

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.

Київський національний університет технологій та дизайну,
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»
<https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>
e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГАЛУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТИПУ «TURBULA» ПРИ ВИКОНАННІ ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДРІБНИХ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ

Запропоновано спосіб вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula». Згідно запропонованого способу основний етап полірування поверхні деталей здійснюється абразивними керамічними тілами складної геометричної форми з додаванням дрібнодисперсної пемзи при реалізації змішаного каскадно-водоспадного режиму руху сипкого робочого середовища. Такий спосіб обробки деталей вважається високопродуктивним, час обробки деталей в середньому становить 15 годин безперервної роботи машини, що в декілька разів швидше ніж при обробці деталей у обертових галтувальних барабанах чи вібраційних машинах. Аналітичним шляхом виконано техніко-економічне обґрунтування застосування способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації технологічної операції полірування поверхні поліестірних гудзиків. Розраховано очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленого способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», що складе 14'059,8 грн на дві одиниці обладнання. Даний спосіб обробки може бути використаний для покращення якості поверхні будь-яких полімерних деталей з можливістю досягнення відповідного значення шорсткості їх поверхні. Отримані результати досліджень можуть бути використані у конструкторських бюро відповідних підприємств із виготовлення дрібних полімерних деталей, якість поверхні яких визначається органолептичним методом.

Ключові слова: полірування, полімерні деталі, галтувальна машина, робоча ємкість.

Mark ZALYUBOVSKYI

Kyiv National University of Technology and Design,
Open International University of Human Development "Ukraine"

TECHNICAL AND ECONOMIC RATIONALE FOR THE USE OF TURBULA TYPE MACHINING MACHINES IN POLISHING THE SURFACE OF SMALL POLYMER POLYMERS

A method of wet polishing of polymer parts using a galvanizing machine with a complex spatial movement of the working tank type «Turbula» is proposed. According to the proposed method, the main stage of polishing the surface of the parts is carried out by abrasive ceramic bodies of complex geometric shape with the addition of fine pumice in the implementation of mixed cascade-waterfall mode of movement of the bulk working medium. This method of processing parts is considered highly productive, the processing time of parts averages 15 hours of continuous operation of the machine, which is several times faster than when processing parts in rotating drum drums or vibrating machines. The latter are characterized by low productivity of the relevant technological operations. The feasibility study of the method of wet polishing of polymer parts using a galvanizing machine with a complex spatial movement of the working capacity of the «Turbula» type for the implementation of the technological operation of polishing the surface of polyester buttons was performed analytically. The expected annual economic effect from the implementation of the developed method of wet polishing of polymer parts using a galvanizing machine with a complex spatial movement of the working capacity of the «Turbula» type, which will amount to UAH 14,059.8 per two units of equipment, is calculated. This method of processing can be used to improve the surface quality of any polymer parts with the possibility of achieving the appropriate value of the roughness of their surface. The obtained research results can be used in design bureaus of relevant enterprises for the manufacture of small polymer parts, the surface quality of which is determined by organoleptic method, as well as in design bureaus of machine-building enterprises specializing in the development of galvanizing equipment.

Key words: polishing, polymer parts, galvanizing machine, working capacity.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Збільшення продуктивності при виготовленні дрібних полімерних виробів та деталей у переважній мірі залежить від скорочення часу, який витрачається на фінішні галтувальні технологічні операції [1]. Наприклад, у легкій промисловості таким способом виготовляють гудзики та застібки. Зокрема, формоутворення таких деталей найчастіше реалізується шляхом вирубки заготовок на спеціальних пресах або шляхом механічної обробки заготовок [2]. Після формоутворення даним заготовкам необхідно надати належного зовнішнього вигляду – поверхня деталей має бути гладкою без наявності нерівностей чи заусенцій, мають бути відсутні сліди від проходу різального інструменту тощо. Тобто, такі деталі потребують покращення якості їх поверхні. Оскільки якість поверхні таких деталей визначається виключно органолептичним методом, то реалізується це шляхом виконання трудомістких фінішних галтувальних технологічних операцій – шліфуванням чи поліруванням їх поверхні [3]. У переважній більшості, такі галтувальні технологічні операції виконуються із застосуванням галтувальних барабанів із обертальним рухом робочих ємкостей [4] чи вібраційних машин [5]. Відомо [6], що такі типи галтувального обладнання, які застосовуються для вищезгаданих технологічних операцій, мають низьку продуктивність, що призводить до значного підвищення цін на кінцевий продукт.

Підвищення продуктивності фінішних галтувальних технологічних операцій можна досягнути за рахунок використання сучасного обладнання, зокрема, обладнання зі складним рухом робочих емкостей. Перспективним типом такого обладнання вважаються машини типу «Turbula» [7], у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух – одночасно переміщається у трьох взаємоперпендикулярних площинах та виконує обертання навколо власної осі. Таким чином, можна досягнути інтенсифікації руху робочого масиву (деталі та абразивний масив) в середині ємкості.

Авторами був розроблений цілий ряд таких галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих емкостей [8 – 10] з різними конструктивними та технологічними особливостями. Однак, на сьогоднішній день, відсутнє порівняльне техніко-економічне обґрунтування використання розробленого галтувального обладнання типу «Turbula» при виконанні технологічної операції полірування поверхні дрібних полімерних виробів.

Аналіз досліджень та публікацій

Відомі роботи [8 – 10], у яких проведені дослідження просторових механізмів галтувальних машини типу «Turbula». У роботах [8 – 10] розроблено конструкції машин зі складним просторовим рухом робочих емкостей без наявності пасивних зв'язків у кінематичних ланцюгах просторових механізмів. Проведена ціла низка досліджень [11, 12], які показали успішність використання машини типу «Turbula» для реалізації технологічних процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Так, у роботі [12] було доведено, що всього лиш за 10 обертів ведучого валу машини індекс сегрегації при змішуванні відповідав випадковому розподілу окремих частинок двох фракцій сипкого середовища між собою. Відомі експериментальні дослідження [13, 14], де машини зі складним просторовим рухом робочих емкостей успішно використовуються для реалізації процесів відділення металевих деталей від ливників. В результаті цих досліджень було встановлено, що із використанням машин типу «Turbula», час технологічної операції можна скоротити в десять разів і більше. Експериментальні дослідження [15] показали, що для обробки гудзиків в машині зі складним рухом робочої ємкості потрібно у півтора рази менше часу ніж при аналогічній обробці у машині з обертним барабаном.

Виділення невирішених частин

Незважаючи на проведені дослідження щодо доцільності використання машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації фінішних галтувальних технологічних операцій, залишається відкритим питання щодо раціональності та економічної доцільності застосування такої машини при виконанні технологічної операції покращення якості поверхні полімерних деталей та виробів (шліфування та полірування).

Формулювання цілей

Суть даної роботи полягає у техніко-економічному обґрунтуванні використання галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації технологічних операцій покращення якості поверхні полімерних деталей та виробів (шліфування та полірування).

Виклад основного матеріалу

Дослідження виконувалися із використанням двох типів поліефірних гудзиків (діаметром 28 мм та 16 мм), формоутворення яких відбувається шляхом механічної обробки. При реалізації полірування поверхні полімерних гудзиків абразивом у вигляді вільних гранул в середині рухомих емкостей порівнювали два типи галтувального обладнання: звичайний восьмигранний обертний барабан, що використовується на підприємстві ТОВ «Polyplast» (м. Львів) для реалізації вищезгаданих технологічних операцій та розроблений спосіб вологого полірування полімерних деталей [16] із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» [8 – 10].

Розглянемо «базовий» технологічний процес полірування із застосуванням обертного барабану: на ТОВ «Polyplast» для реалізації даної технологічної операції використовується восьмигранний обертний барабан «WPS 330» італійської фірми «Tullio Giusi» з корисним об'ємом 330 л (0,33 м³).

Згідно затвердженого на ТОВ «Polyplast» технологічного регламенту «Виробництва поліефірних листів, заготовок та гудзиків», базовий процес полірування виконується наступним чином. Зокрема, для галтування гудзиків необхідно ввести в барабан наступні складники:

Спеціально підготовлений керамічний абразивний матеріал (трикутні призми із довжиною усіх граней 5 мм) у кількості приблизно 130 – 140 кг.

Пемза середньої або дрібнозернистості в кількості приблизно 2 кг. Кількість збільшується (до 3 – 4 кг) у випадку, коли обточка гудзиків не ідеальна.

Вода без особливих характеристик в кількості приблизно 40 – 55 літрів.

Гудзики, які необхідно піддати галтуванню. Найкращі результати одержується із завантаженням 30 кг гудзиків.

При цьому, враховуючи вагу компонентів, співвідношення між абразивним матеріалом (керамічні призми, пемза) та гудзиками повинно становити 2,5:1 (тобто 2,5 вимірних об'єми абразиву та 1 вимірний об'єм гудзиків), а максимальний рівень води не повинен перевищувати об'єм гудзиків та кераміки.

Заповнення барабану повинно бути в межах від 30 до 40% від загального об'єму. Обробка гудзиків має відбуватися при швидкості обертання барабану приблизно в 30 об/хв упродовж 36 годин безперервної роботи машини.

Таким чином, загальний час $t_{заг}$ виконання «базової» технологічної операції полірування буде складати:

$$t_{заг} = 2160 \text{ хв.} \quad (1)$$

У свою чергу, авторами було розроблено спосіб вологого полірування полімерних деталей [16] із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» [8 – 10]. Згідно розробленого способу вологого полірування полімерних деталей (рис. 1) у робочу ємкість 1, яка виконує складний просторовий рух, переміщаючись одночасно в трьох взаємоперпендикулярних площинах та обертаючись навколо власної осі 2, завантажуються в необхідних співвідношеннях необроблені деталі 3, дрібнодисперсна пемза 4 та абразивні керамічні тіла 5 складної геометричної форми (рис. 1). Після 3 – 6 годин процесу полірування пемза 4 повністю виключається з технологічного процесу. По завершенню процесу полірування, деталі 3 промиваються у мильному розчині.

Під час технологічного процесу в робочій ємкості 1, яка виконує складний просторовий рух та одночасно обертається навколо власної осі 2, деталі 3 отримують всі ступені свободи, займають різне положення в середині робочої ємкості 1, піддаються впливу різного роду сил, стикаються між собою, абразивним матеріалом 5 та стінками ємкості 1 під різним кутом. Багаточисленні зіткнення оброблюваних деталей 3 та абразивних керамічних тіл 5 складної геометричної форми відбуваються одночасно з усіх боків, саме тому вся поверхня деталей 3 обробляється практично рівномірно.

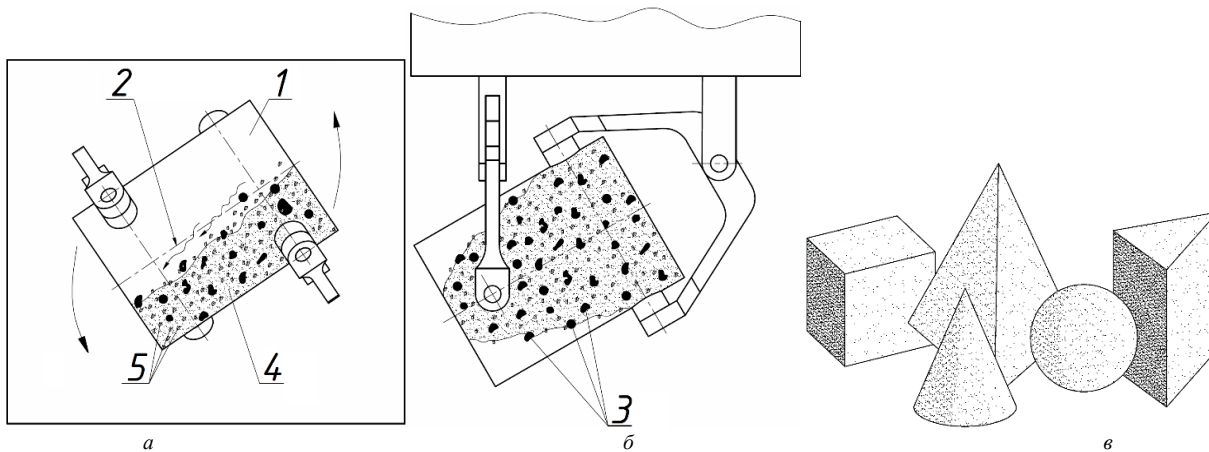


Рис. 1. Спосіб вологого полірування полімерних деталей: а – галтувальна машина (вид спереду), б – галтувальна машина (вид зверху), в – абразивні керамічні тіла

Також доцільно, щоб промивання полімерних деталей здійснювалося водою після перших 3 – 6 годин, після чого продовжують промивання відполірованих полімерних деталей у мильному розчині. Промивання відполірованих деталей у мильному розчині необхідне для повного їх очищення від дрібнодисперсного пилю, що утворюється в процесі обробки. Застосування пемзи в технологічному процесі дає можливість значно зменшити найбільшу величину мікронерівностей профілю поверхні, обробити важкодоступні місця деталей такі як проточки, галтели, отвори, різного роду заглиблення, що практично не контактують з абразивними керамічними тілами складної геометричної форми.

Основний етап полірування поверхні деталей абразивними керамічними тілами складної геометричної форми слід проводити при забезпеченні каскадного або змішаного каскадно-водоспадного режимів руху сипкого робочого середовища, щоб збільшити час контакту між поверхнею оброблюваної деталі та абразивним матеріалом, а також, щоб унеможливити виникнення явища удару при зіткненні деталей зі стінками робочої ємкості. Сумарний час обробки деталей залежить від необхідної величини шорсткості поверхні деталей, ступеня заповнення робочої ємкості, її об'єму, а також від об'ємного співвідношення абразивного матеріалу та оброблюваних деталей, однак в середньому становить 15 годин безперервної роботи машини. Фото зразків поліефірних гудзиків, які пройшли відповідний час обробки у машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості представлено на рис. 2. Зі збільшенням об'єму практично прямопропорційно зменшується час обробки, в зв'язку з тим, що оброблювані деталі за один цикл переміщення будуть долати більший шлях тертя. Рекомендований ступінь заповнення робочої ємкості повинен становити 50% від її загального об'єму. Співвідношення абразивного матеріалу та оброблюваних деталей повинно бути не менш, ніж 2:1 відповідно.

Розмір та геометрична форма абразивних керамічних тіл залежить від форми та розміру оброблюваних деталей та їх фізико-механічних властивостей. Рекомендовано, щоб розмір абразивних керамічних тіл був в 2 рази менший від розміру мінімального оброблюваного отвору деталі, котрий, в свою чергу, більший за 8 мм. Якщо отвори у виробі не передбачені, то розмір абразивних керамічних тіл повинен бути в 5 – 10 разів менший за максимальний габаритний параметр оброблюваної деталі.

Таким чином, загальний час на виконання даної технологічної операції $t_{заг2}$, із використанням розроблено способ вологого полірування полімерних деталей, в середньому, буде складати:

$$t_{заг2} = 900 \text{ хв.} \quad (2)$$

Далі виконували порівняльний розрахунок очікуваного річного економічного ефекту при можливому впровадженні розробленого способ вологого полірування полімерних деталей на ТОВ «Polyplast» для реалізації галтувальних технологічних операцій полірування поверхні полімерних гудзиків. Вихідні дані для розрахунку представлені у таблиці 1.



Рис. 2. Фото зразків поліефірних гудзиків, які пройшли відповідний час обробки у машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості

Таблиця 1

Параметр	Базовий варіант	Розроблена конструкція
Об'єм ємкості, м ³	0,33	0,32
Кількість робочих ємкостей на одній машині, шт.	1	1
Маса завантажених в одну машину заготовок, кг	30	35
Час обробки однієї партії деталей, хв	2'160	900
Річний годинний фонд при однозмінній роботі, год	1'926	688
Маса оброблюваних в рік деталей на одній машині, кг	1'605	1'605
Потрібна кількість обладнання, шт.	2	2
Вартість одиниці обладнання, грн	300'000	300'000
Потужність встановлених електродвигунів, кВт	4,8	4,8

Розраховували річний годинний фонд Γ_1 для базового процесу. Враховуючи, що підприємство ТОВ «Polyplast» працює при однозмінному режимі роботи ($K_{см}=1$), на технологічний процес галтування витрачається, в середньому, 2160 хв часу, а в обортовий барабан «WPS 330» завантажуються 30 кг сировини.

$$\Gamma_1 = F_n \cdot K_{п.о.} \cdot K_{см} = 2027 \cdot 0,95 \cdot 1 = 1926 \text{ год}, \quad (3)$$

де F_n – номінальний фонд часу роботи обладнання; $K_{п.о.}$ – коефіцієнт, що враховує втрати робочого часу на плановий ремонт обладнання.

$$F_n = F_k - F_{п.н} = 365 - 111 = 254 \text{ доби}; \quad (4)$$

$$F_n = F_{п.н} \cdot t_{см} + F_{пр.н} \cdot t_{пр.см} = 249 \cdot 8 + 5 \cdot 7 = 2027 \text{ год}, \quad (5)$$

де F_k , $F_{п.н}$, $F_{пр.н}$, $F_{п.н}$ – відповідно, кількість календарних, вихідних та святкових, передсвяткових і повних днів ($F_k=365$; $F_{п.н}=111$; $F_{пр.н}=5$; $F_{п.н}=249$); $t_{см}$ та $t_{пр.см}$ – тривалість повної та передсвяткової робочої зміни.

Далі розраховували річний годинний фонд Γ_2 із використанням розробленого способ вологого полірування полімерних деталей при застосуванні галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості при однозмінній роботі. Після впровадження розробленого способу на обробку деталей буде витрачатися, в середньому, 900 хв технологічного часу (в 2,4 разів менше ніж у базовому варіанті). Окрім цього, потрібно враховувати, що за один цикл роботи машини зі складним рухом робочої ємкості можна обробити на 5 кг більше деталей. Річний годинний фонд можна розрахувати наступним чином:

$$\Gamma_2 = \frac{\Gamma_1}{(t_{заг1} / t_{заг2}) \cdot (m_2 / m_1)} = 688 \text{ год}, \quad (6)$$

де m_1 – маса завантажених в заготовок в одну розроблену конструкцію машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, m_2 – маса завантажених в заготовок в одну

Маса оброблюваних у рік деталей $m_{заг1(2)}$ на одній машині, для обох випадків буде однаковою, та визначається за виразом:

$$m_{заг2} = m_{заг1} = \left(\frac{\Gamma_{1(2)} \cdot 60}{t_{заг1(2)}} \right) \cdot m_{1(2)} = 1605 \text{ кг}. \quad (7)$$

Також проводили розрахунок собівартості продукції по статтях витрат, що змінюються.

Амортизаційні відрахування (15% від капітальних витрат) для базового варіанту та варіанту із застосуванням розробленого способ вологого полірування полімерних деталей:

$$A1 = A2 = 300'000 \cdot 0,15 = 45'000 \text{ грн} \quad (8)$$

Витрата на ремонт і обслуговування устаткування для обох випадків (15% від капітальних витрат):

$$P1 = 45'000 \text{ грн.} \quad (9)$$

Витрати на електроенергію для базового варіанту:

$$E1 = M \cdot K_c \cdot \Gamma_1 \cdot \Pi = 4,8 \cdot 0,7 \cdot 1926 \cdot 1,69 = 10'936,6 \text{ грн}, \quad (10)$$

де M – сумарна потужність електродвигунів, $K_c=0,7$ – коефіцієнт попиту, $\Gamma_1=1926$ – річний годинний фонд (базовий варіант), $\Pi=1,68$ грн – ціна 1 кВт*год електроенергії (станом на 01.02.2021 року).

Собівартість продукції для базового варіанту:

$$C1 = A1 + P1 + E1 = 45'000 + 45'000 + 10'936,6 = 100'936,6 \text{ грн} \quad (11)$$

Із використанням розробленого способу вологого полірування полімерних деталей, витрати на електроенергію при експлуатації становитимуть:

$$E2 = M \cdot K_c \cdot \Gamma_2 \cdot \Pi = 3,0 \cdot 0,7 \cdot 535 \cdot 1,69 = 3906,7 \text{ грн}, \quad (12)$$

де Γ_2 – річний годинний фонд (після впровадження машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості).

Собівартість продукції після впровадження:

$$C2 = A2 + P2 + E2 = 45'000 + 45'000 + 3906,4 = 93'906,7 \text{ грн} \quad (13)$$

У результаті, розраховували річний економічний ефект з урахуванням того, кількість обладнання, яка використовується на виробництві становить 2 одиниці:

$$E_p = 2 \cdot ((C1 + E \cdot K1) - (C2 + E \cdot K2)), \quad (14)$$

де $C1, C2$ – собівартість продукції по змінних статтях витрат до впровадження і після впровадження, відповідно; $K1, K2$ – капітальні витрати до впровадження і після впровадження, відповідно; $E=0,15$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

$$E_p = 2 \cdot ((100'936,6 + 0,15 \cdot 300'000) - (93'906,7 + 0,15 \cdot 300'000)) = 14'059,8 \text{ грн}$$

У результаті, очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленого способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» складе 14'059,8 грн на дві одиниці обладнання.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Розроблено спосіб вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», що дозволяє значно інтенсифікувати виконання технологічного процесу.

2. Аналітичним шляхом виконано техніко-економічне обґрунтування застосування способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації технологічної операції полірування поверхні поліефірних гудзиків.

3. Розраховано очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленого способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», що складе 14'059,8 грн на дві одиниці обладнання.

Література

1. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с.
2. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / О.П. Бурмістенков, Б.М. Злотенко, В.П. Коновал, І.В. Панасюк, М.Є. Скиба, О.М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.
3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9 – 17.
4. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ: Учебное пособие для рабочего образования. М.: Химия, 1987. – 176 с.
5. Шумакова Т. А. Инструмент для виброобразивной обработки деталей: монографія / Т. А. Шумакова, В. И. Шаповалов, Ю. И. Гутько; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. – Луганск: Ноулідж, 2011. – 59 с.
6. Залюбовський М.Г. Перспективні технології обробки деталей і змішування сипких речовин у рухомих робочих ємкостях (частина 2): типи обладнання з рухомими ємкостями / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки – 2020. – № 3, том 31 (70). – С. 7-13.
7. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2021 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (дата відвідування: 25.12.2021).
8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho

Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.

9. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // *International Applied Mechanics*, 56, No. 6, November 2020, 762 – 772.

10. Zalyubovs'kyi M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovs'kyi, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.

11. Marigo M. Discrete Element Method (DEM) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets / M. Marigo, EH Stitt // *KONA Powder and Particle Journal* – 2015. – No 32, P. 236-252.

12. Marigo M. Discrete element modelling (DEM) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis / Z. Yan, SK. Wilkinson, EH. Stitt, M. Marigo // *Computational Particle Mechanics* – 2014. – No 2. (Vol. 3), P. 283-299.

13. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну* – 2020. – №1 (142). – С. 27-38.

14. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу геометрії металевих відливок деталей замка «блискавка» на особливості їх обробки в галтувальній машині / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну* – 2020. – №2 (144). – С. 24-32.

15. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design* – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24 – 32.

16. Патент №113266, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб вологого полірування полімерних деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – *Нау201606525*; заяв. 15.06.2016, опуб. 25.01.2017, бюл. № 2.

References

1. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monografiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev – K.: Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.

2. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalanterinii promyslovosti: monografiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.

3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O, Malyshev V.V. // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design* – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9 – 17.

4. Shvarts A.I. Mehanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva formovyih RTI: Uchebnoe posobie dlya rabocheho obrazovaniya. M.: Himiya, 1987. – 176 s.

5. Shumakova T. A. Instrument dlya vibrobrazivnoy obrabotki detaley: monografiya / T. A. Shumakova, V. I. Shapovalov, Yu. I. Gutko; Vostochnoukr. nats. un-t im. V. Dalya. - Lugansk: Noulidzh, 2011. – 59 c.

6. Zaliubovskiy M.H. Perspektivni tekhnologii obrobky detalei i zmishuvannia sypkykh rehovyn u rukhomykh robochykh yemkostiakh (chastyna 2: typu obladnannia z rukhomymy yemkostiamy) / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky* – 2020. – № 3, tom 31 (70). – S. 7-13.

7. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2021 [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (data vidviduvannia: 25.12.2021).

8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.

9. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // *International Applied Mechanics*, 56, issue 6, November 2020, 762 – 772.

10. Zalyubovs'kyi M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovs'kyi, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.

11. Marigo M. [Discrete Element Method \(DEM\) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets](#) / M. Marigo, EH Stitt // *KONA Powder and Particle Journal* – 2015. – No 32, P. 236-252.

12. Marigo M. [Discrete element modelling \(DEM\) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis](#) / Z. Yan, SK. Wilkinson, EH. Stitt, M. Marigo // *Computational Particle Mechanics* – 2014. – No 2. (Vol. 3), P. 283-299.

13. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta ob'emu zapovnennia yemkosti na intensyvniat viddilennia metalevykh detalei vid lyyvnykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu* – 2020. – №1 (142). – S. 27-38.

14. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu heometrii metalevykh vidlyvok detalei zamka «blyskavka» na osoblyvosti yikh obrobky v haltuvalnii mashyni / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu* – 2020. – №2 (144). – S. 24-32.

15. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design* – 2019. – Vol. 2. – P. 24 – 32.

16. Patent №113266, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб вологого полірування полімерних деталей / Zaliubovskiy M.H., Panasiuk I.V., zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy natsionalnyi univers. tekhnologii ta dyzainu – *Нау201606525*; zaiav. 15.06.2016, opub. 25.01.2017, biul. № 2.

Рецензія/Peer review : 21.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.