

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.

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

ПАНАСЮК І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>
e-mail: panasiuk1961@gmail.com

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГАЛТУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ТИПУ «TURBULA» ПРИ ВИКОНАННІ ВІДДІЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ВІД ЛИВНИКІВ

Запропоновано конструкцію галтувальної машини типу «Turbula» зі складним просторовим рухом робочої ємкості для виконання технологічної операції відділення металевих деталей від ливників. Дану конструкцію машини реалізовано шляхом поєднання в одній конструкції галтувальної ємкості (відділення деталей від ливників) та вібраційного сита (сепарація відділених деталей від ливників). Експлуатація такої конструкції дозволяє в разі скоротити час, що витрачається на виконання даної технологічної операції, зокрема, за рахунок забезпечення зручного та безперешкодного вивантаження оброблених деталей без застосування ручної праці для перевантаження робочого масиву та подальшого досягнення сепарації деталей від ливників. Аналітичним шляхом виконано техніко-економічне обґрунтування використання галтувального обладнання типу «Turbula» зі складним просторовим рухом робочої ємкості для реалізації технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Розраховано очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленої галтувальної машини типу «Turbula» зі складним просторовим рухом робочої ємкості для виконання технологічних операцій відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників складе 25'688,7 грн на одну одиницю обладнання. Розроблену конструкцію машини можна використовувати для будь-яких типів деталей (металевих чи полімерних), формоутворення яких відбувається шляхом лиття. Отримані результати досліджень можуть бути використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

Ключові слова: робоча ємкість, сепарація, відділення деталей від ливників, складний просторовий рух.

Mark ZALYUBOVSKYI

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

Igor PANASYUK

Kyiv National University of Technology and Design

TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE USE OF TURBULA TYPE-EQUIPMENT EQUIPMENT IN THE PERFORMANCE OF METAL DETAILS DEPARTMENT

The types of shredding equipment used at domestic enterprises to perform the technological operation of separating parts from foundries are analyzed. It is established that machines with rotational movement of working tanks have low productivity of performance of these technological operations. In addition, a lot of time is spent on manual labor, in particular, reloading the working array to the vibrating screen. The design of the «Turbula» type galvanizing machine with complex spatial movement of the working capacity for the technological operation of separating metal parts from the foundries is proposed. This design of the machine is realized by combining in one design of the galvanizing tank (separation of parts from the foundries) and vibrating sieve (separation of separated parts from the foundries). Operation of such a structure allows to reduce the time spent on this technological operation, in particular, by providing convenient and unobstructed unloading of machined parts without the use of manual labor to overload the working array and further achieve separation of parts from foundries. The feasibility study for the use of «Turbula» equipment with complex spatial movement of the working capacity for the implementation of the technological operation of separating the metal parts of the "zipper" lock from the foundries was performed analytically. The expected annual economic effect from the introduction of the developed «Turbula» type machine with complex spatial movement of the working capacity to perform technological operations of separation of metal parts of the lock "lightning" from the foundries will be 25'688.7 UAH per unit of equipment. The developed design of the machine can be used for any type of parts (metal or polymer), which are formed by casting. The obtained research results can be used in the relevant design offices of machine-building enterprises at the stage of designing galvanizing equipment with complex spatial movement of working tanks.

Key words: working capacity, separation, separation of parts from foundries, complex spatial movement.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Підвищення продуктивності виготовлення дрібних металевих деталей значною мірою залежить від зменшення часу, що витрачається на фінішні галтувальні технологічні операції [1]. Зокрема, у легкій промисловості формоутворення невеликих типових деталей та виробів (фурнітура, застібки, гудзики, деталі замка блискавка) часто реалізується шляхом лиття [2]. Після чого, ці деталі потребують проведення дуже трудомістких фінішних галтувальних технологічних операцій – відділення металевих деталей від ливників з подальшою їх сепарацією [3]. Зазвичай, такі галтувальні технологічні операції виконуються засобами малої

механізації (інколи із використанням ручної праці) або із застосуванням галтувальних барабанів із обертальним рухом робочих ємкостей [4] чи вібраційних машин [5].

Відомо [1], що такі типи галтувального обладнання, які застосовуються для вищезгаданих технологічних операцій, мають низьку продуктивність, їх використання призводить до значних енергозатрат. У кінцевому результаті такі фактори спричиняють значне підвищення цін на кінцевий продукт, зменшення його конкурентоспроможності в ринкових умовах.

Підвищення продуктивності фінішних галтувальних технологічних операцій можна досягнути шляхом заміни на підприємствах застарілого обладнання на нове, яке має високопродуктивні властивості. Перспективним типом обладнання можуть бути машини типу «Turbula» [6], у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух та, цим самим, забезпечує значну інтенсифікацію руху робочого масиву (деталі та наповнювач) в середині ємкості.

Авторами був розроблений ряд галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [7–10], які забезпечують значну продуктивність виконання відповідних технологічних операцій. Таким чином, необхідно виконати техніко-економічне обґрунтування використання розробленого галтувального обладнання типу «Turbula» порівняльним методом при виконанні на прикладі виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників.

Аналіз досліджень та публікацій

Відома ціла низка вітчизняних та іноземних публікацій, у яких наведено безумовні переваги галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Наприклад, у роботах [11, 12] було доведено, що із використанням машини типу «Turbula» можна досягнути рекордно-короткого часу при реалізації процесів змішування двох і більше дрібнодисперсних сипких речовин, лише за 10 обертів ведучого валу машини індекс сегрегації відповідав випадковому розподілу окремих частинок двох фракцій сипкого середовища між собою. Попередніми дослідженнями [1] було встановлено, що для виконання технологічних операцій полірування полімерних деталей (гудзиків), обладнання, в якому робоча ємкість виконує складний просторовий рух, є значно ефективнішим за обладнання з обертовим барабаном. Експериментальні дослідження [13] 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 обертовим барабаном. А при виконанні експериментальних досліджень [14, 15] відділення металевих деталей від ливників, було встановлено, що із використанням машин типу «Turbula» можна витратити в 10 разів менше часу ніж при аналогічній обробці у машині з обертовим 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 можливості застосування такої машини при виконанні технологічної операції відділення металевих деталей від ливників.

Формулювання цілей

Суть даної роботи полягає у техніко-економічному обґрунтуванні використання галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації технологічної операції відділення металевих деталей від ливників.

Виклад основного матеріалу

Дослідження виконувалися із використанням металевих деталей замків «блискавка», формоутворення яких відбувається шляхом лиття. На основі виконання галтувального технологічного процесу відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників порівнювали два типи галтувального обладнання: звичайний обертовий барабан, що використовується на підприємстві ПрАТ «Молнія» для реалізації вищезгаданих технологічних операцій та розроблену авторами машину [16] зі складним просторовим рухом робочої ємкості.

Розглянемо «базовий» технологічний процес відділення металевих деталей замка блискавка від ливників із застосуванням обертового барабану: на ПрАТ «Молнія» для реалізації даної технологічної операції використовується галтувальний розділово-полірувальний 8-гранний барабан К-36 «Optilon» (об'єм барабану 0,12 м³). Фото барабану К-36 «Optilon» представлено на рис. 1.

Згідно затвердженого на ПрАТ «Молнія» технологічного регламенту, базовий процес повного відділення партії деталей від ливників включає у себе такі етапи:

1. Відділення деталей від ливників у обертовому барабані. Середня тривалість такого процесу $t_{віддiл.}$ відділення партії деталей від ливників (30–45 кг) в барабані, в залежності від типу деталей та ливників, становить від 20 до 70 хвилин безперервної роботи барабану. В середньому на дану технологічну операцію витрачається до 45 хв часу.

2. Перевантаження деталей. Після відділення деталей від ливників у барабані необхідно виконати їх сепарацію. Для цього використовується вібраційне сито (віброгрохiт). Перевантаження деталей з ливниками з галтувального барабану до вібраційного сита відбувається вручну. За один раз на вібраційному ситі можна

виконати сепарацію від ливників не більш ніж третини від усіх оброблених деталей. В зв'язку з цим, в середньому, на перевантаження деталей, витрачається до $t_{перевантаж.} = 45$ хвилин технологічного часу.

3. Сепарація деталей. Тривалість $t_{сепарації}$ просіювання деталей крізь віброрито, що має відповідні розміри отворів, в залежності від типорозміру деталей та конструкції ливника, для всіх оброблених деталей, у середньому становить 20 хв.



Рис. 1. Фото барабану К-36 «Optilon»

Розрахуємо загальний час виконання повного відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників $t_{заг.}$:

$$t_{заг.} = t_{відділ.} + t_{перевантаж.} + t_{сепарації} = 110 \text{ хв}, \quad (1)$$

Таким чином, загальний час на виконання даної технологічної операції, в середньому, становить приблизно 110 хв.

У свою чергу, авторами було розроблено галтувальну конструкцію машини типу «Turbula», яка дозволяє забезпечити зручне та безперешкодне вивантаження оброблених деталей без застосування ручної праці, досягнути сепарації деталей від ливників.

Дана машина (рис. 2) містить станину 1, в якій розміщений електродвигун 2, вал 3 якого, за допомогою фланцевої муфти 4, жорстко з'єднаний зі швидкохідним валом 5 редуктора 6. Тихохідний вал 7 редуктора 6 за допомогою муфти вільного ходу 8 з'єднаний з ведучим валом 9, який встановлений в підшипниковій опорі 10. Ведений вал 11 кінематично з'єднаний з коромислом 12, що встановлене в підшипниковій опорі 13 з можливістю коливального руху у вертикальній площині. Ведучий 9 та ведений 11 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з вилками 14 та 15 відповідно, діаметрально взаємно перпендикулярні вісі яких 16 і 17 являються вісями кріплення робочої ємкості 18. Ведучий шків 19 пасової передачі за допомогою муфти вільного ходу 20 з'єднаний зі швидкохідним валом 5 редуктора 6. Ведений шків 21 пасової передачі жорстко закріплений на ексцентриковому валу 22, що встановлений в підшипникових опорах 23 та 24. На ексцентриковому валу жорстко закріплені два махові колеса 25 та 26, а також два ексцентрики 27 та 28, які кінематично з'єднані з ситом 29, що опирається на пружинну основу 30. В пружинній основі 30 встановлено лоток 31 для збору оброблених деталей. Сито 29 та лоток 31 розташовані під кутом до горизонтальної площини α , який слід приймати в межах $10^\circ - 20^\circ$.

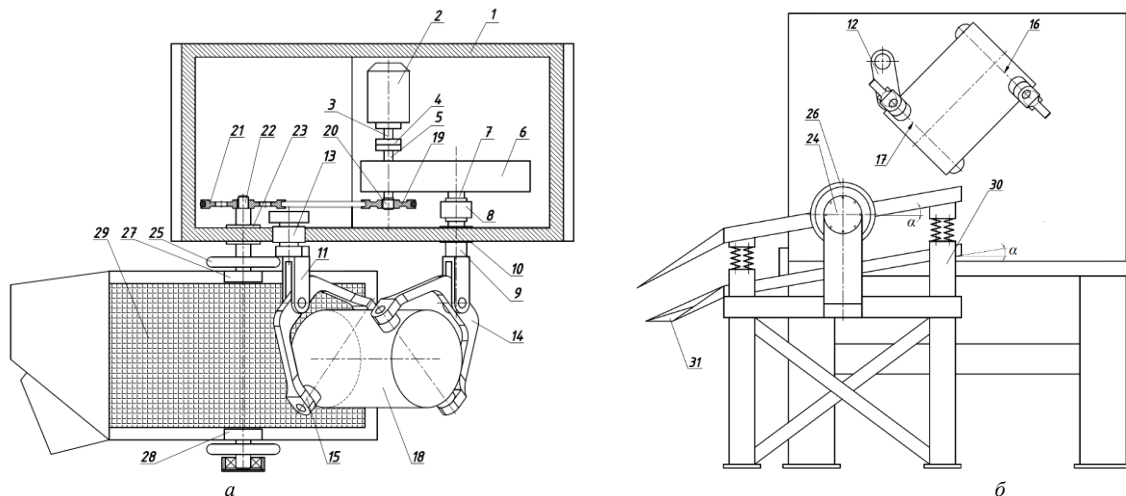


Рис. 2. Розроблена галтувальна машина: а – вид зверху, б – вид спереду

Розроблена машина може працювати в двох режимах: А та Б.

У режимі А, при увімкненні електродвигуна 2, що розташований у станині 1, вал 3 обертається проти годинникової стрілки. Крутний момент від валу 3 через фланцеву муфту 4 передається на швидкохідний вал 5. Муфта вільного ходу 20, при обертанні валу 3 проти годинникової стрілки не спрацьовує та не передає крутний момент на ведучий шків 19 пасової передачі – він нерухомий. Крутний момент від швидкохідного валу 5 передається на тихохідний вал 7, який обертається вже за годинниковою стрілкою. При обертанні за годинниковою стрілкою тихохідного валу 7 спрацьовує муфта вільного ходу 8, яка передає крутний момент на ведучий вал 9, який встановлений в підшипниковій опорі 10, та на вилку 14. Обертальний рух від вилки 14 передається на робочу ємкість 18, вилку 15, ведений вал 11. Обертання веденого валу 11 призводить до коливального руху коромисла 12, яке встановлено в підшипниковій опорі 13. Робоча ємкість 18 отримує складний просторовий рух. Таким чином, виконується основний етап процесу обробки деталей – відділення деталей від ливників.

По завершенню основного етапу процесу обробки деталей машина зупиняється вимкненням електродвигуна 2 в такому положенні (рис. 2), щоб вміст робочої ємкості 18 міг бути вільно висипаний на поверхню сита 29. Після того, як весь вміст робочої ємкості 18 (оброблені деталі та відокремлені ливники) висипаний на поверхню сита 29, машина вмикається в режим роботи Б.

У режимі Б, при увімкненні електродвигуна 2, що розташований у станині 1, вал 3 обертається за годинниковою стрілкою. Крутний момент від валу 3 через фланцеву муфту 4 передається на швидкохідний вал 5 та тихохідний вал 7 редуктора 6. Муфта вільного ходу 8, при обертанні валу 3 за годинниковою стрілкою не спрацьовує та не передає крутний момент на ведучий вал 9 – він нерухомий. Муфта вільного ходу 20, при обертанні швидкохідного валу 5 за годинниковою стрілкою спрацьовує та передає крутний момент на ведучий шків 19 пасової передачі. Крутний момент від ведучого шківів 19 передається на ведений шків 21 пасової передачі. Разом зі шківом 21 обертається ексцентриковий вал 22, який встановлений в підшипникових опорах 23 та 24, махові колеса 25 та 26, а також ексцентрики 27 та 28. Обертання ексцентриків 27 та 28 призводить до вібрації сита 29, яке буде циклічно змінювати напрямок переміщення у вертикальній та горизонтальній площинах. Вібрація сита 29 буде призводити до сепарації оброблених деталей від абразивного середовища: оброблені деталі, розміри яких більші ніж отвори на ситі, будуть по похилій поверхні сита проковзувати та падати у підставлену ємкість, абразивне середовище, одиничні компоненти якого значно менші за розміри оброблених деталей, крізь отвори у поверхні сита 29 будуть потрапляти в лоток 31, звідти скочуватися в іншу ємкість. Для вільного проковзування оброблених деталей по поверхні сита 29, а також абразивних компонентів по поверхні лотка 31, слід забезпечити нахил їх поверхонь до горизонтальної площини в межах $10^\circ - 20^\circ$.

Процес повного відділення партії деталей від ливників, із використанням розробленої галтувальної машини, включає у себе такі етапи:

1. Відділення деталей від ливників у ємкості, яка виконує складний просторовий рух. Попередніми дослідженнями [14, 15] встановлено, що середня тривалість такого процесу $t_{\text{відділен}}$ відділення партії деталей від ливників (75 кг) в барабані, залежно від типу деталей та ливників, становить від 1 до 23 хвилин безперервної роботи барабану. В середньому на дану технологічну операцію витрачається до 12 хв часу.

2. Перевантаження деталей. Оскільки розроблена машина для обробки деталей в одній конструкції поєднує галтувальну ємкість та вібраційне сито, то час вивантаження деталей на вібросито становитиме не більш ніж 2 хв технологічного часу.

3. Сепарація деталей. За один раз на вібраційному ситі можна виконати просіювання усіх оброблених деталей, тому тривалість просіювання деталей $t_{\text{сепарації}}$ через вібраційне сито, в середньому становитиме 6 хв.

За виразом (1) розраховуємо загальний час виконання повного відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників $t_{\text{заг}}$:

$$t_{\text{заг.}} = t_{\text{відділ.}} + t_{\text{перевантаж.}} + t_{\text{сепарації}} = 20 \text{ хв} \quad (2)$$

Таким чином, загальний час на виконання даної технологічної операції з використанням розробленої машини в середньому становитиме приблизно 20 хв.

Далі виконували порівняльний розрахунок очікуваного річного економічного ефекту при можливому впровадженні розробленої галтувальної машини на ПрАТ «Молнія» для реалізації галтувальних технологічних операцій відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Вихідні дані для розрахунку представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметр	Базовий варіант	Розроблена конструкція
Об'єм барабана, м ³	0,12	0,12
Кількість робочих ємкостей на одній установці, шт.	1	1
Маса завантажених в одну установку деталей, кг	40	75
Час обробки однієї партії деталей, хв	110	20
Річний годинний фонд при однозмінній роботі, год.	1926	261
Маса оброблюваних в рік деталей на одній установці, кг	21'000	21'000
Потрібна кількість устаткування, шт.	1	1
Вартість одиниці устаткування, грн	Барабан: 280'000 Вібросито: 60'000	300'000
Потужність встановлених електродвигунів, кВт	3,8	3,0

Розраховували річний годинний фонд Γ_1 для базового процесу. Враховуючи, що підприємство працює при однозмінному режимі роботи ($K_{cm}=1$), на обробку деталей витрачається, в середньому, 110 хв часу, а в обертовий барабан завантажуються 40 кг сировини.

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

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

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

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

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_{cm} та $t_{пр.см}$ – тривалість повної та передсвяткової робочої змін.

Далі розраховували річний годинний фонд Γ_2 із використанням розробленої конструкції машини при однозмінній роботі. Після впровадження машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, на обробку деталей витрачається, в середньому, 20 хв (в 5,5 разів менше ніж у базовому варіанті). За один цикл роботи машини зі складним рухом робочої ємкості можна обробити 75 кг деталей, тобто, в 1,88 разів більше ніж при обробці деталей у машині К-36 «Ortilon» з обертовим барабаном, таким чином, річний годинний фонд, при однозмінній роботі становитиме:

$$\Gamma_2 = \frac{\Gamma_1}{(5,5+1,88)} = \frac{1926}{(5,5+1,88)} = 260,3 \text{ год} \quad (6)$$

Проводили розрахунок собівартості продукції по статтях витрат, що змінюються. Для базового варіанту:

Амортизаційні відрахування (15% від капітальних витрат):

$$A1 = 340'000 \cdot 0,15 = 51'000 \text{ грн} \quad (7)$$

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

$$P1 = 51'000 \text{ грн}. \quad (8)$$

Витрати на електроенергію:

$$E1 = M \cdot K_c \cdot \Gamma_1 \cdot \Pi = 3,8 \cdot 0,7 \cdot 1926 \cdot 1,68 = 8'607 \text{ грн}, \quad (9)$$

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:

$$C1 = A1 + P1 + E1 = 51'000 + 51'000 + 8'607 = 110'607 \text{ грн} \quad (10)$$

Із використанням розробленої галтувальної конструкції машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і обслуговування устаткування складатимуть:

$$A1 = P1 = 300'000 \cdot 0,15 = 45'000 \text{ грн}. \quad (11)$$

Витрати на електроенергію при експлуатації розробленої галтувальної машини становитимуть:

$$E2 = M \cdot K_c \cdot \Gamma_2 \cdot \Pi = 3,0 \cdot 0,7 \cdot 260,3 \cdot 1,68 = 918,3 \text{ грн}, \quad (12)$$

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

Собівартість продукції після впровадження:

$$C2 = A2 + P2 + E2 = 45'000 + 45'000 + 918,3 = 90'918,3 \text{ грн} \quad (13)$$

У результаті, розраховували річний економічний ефект:

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

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.

$$E_p = (110'607 + 0,15 \cdot 340'000) - (90'918,3 + 0,15 \cdot 300'000) = 25'688,7 \text{ грн}$$

В результаті очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленої галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості для виконання технологічних операцій відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників складе 25'688,7 грн на одну одиницю обладнання.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Розроблено галтувальну конструкцію машини типу «Turbula» зі складним просторовим рухом робочої ємкості, яка дозволяє забезпечити зручне та безперешкодне вивантаження оброблених деталей без застосування ручної праці, досягнути сепарації деталей від ливників.

2. Аналітичним шляхом виконано техніко-економічне обґрунтування використання галтувального обладнання типу «Turbula» для реалізації технологічної операції відділення металевих деталей від ливників.

3. Розраховано очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленої галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості для виконання технологічних операцій відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників складе 25'688,7 грн на одну одиницю 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. – Хмельницький, 2007. – 255 с.
3. Залюбовський М.Г. Експериментальне визначення енергії необхідної для відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – № 5 (138). – С. 17–26.
4. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ : учебное пособие для рабочего образования / Шварц А.И. – М. : Химия, 1987. – 176 с.
5. Шумакова Т. А. Инструмент для виброабразивной 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. Willy A. Bachofen (WAB). Maschinenfabrik. 2021. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (25.12.2021).
7. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*, 56, No. 1, April 2020, 54–64.
8. Zaliubovskiy M. G., Panasiuk I. V., Smirnov Yu. I., Malyshev V. V. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. 178, issue 4, 69–75.
9. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels. *International Applied Mechanics*, 56, No. 6, November 2020, 762–772.
10. Zalyubov's'kyi M. G., Panasyuk I.V., Koshel' S.O., Koshel' G.V. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine. *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466–476.
11. Marigo M., Stitt E.H. Discrete Element Method (DEM) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets. *KONA Powder and Particle Journal*. 2015. No 32, P. 236–252.
12. Marigo M., Wilkinson S.K., Stitt E.H., Marigo M. Discrete element modelling (DEM) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis. *Computational Particle Mechanics*. 2014. No 2. (Vol. 3), P. 283–299.
13. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. Vol. 2 (132). P. 24–32.
14. 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.
15. 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.
16. Патент № 135994, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В. ; заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – № u201902138 ; заяв. 04.03.2019, опуб. 25.07.2019, бюл. № 14.

References

1. Zaliubovskiy M.H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei : monohrafiia / 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 vzuttievi ta shkirhalantereyniy promyslovosti : monohrafiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnytskyi, 2007. – 255 s.
3. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne vyznachennia enerhii neobkhdnoi dlia viddilennia metalovykh detalei vid lynykyv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2019. – № 5 (138). – S. 17–26.
4. Shvarc A.I. Mehanizacija i avtomatizacija proizvodstva formovykh RTI : uchebnoe posobie dlja rabocheho obrazovaniya / Shvarc A.I. – M. : Himija, 1987. – 176 s.
5. Shumakova T. A. Instrument dlja vibroabrazivnoj obrabotki detalej : monografija / T. A. Shumakova, V. I. Shapovalov, Ju. I. Gut'ko ; Vostochnoukr. nac. un-t im. V. Dalja. – Lugansk : Noulidzh, 2011. – 59 p.
6. Willy A. Bachofen (WAB). Maschinenfabrik. 2021. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (25.12.2021).
7. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*, 56, No. 1, April 2020, 54–64.

8. Zaliubovskiy M. G., Panasiuk I. V., Smirnov Yu. I., Malyshev V. V. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. 178, issue 4, 69–75.
9. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels. *International Applied Mechanics*, 56, No. 6, November 2020, 762–772.
10. Zalyubovskiy M. G., Panasyuk I.V., Koshel S.O., Koshel G.V. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine. *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466–476.
11. Marigo M., Stitt E.H. Discrete Element Method (DEM) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets. *KONA Powder and Particle Journal*. 2015. No 32, P. 236–252.
12. Marigo M., Wilkinson S.K., Stitt E.H., Marigo M. Discrete element modelling (DEM) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis. *Computational Particle Mechanics*. 2014. No 2. (Vol. 3), P. 283–299.
13. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. Vol. 2 (132). P. 24–32.
14. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta obiemu zapovnennia yemkosti na intensyvni viddilennia metalevykh detalei vid lynykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu*. – 2020. – № 1 (142). – S. 27–38.
15. 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.
16. Patent № 135994, MPK V01F 11/00. Mashyna dlia obrobky detalei / Zaliubovskiy M.H., Panasiuk I.V. ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnologii ta dyzainu – № u201902138 ; zaiav. 04.03.2019, opub. 25.07.2019, biul. № 14.