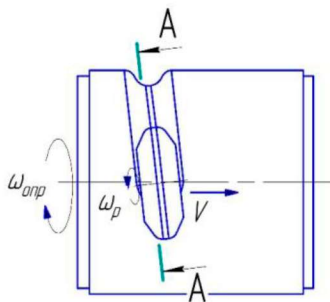


Рис. 5 – Положення розрізу А–А

Рис. 6 – Координати точок по осі z (в розрізі А–А)

По результатам моделювання було встановлено розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та деформацій  $\varepsilon_i$  при деформуванні однозахідних гвинтоподібних труб в залежності від положення точок по вісі z в небезпечному перерізі А–А (див. рис. 5) для різних значень протитиску  $p$ . Побудовано графіки впливу протитиску  $p$  на максимальні значення інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (рис. 7) та деформацій  $\varepsilon_i$  (рис. 8) у вказаному перерізі.

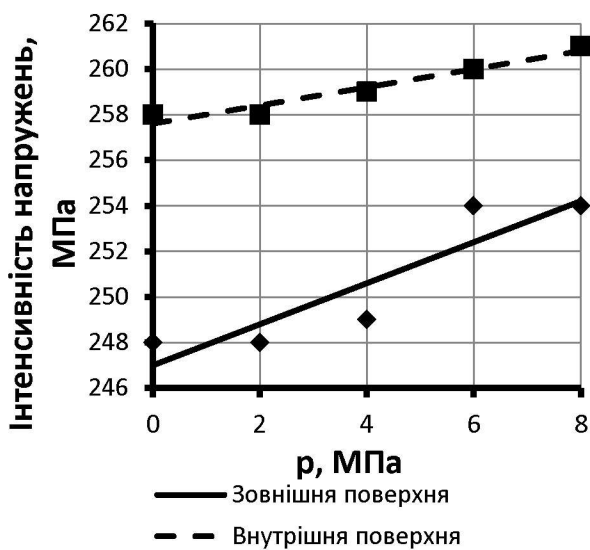


Рис. 7 – Вплив величини протитиску  $p$  на максимальну величину інтенсивності напружень в перерізі А–А

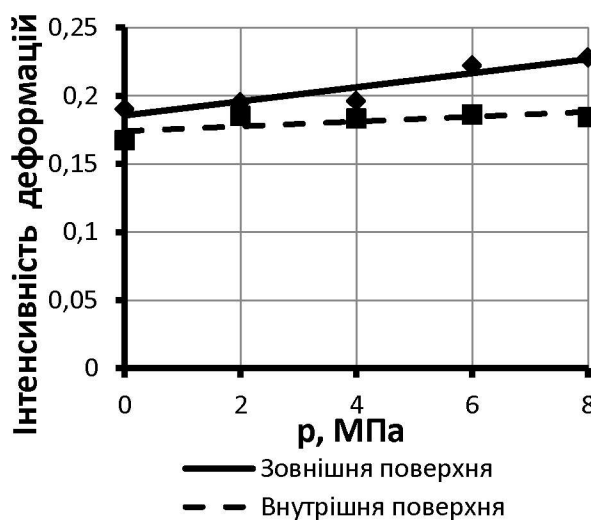


Рис. 8 – Вплив величини протитиску  $p$  на максимальну величину інтенсивності деформацій в перерізі А–А

З цих графіків видно, що величина протитиску  $p$  (в межах  $p=0\div 8$  МПа) мало впливає на значення інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та деформацій  $\varepsilon_i$  в осередку деформації. Не рекомендується формувати гвинтоподібні труби із протитиском, величина якого  $p>8$  МПа, оскільки в цьому випадку може відбутись викривлення труби в процесі формування.

Деформування труби без оправки та протитиску призводить до незначної овальності (0,5...0,8 мм) поперечного перерізу труби при обкочуванні на глибину 1,5 мм, тому при виготовленні гвинтоподібних латунних трубок для теплообмінників слід обмежити глибину канавок до 1.5 мм, що збільшує коефіцієнт теплопередачі на 30...50%.

**Результати експериментальних досліджень.** Провівши аналіз моделювання по отриманню гвинтоподібних труб без оправки було проведено ряд експериментальних досліджень:

1. Роликове обкочування гвинтоподібних труб з використанням протитиску.

2. Роликове обкочування гвинтоподібних труб без протитиску та оправки.

3. Трьох роликове обкочування гвинтоподібних труб без протитиску та оправки.

1. Роликове обкочування гвинтоподібних труб з використанням протитиску зображено на рис. 9. Протитиск в трубі створюється за рахунок використання сипучої суміші 9 (пісок з графітом у співвідношенні 1:1). Для цього в алюмінієву трубку-заготовку з одного боку вставляється металева заглушка 8, а з іншого боку труби – заготовки засипається сипуча суміш потрібного об'єму (в залежності від розміру труби) і ставиться інша заглушка 8, щоб унеможливити висипання суміші. Після проведених операцій труба-заготовка 1 закріплюється у патроні 2 токарно-гвинторізного верстату і затискається, з іншого боку підпирається центром 3 задньої бабки.

Величина протитиску регулюється шляхом шідпору центру задньої бабки 3, який в свою чергу проштовхує заглушку 8, що знаходиться у трубі 1, тим самим упільнює сипучу суміш. Для уникнення прогину труби під час деформування використовується люнет 4, який підпирає трубу з трьох напрямків. Люнет 4 нерухомо закріплено на супорті верстату 10. Деформування труби виконується за допомогою обкатної головки 5, яка закріплена в різцетримачі верстату 6. Після виконання всіх підготовчих операцій формування гвинтоподібної канавки виконується наступним чином:

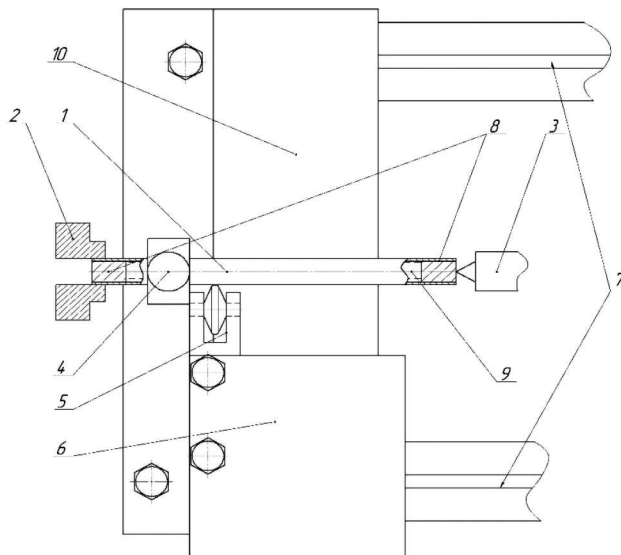


Рис.9 – Схема роликового обкочування гвинтоподібних труб з використанням протитиску:  
1 – труба заготовка; 2 – патрон токарно-гвинторізного верстату; 3 – центр задньої бабки верстату; 4 – Люнет;  
5 – обкатна головка з роликом; 6 – різцетримач верстату; 7 – направляючі верстату; 8 – заглушки; 9 – суміш, яка створює протитиск; 10 – супорт токарного верстату

Ролик, який знаходиться на обкатній головці 5, втискається в трубку на глибину 1–1,5 мм та формує на трубці-заготовці лунку. Після формування лунки вмикається верстат і починається формування гвинтоподібного профілю на трубці. Так як отримання великої глибини канавки (більше 1,5 мм) не можливо отримати за один прохід, деформування виконується за декілька етапів. Так як під час деформування довжина трубки – заготовки зменшується, після кожного проходу потрібно виконувати підтискання центра задньої бабки 3 для уникнення виходу заглушки 8 із труби 1.

Основними недоліками даного методу є:

1. Під час деформування постійно потрібно виконувати підпор центру задньої бабки.

2. Досягши деякої глибини канавки сипуча суміш ущільнюється до такої межі, що подальше деформування відбувається за рахунок зменшення товщини стінки при вершині гвинтоподібного профілю, який спирається на люнет.

3. Використання сипучої суміші дозволяє отримати досить значну глибину канавки до 3,5 мм, але за рахунок значного ущільнення ускладнює видалення сипучої суміші з порожнини готового виробу.

Фотографію труби, виготовленої за даним методом представлено на рис. 10.



Рис. 10 – Гвинтоподібна труба отримана з використанням протитиску, в якості протитиску сипуча суміш.  $D = 20$  мм, товщина стінки  $s = 1$  мм

2. Роликове обкочування гвинтоподібних труб без протитиску та оправки. Спираючись на результати математичного моделювання та проведені експериментальні дослідження, було перевірено можливість отримання якісних гвинтоподібних труб без використання протитиску. В даному випадку схема устаткування не змінювалась порівняно зі схемою отримання гвинтоподібних труб з протитиском. Основною відмінністю було те, що трубка, яка буде деформуватись, використовувалась без будь яких наповнювачів у середині.

В даному випадку в якості трубки-заготовки використовувались алюмінієва трубка діаметром  $D=16$  мм з товщиною стінки  $s=1,5$  мм, та латунна трубка  $D=16$  мм з товщиною стінки  $s=1$  мм, всі інші параметри були ідентичні з процесом обкочування з протитиском. Трубки, які виготовлялися даним способом представлено на рис. 11 та рис.12.

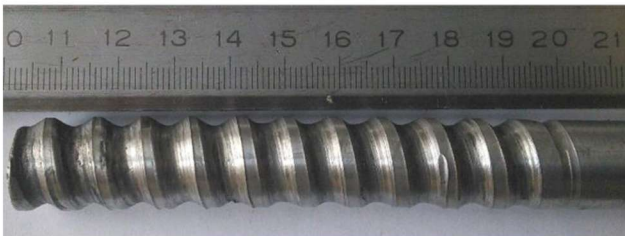


Рис.11 – Алюмінієва труба  $D=16$  мм з товщиною стінки  $s=1,5$  мм, отримана шляхом накатування без оправки та протитиску



Рис. 12 – Латунна труба  $D=16$  мм з товщиною стінки  $s=1$  мм, отримана шляхом накатування без оправки та протитиску

Основними недоліками даної схеми є:

1. Можливість сплюснення труби на етапі формуванні лунки під дією ролика та лонета, що унеможливує отримання великої глибини профілю на першому проході, але достатнього для досягнення збільшення теплопередачі .

2. Використання лонету, на який спирається труба, призводить до зниження якості отриманих зразків.

3. Трьохроликове обкочування гвинтоподібних труб без протитиску та оправки. В якості основного деформуючого інструменту використовується трьох роликова обкатна головка 5 на базі трьох кулачкового патрону 1, яка закріплена на супорті токарного верстату (рис. 13) [6]. Регулювання головки 5 виконується по попередньо отриманій оправці невеликої довжини, яка копіює профіль труби, яку потрібно отримати. Технологія виготовлення гвинтоподібних труб включає: закріплення труби заготовки 9 в патроні верстату та між роликами 6 обкатної головки, їх втискання одночасно в трубу на глибину 0,5...1,0 мм та обкочування з переміщенням супорта з головкою 5 вздовж труби 9 до патрону.

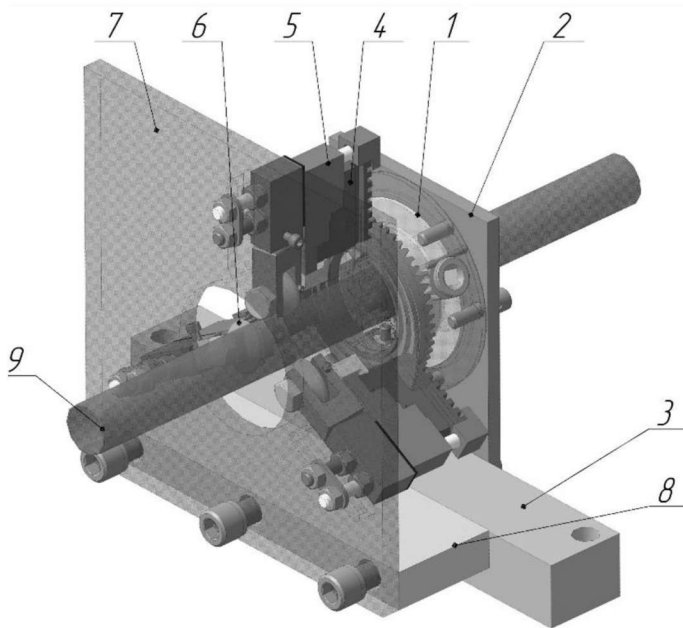
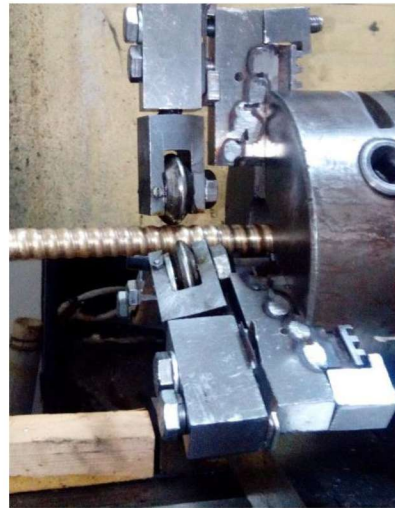


Рис.13. – 3D модель трьох роликової обкатної головки із трубчастою заготовкою:  
1 – трьох кулачковий патрон; 2 – плита;  
3 – опора; 4 – кулачки; 5 – обкатна головка;  
6 – ролики; 7 – направляюча плита;  
8 – кронштейн; 9 – труба



*а*



*б*

Рис. 14 – Фотографії: *а* – трьохроликова обкатна головка, яка встановлена на токарно-гвинторізний верстат;  
*б* – гвинтоподібна труба, яка отримана за допомогою трьох роликового обкочування без протитиску

При цьому верстат включається в режим нарізання різьби. Після першого проходу верстат включається на зворотній хід і обкатна головка повертається в початкове положення. На наступному етапі ролики *б* втискаються в трубу і процес обкочування повторюється. Відбувається декілька етапів обкочування до досягнення необхідної глибини канавки і труба знімається з верстату.

Основними перевагами даного методу над попередніми є висока якість отриманих зразків при відносній простоті процесу профілювання. Не потрібно ніякого допоміжного обладнання.

На рис. 14, *а* зображена фотографія трьох роликової обкатної головки, яка була встановлена на токарно-гвинторізний верстат, а на рис. рис. 14, *б*

представлено зразок гвинтоподібної труби отриманої шляхом роликового обкочування трьох роликовою обкатною головкою.

**Подальші перспективи в дослідженнях:** Детально проаналізувавши результати проведених досліджень, було розроблено декілька напрямків розвитку технологія отримання гвинтоподібних труб. Спроектвано та виготовлено дослідне оснащення для обкочування роликами та калібрування латунних трубок теплообмінників довжиною до 2 м (рис. 15).

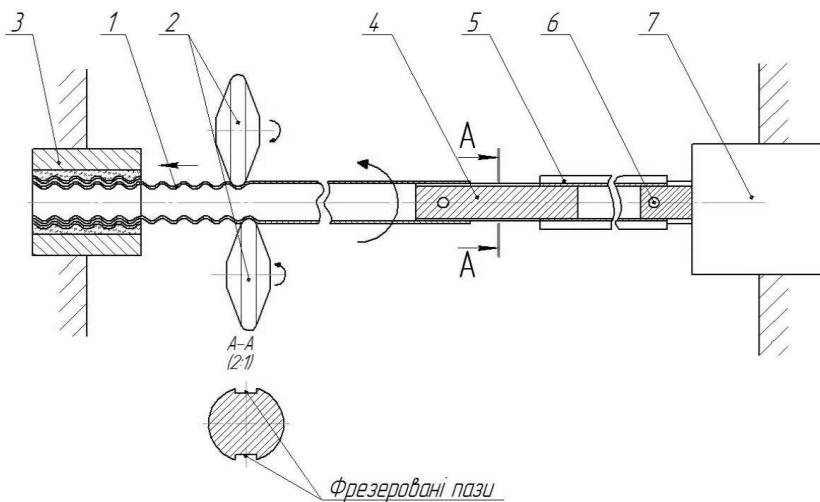


Рис. 15 – Принципова схема отримання гвинтоподібних труб шляхом трьох роликового обкочування з калібруванням: 1 – труба; 2 – ролики обкатної головки; 3 – диск з внутрішньою різьбою; 4 – стержень з пазами; 5 – допоміжна труба з пазами; 6 – гвинт; 7 – мотор – редуктор

Рис. 16 – Фотографія першого зразка гвинтоподібної трубки  $D=16$  мм з товщиною стінки  $s=1$  мм

Робота даної схеми деформування гвинтоподібних труб реалізується наступним чином:

1. На першому етапі потрібно спрофілювати гвинтоподібний профіль на трубі 1 незначної довжини, для того щоб вкрутити її в диск 3 з внутрішньою різьбою.

2. Після формування західної частини на трубі 1 вона вкручується в диск 3 з внутрішньою різьбою та розміщується між роликами обкатної головки 2.

3. Для передачі крутного моменту від мотор-редуктора 7 до труби 1 використовується телескопічна система, яка реалізується наступним чином. Труба 1 жорстко з'єднується з стержнем 4, на якому фрезеровано пази, з'єднання стержня 4 з трубою 1 виконано гвинтом. За рахунок пазів на стержні 4 та допоміжній трубі 5 вдається забезпечити зворотно – поступальний рух труби з передачею крутного моменту від мотор-редуктора 7. Труба 5 в свою чергу жорстко з'єднана з валом мотор-редуктор 7 за допомогою гвинта 6. Побудова даної схеми дозволяє передавати крутний момент від двигуна мотор-

редуктора 7 на трубу 1 та забезпечувати зворотно – поступальний рух під час деформування труби 1.

4. Після всіх підготовчих операцій виконується втискання роликів 2 обкатної головки в трубу 1 так, як представлено на схемі. Вмикається мотор-редуктор 7, що призводить до обертання труби 1, а так як попередньо сформований профіль труби 1 та диск 3 створюють пару гвинт – гайка відбувається поступове переміщення труби в напрямку диску 3. За рахунок обертання труби 1 та роликів 2 відбувається формування гвинтоподібного профілю. Довжина труби 1 обмежується розмірами станини верстату та довжиною телескопічної системи.

**Висновки.** 1. За рахунок чисельного моделювання виявлено, що обкочування без оправки призводить до незначної овальності (0,5...0,8 мм) труби з зовнішнім діаметром  $D = 20$  мм та товщиною стінки  $s = 1$  мм.

2. Проведено ряд експериментальних досліджень за різними схемами по отриманню гвинтоподібних труб роликівим обкочуванням без оправки та встановлена можливість виготовлення якісних гвинтових профілів на трубках теплообмінників з латуні діаметром 16x1 мм глибиною до 1,5 мм за 1 прохід, що достатньо для підвищення теплопередачі на 30...50 % .

3. Доведено ефективність технології трьох роликівого обкочування при виготовленні гвинтоподібних труб без оправки.

4. Розроблено технологію та оснащення профілювання труб шляхом трьох роликівого обкочування з калібруванням і перевірено її працездатність під час виготовлення гвинтоподібних труб.

Список літератури: 1. Демчук Л.В. Теплоаеродинамічна ефективність гвинтоподібних труб з рівно розвиненою поверхнею / Л. В. Демчук, В.А. Рогачов, О.М. Терех, О.І. Руденко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011 – №5/8 (53) – С. 26–29. 2. Письменний Є.М. Теплообмін пучків труб з рівно розвиненою поверхнею/ Є.М. Письменний, В.А. Рогачов, О.М. Терех, В.І. Коньшин, Д.С. Омельчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2013 – №1/8 (61) – С. 30–33. 3. Маковей В.О. Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням / В.О. Маковей, Ю.П. Бородій, А.В. Кліско, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55–60. 4. Маковей В.О. Исследование локального деформирования трубы при профилировании винтовых канавок / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вестник Национального технического университета “ХПИ». – 2011. – №46. – С. 107–115 5. Маковей В.О. Моделювання процесу профілювання канавок на трубах роликівим обкочуванням / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. машинобудування. – 2011. – №62. – С. 203–206. 6. Маковей В.О. Профілювання гвинтоподібних труб теплообмінників обкочуванням роликами / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко, // Вісник НТУ “ХПІ». – 2013. – №43. – С. 153–162.

**Bibliography (transliterated):** 1. Demchuk L.V. Teploaerodynamichna efektyvnist hvyntopodibnykh trub z rivno rozvynenoio poverkhneiu L. V. Demchuk, V.A.Rohachov, O.M. Terekh, O.I. Rudenko Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovikh tekhnolohyi – 2011 – No58 (53) – P. 26–29. 2. Pysmennyi Ie.M. Teploobmin puchkiv trub z rivno rozvynenoio poverkhneiu Ie.M. Pysmennyi, V.A. Rohachov, O.M.Terekh, V.I. Konshyn, D.S. Omelchuk Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovikh tekhnolohyi – 2013 – No18 (61) – P. 30–33. 3. Makovei V.O. Profiliuvannia hvyntopodibnykh trub obkochuvanniam V.O.–Makovei, Iu.P.Borodii, A.V. Klisko, P.Iu. Protsenko Visnyk Kyivskoho politekhn. in-ta. Mashynobuduvannia. – 2010.

– No60. – P. 55–60. 4. Makovei V.O. Issledovanye lokalnoho deformatsiyovaniya trubuy pry profilyrovaniy vyntovyykh kanavok V.O. Makovei, P.Iu. Protsenko Vestnyk Natsyonalnoho tekhnicheskoho unyversyteta «KhPY». – 2011. – No46. – P. 107–115. 5. Makovei V.O. Modeliyuvannya protsesu profilyuvannya kanavok na trubakh rolykovym obkochuvanniam V.O. Makovei, P.Iu. Protsenko Visnyk Kyivskoho politekhn. in-ta. Mashynobuduvannya. – 2011. – No62. – P. 203–206. 6. Makovei V.O. Profilyuvannya hvyntopodibnykh trub teploobminnykiv obkochuvanniam rolykamy V.O. Makovei, P.Iu. Protsenko, Visnyk NTU «KhPI». – 2013. – No43. – P. 153–162.

Надійшла (received) 06.11.2014

УДК 656.132

**Н. Н. МОРОЗ**, докт. техн. наук, доц., КрНУ, Кременчуг

## **ПРОБЛЕМЫ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ Г. КРЕМЕНЧУГ**

Проведен анализ результатов обработки информации о пассажиропотоке, разработано пути решения транспортных проблем городских перевозок пассажиров. Исходя из материалов исследования, предложено улучшить обслуживания населения за счет усовершенствования структуры транспортных средств, усовершенствования расписания движения и создания системы диспетчерского управления, обеспечения подвижного состава информационными трафаретами в соответствии с действующими требованиями нормативных актов.

**Ключевые слова:** пассажирский транспорт, расписание, обслуживание, диспетчерское управление.

**Введение.** Проведенный анализ современного состояния пассажирских перевозок показывает, что их уровень не во всех сферах деятельности одинаковый и, как правило, не отвечает современным требованиям, которые относятся к качеству перевозки пассажиров [1]. Часто не обеспечивается предусмотренное нормами время поездок, что объясняется низкими скоростями соединения основными видами городского транспорта, необходимостью выполнять пересадки по причине несовершенной маршрутной сети и потери времени на подходы к остановочным пунктам. В дискомфортных условиях с нарушением установленных требований наполнения подвижного состава выполняются поездки в часы «пик». Устранение отмеченных недостатков является актуальной задачей [1]. Также пассажирский транспорт общего пользования является важнейшей составляющей жизнедеятельности города, основной задачей которого есть своевременное, качественное и полное удовлетворения нужд в перевозках пассажиров [2].

**Цель работы** – разработать пути решения транспортных проблем по результатам обследования пассажиропотоков г. Кременчуг.

**Материалы и результаты исследований.** Программа исследований разработана на основе «Методики изучения спроса населения на пассажирские