

**В.А.Сичук, О.В.Заболотний**  
**Луцький національний технічний університет**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ПОРИСТИХ ЗРАЗКІВ З МЕТОЮ**  
**ВИЯВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ**

*Для зменшення зношування внутрішньої найбільш відповідальної поверхні деталі (сопла абразивоструменевої машини) авторами статті пропонується на вищезгаданій поверхні утворити повітряний прошарок, який буде виконувати роль бар'єру між абразивом і робочою поверхнею сопла. Як наслідок частину сопла необхідно виготовити пористою.*

*В представленій статті показано процес дослідження повітропроникності пористих порошкових зразків з пористістю 30%, 40%, 50% виготовлених з титанового порошку марки ПТХ-1. Фракційний склад порошку: -1мм...+0,63мм і -0,63мм...+0,4мм. Досліджувався характер і ступінь впливу фракційного складу порошку і пористості порошкового зразка на перепад тиску  $\Delta P$ , який виникає при проходженні потоку повітря через пористий зразок.*

**Ключові слова:** пористість, повітропроникність, абразивоструменева обробка, зношування.

*Рис 17. Літ 4.*

**В.А.Сычук, О.В.Заболотный**  
**ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦОВ С**  
**ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

*Для уменьшения износа внутренней наиболее ответственной поверхности детали (сопла абразивоструйной машины) авторами статьи предлагается на вышеупомянутой поверхности создать воздушную прослойку, которая будет выполнять роль барьера между абразивом и рабочей поверхностью сопла. Как следствие часть сопла необходимо изготовить пористой.*

*В представленной статье показан процесс исследования воздухопроницаемости пористых порошковых образцов с пористостью 30%, 40%, 50% изготовленных из титанового порошка марки ПТХ-1. Фракционный состав порошка двух типов: -1мм...+0,63мм и -0,63мм...+0,4мм. Исследовался характер и степень влияния фракционного состава порошка и пористости порошкового образца на перепад давления  $\Delta P$ , которое возникает при прохождении потока воздуха через пористый образец.*

**Ключевые слова:** пористость, воздухопроницаемость, абразивоструйная обработка, износ.

**V.Sychuk, O.Zabolotnyi**  
**A RESEARCH OF AIR PERMEABILITY OF POROUS SAMPLES WITH THE**  
**PURPOSE TO IDENTIFY OPTIMAL PARAMETERS**

*To reduce wear on the inner most responsible surface of a part (a nozzle of abrasive blasting machine) authors of the paper suggest to create an air layer on the mentioned above surface, this layer will act as a barrier between the abrasive and the working surface of the nozzle. As a consequence, part of the nozzle must be produced porous one.*

*In this article we show the process of a research of the air permeability of porous powder samples with a porosity of 30%, 40%, 50% made of titanium powder PTH-1. Fractional composition of the powder of two types: -1mm...+0,63mm and -0,63mm...+0,4mm. There were researched properties and level of influence of fractional composition of powder and porosity of powder sample on pressure drop  $\Delta P$ , which occurs when the flow of air pass through the porous element.*

**Keyword:** porosity, air permeability, abrasive blasting processing, wear.

Підвищення терміну ефективної працездатності деталей у машинобудуванні є важливою складовою загального часу продуктивної роботи вузла чи механізму в цілому.

Сопло в абразивоструменевій машині є найбільш навантаженим елементом, тобто воно піддається набагато більшому спрацюванню по відношенню до інших деталей даного механізму. Тому метою наукового дослідження є пошук і реалізація методу підвищення зносостійкості даної частини такої машини.

В основному світова тенденція до збільшення часу продуктивної служби сопла абразивоструменевої машини полягає в застосуванні надтвердих матеріалів, що в свою чергу мають високу вартість, яка негативно відбивається на загальній ціні сопла.

Авторами запропоновано новий метод підвищення зносостійкості сопла, який полягає в утворенні повітряного прошарку (рис.1.) на внутрішній робочій поверхні сопла. Повітря продувається в радіальному напрямку через сопло, яке є пористим [1-3].

За основу, як об'єкт вдосконалення, було прийнято сопло форми Вентурі UDC32–450, як більш продуктивне та широко використовуване в порівнянні з соплами інших форм.

Конструктивна особливість внутрішньої робочої поверхні даного сопла полягає в тому, що воно складається з трьох основних частин: вхідна широка конічна горловина, вузька циліндрична частина, вихідна вузька конічна частина. Січення з геометричними розмірами сопла показано на рис. 2.

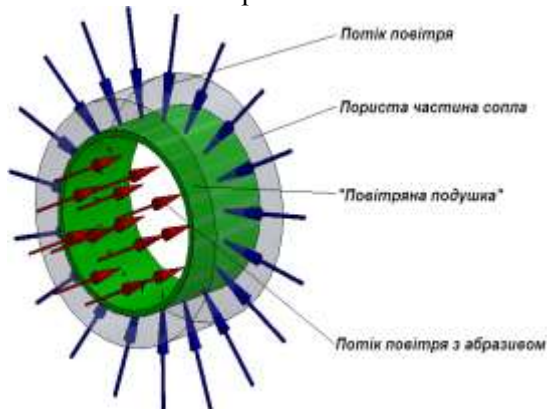


Рис. 1. Схема утворення повітряної подушки на внутрішній поверхні частини сопла.

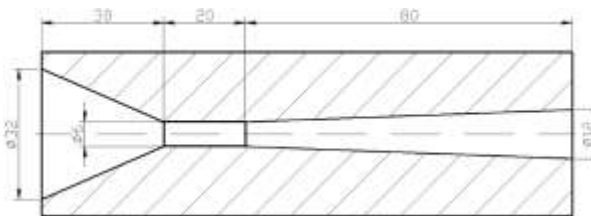


Рис. 2. Основні внутрішні геометричні розміри профілю сопла UDC32–450 форми Вентурі.

Дослідивши спрацьовані сопла даної конструкції дійшли висновку, що воно втрачає свої продуктивні робочі властивості в основному через зношення вузької циліндричної частини. В даній зоні проходять найбільш екстремальні умови роботи, висока концентрація абразивних частинок. Отож при спрацюванні даної частини сопла, а саме при збільшенні внутрішнього діаметру втрачаються основні продуктивні характеристики потоку повітря з абразивом. Тому було прийнято рішення максимальну увагу спрямувати на дану зону і усувати спрацювання саме там.

Отже, для виготовлення такого виробу сопло повинно бути збірним [3]. Опишемо процес виготовлення і дослідження пористого зразка, яке буде використовуватися в збірній конструкції сопла абразивоструменевої машини.

В якості вихідного матеріалу прийняли титановий порошок марки ПТХ-1 (рис. 3). Такий вибір матеріалу обумовлений хорошими технологічними властивостями порошку при його пресуванні, здатності спікатися при СВС процесі, що є надзвичайно енергоефективним і економічним методом спікання [4].

Фракційний склад титанового порошку для виготовлення експериментальних зразків та їх випробування обирали виходячи із міркувань забезпечення мінімальних втрат тиску при проходженні повітря через пористе середовище, забезпечення можливості створення достатньої кількості пористих каналів для виходу повітря та забезпечення при цьому достатньої міцності таких пористих порошкових матеріалів. Виходячи з цього однозначно неприйнятними для виготовлення порошкових зразків є дуже дрібні фракції порошку, оскільки вони створюють значні перепади тисків при проходженні повітря через такі пористі зразки, а також крупні фракції порошку ( $>1$  мм) через недостатню кількість створюваних повітряних каналів, що не дозволяє забезпечити необхідну рівномірність і стабільність створюваного ними повітряного потоку, а також досить низька міцність таких зразків із високою пористістю. Тому для проведення експериментальних досліджень попередньо було прийнято для виготовлення порошкових зразків титановий порошок двох фракцій:  $-1\text{мм}...+0,63\text{мм}$  та  $-0,63\text{мм}...+0,4\text{мм}$ .

В якості оснастки було виготовлено прес-форму з пуансоном (рис. 4), на якій можна виготовляти зразки у формі шайби з  $\phi 30\text{мм}$  і висотою 5мм. Висота в 5мм обумовлена її властивостями міцності та технологічністю виготовлення. Процес пресування виконували на вертикальному гідравлічному пресі (рис. 5).



Рис. 3. Порошок марки ПТХ-1 на основі титану.



Рис. 4. Матриця з пуансоном для виготовлення зразків у формі шайби з Ø30мм.

Для потреб експерименту у визначенні перепаду тиску при проходженні повітря через пористі шайби було виготовлено 18 зразків:

- 3 шт. з пористістю 30 % і фракцією порошку -0,63мм...+0,4мм;
- 3 шт. з пористістю 40 % і фракцією порошку -0,63мм...+0,4мм;
- 3 шт. з пористістю 50 % і фракцією порошку -0,63мм...+0,4мм;
- 3 шт. з пористістю 30 % і фракцією порошку -1мм...+0,63мм;
- 3 шт. з пористістю 40 % і фракцією порошку -1мм...+0,63мм;
- 3 шт. з пористістю 50 % і фракцією порошку -1мм...+0,63мм.

Для забезпечення визначеної пористості зразків, користувалися ваговим методом. Отже суцільний титановий зразок (шайба з Ø30мм і висотою 5мм) має масу – 16,23 гр., тоді:

- зразок з пористістю 30% - 11,361 гр.;
- зразок з пористістю 40% - 9,738 гр.;
- зразок з пористістю 50% - 8,115 гр.

Пресування проводилося з швидкістю подачі тиску - 50кг/сек. Після досягнення необхідного ходу пуансона, який визначається досягненням висоти зразка в 5мм, витримували при статичному тиску 2хв. Усереднені значення тиску пресування зведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Усереднені значення тиску пресування пористих зразків.

№ п/п	Фракція, мм	Пористість, %	Тиск пресування, кгс/мм <sup>2</sup>
1	-0,63...+0,4	30	9,224
2		40	4,341
3		50	2,689
4	-1...+0,63	30	8,398
5		40	5,331
6		50	2,831

Також були спроби виготовити пористі зразки з пористістю більше ніж 50%, але усі вони закінчувалися невдачею, оскільки розвалювалися при їх діставанні з прес-форми, тобто зв'язки між часточками порошку були дуже слабкими. Тому виготовлення порошкових зразків з пористістю більше 50% вважаємо недоцільним через недостатню міцність одержуваного пористого матеріалу.

Наступний процес, який потрібно виконати над спресованими зразками – це спікання, в нашому випадку застосуємо СВС процес. Для забезпечення проходження даної реакції синтезу спресованого матеріалу порошку ПТХ-1, необхідно підвести джерело тепла до зразків, в нашому випадку використовували плазмовий пальник МУЛЬТИПЛАЗ. Фрагмент СВС процесу зображено на рис. 6.



Рис. 5. Пресування пористих зразків на вертикальному гідравлічному пресі.



Рис. 6. Спикання зразків при СВЧ процесі.

На рис. 7 зображено дослідний пористий зразок до і після спікання.



а)



б)

Рис. 7. Дослідний пористий зразок до (а) і після спікання (б).

Наступний етап дослідження це визначення перепаду тиску повітря через одержані порошкові зразки, які виготовлені з різних фракцій порошку титану з різними пористостями. Результати даного дослідження є дуже важливими, оскільки згідно них можна буде судити про характер і ступінь впливу фракційного складу порошку і пористості пористої вставки сопла на одержуваний перепад тисків.

Для цього було виготовлено експериментальну установку для визначення перепаду тиску при проходженні потоку повітря через пористі порошкові зразки (див. рис. 8-9). Максимальний тиск установки 6 атм, що є достатнім для експериментальних випробувань, оскільки сопла Вентурі промислових установок, що взяті нами за основу для удосконалення, працюють при даному або ж нижчому тисках.

Схема роботи експериментальної установки та її загальний вигляд зображено на рисунку 8. В спеціальне гніздо у фланці вставляється пористий зразок типу шайба Ø30мм і висотою 5мм. Між фланцями до яких прикріплені вхідна та вихідна трубки вставляється гумове ущільнююче кільце, потім фланці скручуються болтами з гайками до досягнення герметичності. Далі установка через штуцер з шлангом приєднується до ресивера з компресором (рис. 9).



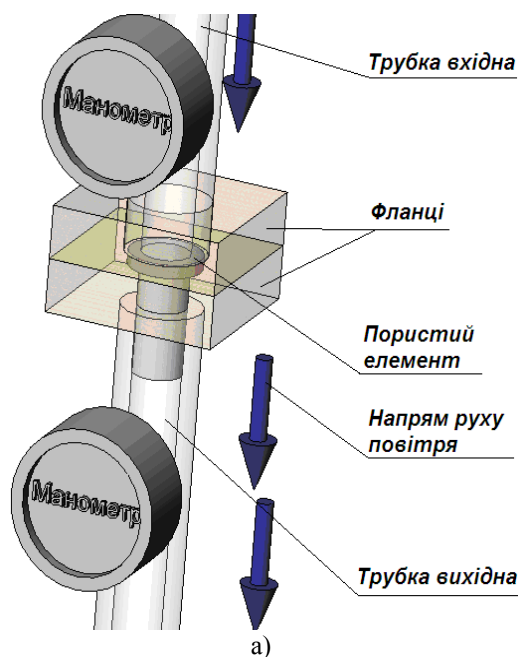


Рис. 8. Схема (а) роботи експериментальної установки для визначення перепаду тиску при проходженні повітря через пористий зразок та її загальний вигляд (б).



Рис. 9. Експериментальний стенд для визначення перепаду тиску повітря при його проходженні крізь пористий зразок.

Методика проведення експерименту полягає в накачуванні повітря до тиску більше 6 атм і через кран, який розміщений на кінці вхідної трубки, випусканні його, яке в свою чергу проходить через пористий зразок. Для прикладу розглянемо визначення перепаду тиску зразка з пористістю – 50%, який виготовлений з порошку фракції -1мм...+0,63мм. На манометрі вхідної трубки тиск повітря 6 атм, швидко відкриваємо кран, щоб тиск повітря після того як воно пройшло крізь пористу вставку вільно виходило назовні установки (манометр на вихідній трубці покаже 0 атм надлишкових), і бачимо що на вхідній трубці манометр покаже 0,8 атм. Виконуємо таку процедуру багато разів, щоб встановити закон перепаду тиску повітря при різному вхідному тиску повітря (типу при 6 атм, 5 атм, 4 атм і т.д.). провівши 18 експериментів отримуємо криві перепаду тиску повітря при різних тисках і різних пористостях. Отримані експериментальні дані зведемо в графіки (рис. 10 - 15).



Рис. 10. Зведені в графіки експериментальні значення перепаду тиску пористого зразка виготовленого з порошку фракції - 0,63мм...+0,4мм з пористістю 30%.

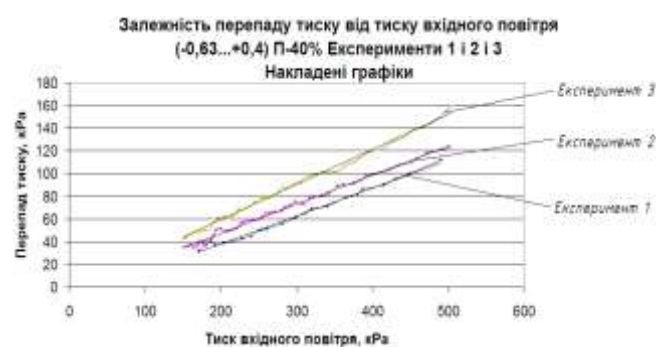


Рис. 11. Зведені в графіки експериментальні значення перепаду тиску пористого зразка виготовленого з порошку фракції - 0,63мм...+0,4мм з пористістю 40%.

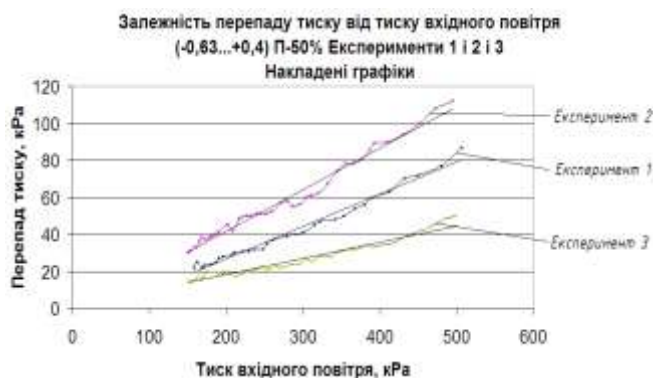


Рис. 12. Зведені в графіки експериментальні значення перепаду тиску пористого зразка виготовленого з порошку фракції - 0,63мм...+0,4мм з пористістю 50%.

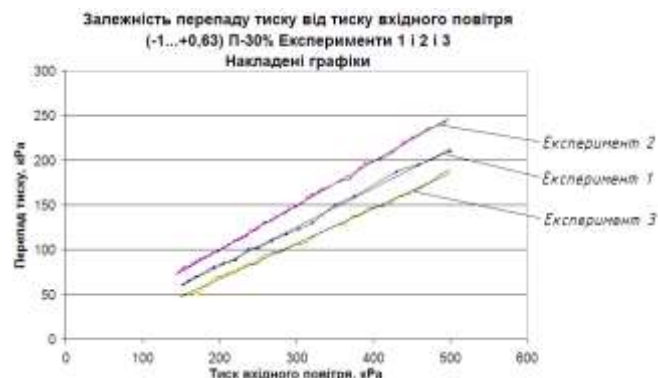


Рис. 13. Зведені в графіки експериментальні значення перепаду тиску пористого зразка виготовленого з порошку фракції - 1мм...+0,63мм з пористістю 30%.

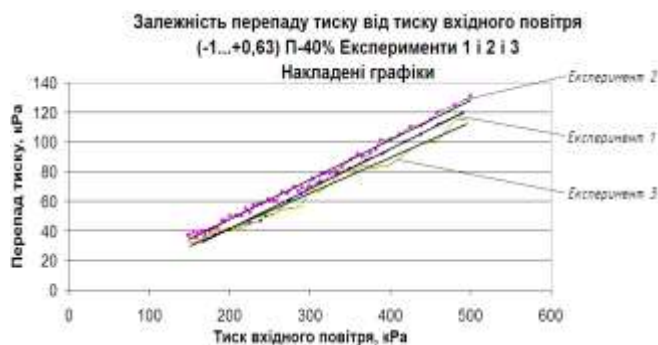


Рис. 14. Зведені в графіки експериментальні значення перепаду тиску пористого зразка виготовленого з порошку фракції - 1мм...+0,63мм з пористістю 40%.

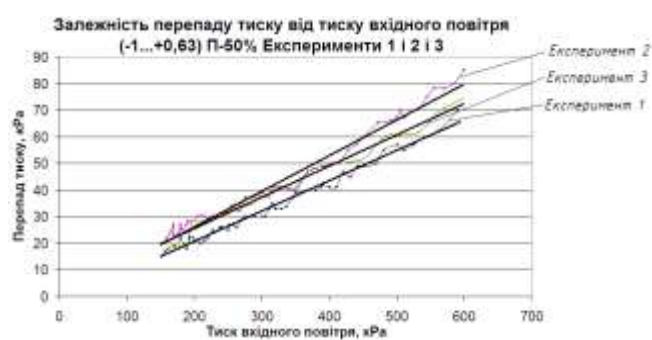


Рис. 15. Зведені в графіки експериментальні значення перепаду тиску пористого зразка виготовленого з порошку фракції - 1мм...+0,63мм з пористістю 50% та їх лінійні апроксимації.

Для наочності наведемо один приклад (фракція -1мм...+0,63мм при пористості 50%) опрацювання даних. На рис. 15 зображено графіки залежностей перепаду тиску повітря від тиску вхідного повітря. Апроксимувавши експериментальні точки в усереднений графік отримуємо залежність, яка є лінійною на ділянці від 0 кПа до 600 кПа. Усереднену залежність трьох експериментів зведемо в одну залежність (рис. 16).

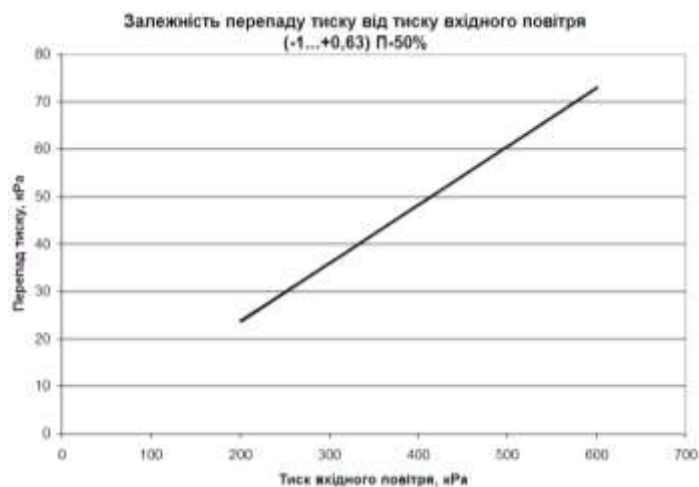


Рис. 16. Усереднена залежність перепаду тиску від тиску вхідного повітря

Як видно з рис. 11, отримана залежність є лінійною у вказаному діапазоні тисків і її можна описати рівнянням:

$$y = 0,1223x - 0,5629, \quad (1)$$

Або ж для нашого випадку формула для визначення перепаду тиску в зразку виготовленого з фракції -1мм...+0,63мм порошку титану при пористості 50%:

$$\Delta P = 0,1223 \cdot P_{\text{вх}} - 0,5629, \quad (2)$$

де  $P_{\text{вх}}$  - тиск вхідного повітря, атм.

Аналогічні розрахунки та усереднення проводимо і для всіх інших експериментів і зводимо усі результати в один загальний графік (рис. 17).

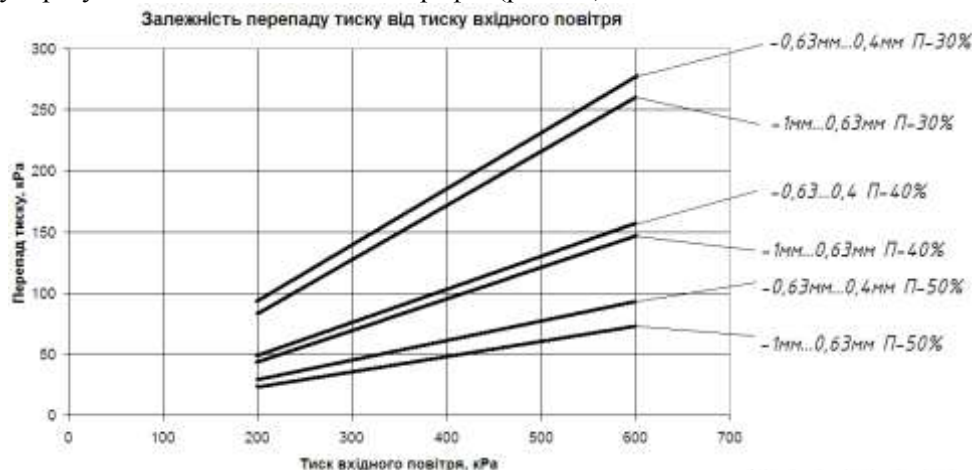


Рис. 17. Узагальнений графік залежностей перепаду тиску від вхідного тиску повітря, при різних пористостях та фракційному складі пористих зразків виготовлених з порошку марки ПТХ-1.

**Висновки.** Отже, дослідження проведені в даній статті переконали нас у правильності вибору структурних параметрів майбутньої пористої вставки сопла, що є об'єктом дослідження. Аналізуючи одержані результати та графіки зображені на рис. 17, можна дійти висновку, що найменші перепади тиску, а отже і опір вхідному потоку повітря, яке проходить через пористий зразок, виникає у пористих зразках із фракційним складом -1мм...+0,63мм і пористістю 50%, тому саме такі параметри найдоцільніше обрати для виготовлення пористої частини сопла, що удосконалюється. Робоча міцність зразка з даними параметрами забезпечується оскільки зразок не руйнувався при дослідженні, а умови в яких буде працювати пориста вставка з вибраними нами структурними параметрами не будуть жорсткішими. Для прогнозування перепаду тисків пористої частини порошкового сопла із рекомендованими параметрами можна скористатись одержаною нами залежністю (2) описаною вище.

1. Сичук В.А., Заболотний О.В. Технологія отримання зносостійкого сопла піскоструменевої машини методом сухого радіально-ізостатичного пресування. // Науковий журнал «Технологічні комплекси». - №1. - Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. - с. 124-129.
2. Сичук В.А., Заболотний О.В. Нова технологія виготовлення та особливості використання зносостійкого сопла піскоструменевої машини // Наукові нотатки. - Випуск 29. - Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. - с. 179-184.
3. Oleg Zabolotnyi, Victor Sychuk. Functional simulation and manufacturing of porous element of new design nozzle for sandblasting machines // Сборник трудов международной конференции «Научные принципы и подходы, методы и технологии, системный анализ и статическая обработка данных о создании, диагностике, модернизации композитных материалов и покрытий с нанодобавками, работающих в условиях динамического и высокоэнергетического нагружения». 26-27 сентября 2013, Москва, РФ. - М.: НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им Н.Э. Баумана. 2013. - С.27-39.
4. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. - Минск: Дзёр, 1998. - 258с.

Стаття надійшла до редакції 05.05.2014.