

УДК 621.924.7 | ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.<sup>1</sup>, ПАНАСЮК І. В.<sup>2</sup>, МАЛИШЕВ В. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

<sup>2</sup>Київський національний університет технологій та дизайну

## АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ ВІДДІЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ЗАМКА «БЛИСКАВКА» ВІД ЛИВНИКІВ

**Мета.** Аналітичне визначення мінімально необхідного часу, що витрачається на реалізацію відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників, а також отримання відповідних розрахункових залежностей для визначення часу, що витрачається на виконання технологічної операції.

**Методика.** Проведено комплексне аналітичне дослідження основних факторів, які впливають на зміну інтенсивності виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників.

**Результати.** На основі виконаного аналітичного дослідження отримано рівняння, яке дає можливість прогнозувати технологічний результат на стадії проектування, зокрема, розрахувати час виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Також отримано математичні залежності, які дають можливість спрогнозувати вплив кожного з факторів на інтенсивність виконання даної технологічної операції.

**Наукова новизна.** Встановлено взаємозв'язок між масою, геометричною формою відливок, площиною поперечного перерізу відливок в місцях закріплення деталей, кількістю ударних взаємодій відливок з твердою поверхнею, конструктивними особливостями галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, значенням частоти обертання ведучого валу машини, рівнем заповнення робочої ємкості робочим масивом та часом, що витрачається на реалізацію відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників.

**Практична значимість.** Отримані математичні залежності для розрахунку часу виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Дані залежності можуть бути використані на стадії проектування технологічних процесів на відповідних підприємствах.

**Ключові слова:** відділення від ливників, замок «блискавка», об'ємна обробка, робоча ємкість, відливка.

**Вступ.** Формоутворення металевих деталей, зокрема деталей замка «Блискавка», відбувається шляхом лиття [1], в результаті якого утворюються відливки складної геометричної форми. Відливки складаються з ливника та з'єднаних з ним деталей. В подальших етапах обробки реалізується відділення цих деталей від ливників [2]. Зазвичай процес відділення деталей від ливників реалізується методом об'ємної обробки [3] в середині рухомих ємкостей з різним характером руху. Для даної технологічної операції може бути використане вібраційне обладнання, обладнання з обертальним рухом робочої ємкості тощо. Найбільш продуктивним вважається використання галтувального обладнання з ємкостями, що виконують складний просторовий рух [4, 5].

**Постановка завдання.** В залежності від типу оброблюваних деталей замка «блискавка», процес відділення від ливників може тримати від 20 хвилин до декількох годин. В середньому на ці операції витрачається до 80% технологічного часу [6]. Рішення про завершення процесу обробки деталей на переважній більшості підприємств приймаються інтуїтивно або на основі органолептичного методу, інколи процес обробки може тривати

значно довше ніж необхідно. На сьогоднішній день практично відсутня науково обґрунтована інформація щодо визначення часу, який необхідний на виконання об'ємних гальтувальних технологічних операцій відділення металевих деталей від ливників.

Таким чином, визначення часу, який необхідний на виконання відповідних технологічних операцій, зокрема, відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників, а також прогнозування даного технологічного результату на стадії проектування є актуальною задачею на сьогоднішній день.

**Результати дослідження.** Час виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників залежить від значної кількості факторів, певну кількість з яких взагалі неможливо врахувати, наприклад, такі як: положення відливок під час зіткнення зі стінкою робочої ємкості, кількість взаємозіткнень відливок між собою, точні закономірності переміщення кожної відливки в середині ємкості, відносне переміщення вже самих ливників, від яких відділилися деталі, по відношенню до відливок з деталями тощо. Однак, незважаючи на це, існують основні фактори, вплив яких на зміну часу виконання технологічної операції досить успішно може бути враховано. До таких факторів слід віднести:

1. Об'єм робочого масиву завантаженого до ємкості, в тому числі, ущільнення цього об'єму в ході виконання технологічної операції;
2. Геометричні параметри робочої ємкості;
3. Кутова швидкість ведучого валу машини;
4. Максимальна одночасна кількість зіткнень відливок з торцем ємкості;
5. Зміна відношення кількості оброблених деталей до загальної кількості завантажених до робочої ємкості;

Розглядали окремо кожен з факторів.

1. Об'єм робочого масиву  $V_{роб}$  завантаженого до ємкості безпосередньо впливає на швидкість виконання технологічної операції. Пропорційно зі збільшенням об'єму робочого масиву завантаженого до ємкості, зменшується вільний об'єм ємкості, а отже і шлях його переміщення, відповідно і його кінетична енергія в момент зіткнення зі стінкою ємкості. Зменшення об'єму робочого масиву завантаженого до ємкості, хоч і сприятиме збільшенню кінетичної енергії ливникових систем в момент контактної взаємодії зі стінкою ємкості, однак, при цьому, значно зменшуватиметься продуктивність виконання самої технологічної операції, адже за один цикл роботи машини буде оброблено меншу кількість деталей. На основі рекомендацій попередніх наукових досліджень [7] щодо раціонального заповнення робочої ємкості під час виконання загальних технологічних операцій гальтування було встановлено, що раціональний рівень заповнення робочої ємкості повинен бути в межах 50% від її загального об'єму.

2. Геометричні параметри робочої ємкості. В роботі [8] встановлено, що основною складовою переміщень робочого масиву в середині ємкості є його переміщення (падіння) вздовж осі ємкості з подальшим зіткненням об'єму з її торців, при якому відбувається безпосереднє відділення деталей від ливника. Відомо [9], що за один оберт ведучого валу машини відбувається 4 переміщення (падіння) робочого масиву між протилежними торцями ємкості вздовж її вісі. Запишемо, з урахуванням об'єму заповнення робочої ємкості, вираз

для визначення величини одного переміщення  $l_{роб}$  робочого масиву між протилежними торцями ємкості вздовж її вісі:

$$l_{роб.} = \frac{(100 - V_{роб.х}) \cdot l_u}{100}, \quad (1)$$

де  $V_{роб.х}$  – об'єм заповнення робочої ємкості у %,  $l_u$  – довжина робочої ємкості, м.

3. Кутова швидкість ведучого валу машини. Зі збільшенням кутової швидкості ведучого валу машини буде збільшуватися прискорення  $a$  з яким переміщається робочий масив в середині ємкості, відповідно й кінцева швидкість падіння відливки  $V_{к.х.}$  та кінетична енергія. Якщо розглядати вільне падіння робочого масиву (відливки), то для кожного значення  $V_{к.х.}$  можна розрахувати висоту падіння  $h_x$ . Тобто, переміщення відливки в середині ємкості з прискоренням буде еквівалентне падінню такої ж відливки з відповідної висоти  $h_x$ . Таким чином, запишемо вираз для визначення висоти падіння  $h_x$ , що відповідатиме заданій кутовій швидкості ведучого валу машини. Для цього, запишемо отримане у роботі [10] рівняння для визначення повного прискорення торця ємкості  $a$ , яке забезпечує реалізацію відділення деталей від ливників.

$$a = \frac{0,5V_{к.х.}^2 - gl_{роб} + gl_{роб} \cos 2\alpha + \mu fgl_{роб} \cos \alpha}{l_{роб}}, \quad (2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\alpha$  – кут нахилу осі робочої ємкості до горизонтальної площини,  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання (експериментальним шляхом [10] було встановлено коефіцієнт тертя ковзання  $f \approx 0,38$ ),  $\mu$  – коефіцієнт відповідності режиму руху робочого масиву (для водоспадного режиму рух –  $\mu=0$ , для каскадного –  $\mu=1$ , для змішаного –  $\mu=0,5$ ).

Беручи за основу теорему про зміну кінетичної енергії матеріальної точки [11], запишемо вираз для визначення кінцевої швидкості переміщення (падіння) ливникової системи:

$$V_{к.х.} = \sqrt{2gh_x}. \quad (3)$$

З виразу (2) виразимо квадрат лінійної швидкості та підставимо значення виразу (3):

$$gh_x = l_{роб}a + gl_{роб} - gl_{роб} \cos 2\alpha - \mu fgl_{роб} \cos \alpha. \quad (4)$$

Виразимо  $h_x$  з рівняння (4):

$$h_x = \frac{l_{роб}a + gl_{роб} - gl_{роб} \cos 2\alpha - \mu fgl_{роб} \cos \alpha}{g}. \quad (5)$$

В роботі [6] для різних типів конструкцій машин зі складним рухом робочої ємкості отримано рівняння, які описують залежність між кутовою швидкістю ведучого валу машини, прискоренням центрів торців робочої ємкості та її габаритними параметрами.

Запишемо ці рівняння, замінивши в них масштабний коефіцієнт на відношення довжини робочої ємкості  $l_u$ , для якої розраховується кутова швидкість ведучого валу машини  $\omega^{ведуч}$  до довжини робочої ємкості «базового типорозміру» (за «базовий типорозмір» в роботі [12] було прийнято  $l_{у.баз.} = 0,16\text{м}$ ), цим самим виключивши вплив такого геометричного параметру, як діаметр робочої ємкості, а також, виразивши з них повне прискорення  $a$ , з яким буде переміщатися торець ємкості:

1. Вираз для визначення повного прискорення торця ємкості «базової конструкції» машини:

$$a = 2,04 \cdot l_y \cdot (\omega^{ведуч} )^2. \quad (6)$$

де  $\omega^{ведуч}$  – кутова швидкість ведучого валу, рад<sup>-1</sup>.

2. Вираз для визначення повного прискорення торця ємкості машини, в якій ведучий вал обертається за законом зміни кутової швидкості:

$$a = 2,44 \cdot l_y \cdot (\omega_{сер.}^{ведуч} )^2. \quad (7)$$

де  $\omega_{сер.}^{ведуч}$  – середнє значення закону зміни кутової швидкості ведучого валу, рад<sup>-1</sup>.

3. Вираз для визначення повного прискорення торця видовженої ємкості:

$$a = 2,09 \cdot l_y \cdot (\omega^{ведуч} )^2. \quad (8)$$

За виразами (6) – (8) можна розрахувати прискорення торця робочої ємкості відповідної конструкції машини для обробки деталей. Оскільки у виразах (6) – (8) змінюватися буде лише числовий коефіцієнт, то можна записати одне загальне рівняння:

$$a = \delta \cdot l_y \cdot (\omega^{ведуч} )^2, \quad (9)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт відповідної конструкції машини для обробки деталей:  $\delta=2,04$  – для «базової конструкції» машини,  $\delta=2,44$  – для конструкції машини, в якій ведучий вал обертається за законом зміни кутової швидкості,  $\delta=2,09$  – для конструкції машини з видовженою робочою ємкістю.

Підставимо значення виразу (9) у рівняння (5):

$$h_x = \frac{l_{роб} (\delta \cdot l_y \cdot (\omega^{ведуч} )^2 + g - g \cos 2\alpha - \mu f g \cos \alpha)}{g}. \quad (10)$$

За допомогою виразу (10) можна визначити необхідну висоту падіння  $h_x$ , що відповідатиме заданій кутовій швидкості  $\omega^{ведуч}$  ведучого валу машини. На відміну від експериментально змодельованого процесу падіння відливок [12], при реалізації якого їх початкова швидкість  $V_{н.х.}$  завжди дорівнює нулю, вільне переміщення відливок в середині робочої ємкості між протилежними її торцями практично завжди буде починатися з відповідним, не нульовим, значенням початкової швидкості  $V_{н.х.}$ , яка буде залежати від сили прискореного руху стінок робочої ємкості, які впливатимуть на переміщення робочого масиву.

Незважаючи на це, кінцева швидкість переміщення відливок в середині робочої ємкості буде еквівалентна такій само кінцевій швидкості відливок, при реалізації їх вільного падіння, лише під дією лише сили тяжіння, з відповідної висоти  $h_x$ . Для кожної висоти падіння  $h_x$  відповідною є кількість ударних взаємодій  $n_x$  відливок з поверхнею, що необхідні для відділення усіх деталей від ливників. Кількість падінь ударних взаємодій (зіткнень)  $n_x$  відливок з висоти  $h_x$  можна визначити за отриманим у роботі [12] рівнянням. Запишемо це рівняння з урахуванням виразу (10):

$$n_x = \frac{0,016 \cdot S_{ПП.х.загал} \cdot g}{m_x \cdot l_{роб} (\delta \cdot l_y \cdot (\omega^{ведуч} )^2 + g - g \cos 2\alpha - \mu f g \cos \alpha)}. \quad (11)$$

За виразом (11) можна розрахувати кількість ударних взаємодій (зіткнень)  $n_x$  відливок з торцями ємкості, яка необхідна для відділення всіх деталей від ливника, з урахуванням конструктивних особливостей машини та самої відливки.

Як відомо з виразу (1), за один оберт ведучого валу машини відбувається 4 зіткнення робочого масиву з торцями ємкості. Отже:

$$i_x = 0,25 \cdot n_x. \quad (12)$$

Підставимо рівняння (11) у вираз (12):

$$i_x = \frac{0,004 \cdot S_{\text{ПП.х.загал.}} \cdot g}{m_x \cdot l_{\text{роб}} (\delta \cdot l_{\text{ц}} \cdot (\omega^{\text{ведуч}})^2 + g - g \cos 2\alpha - \mu f g \cos \alpha)}. \quad (13)$$

Таким чином, за виразом (13) можна визначити кількість обертів ведучого валу машини  $i_x$ , які необхідні для відділення всіх деталей від однієї відливки.

4. У процесі роботи машини, при зіткненні відливок з одним із торців ємкості, одночасно відділяються від ливників деталі такої кількості відливок, які можуть розміститися на площині торця ємкості. Для визначення максимальної одночасної кількості зіткнень відливок  $z_x$  відповідного типу з торцем ємкості необхідно встановити, яка кількість цих відливок може розміститися на площині торця ємкості  $S_{T.PC}$ , таким чином, щоб виключити можливість їх контакту між собою. Оскільки відливки мають складну форму та, в залежності від їх положення на поверхні, можуть займати різну площину, то даний фактор можна врахувати лише приблизно. Однак справедливим буде вираз:

$$z_x = \frac{S_{T.PC}}{S_x}, \quad (14)$$

де  $S_x$  – площа поверхні, яку займає ливникова система відповідного типу  $x$ .

Площу поверхні  $S_x$  можна виміряти безпосередньо за контуром відливки на площині, при цьому варто враховувати декілька найбільш можливих положень відливки на опорній поверхні, врахувавши середнє арифметичне цих площин при різному положенні відливок.

З урахуванням того, що робоча ємкість зазвичай має циліндричну форму, вираз (14) матиме вигляд:

$$z_x = \frac{\pi R^2}{S_x}, \quad (15)$$

де  $R$  – радіус торця робочої ємкості.

На основі вищесказаного, розрахована, за виразом (13), кількість обертів ведучого валу машини  $i_x$  є достатньою для того, щоб одночасно обробилася така кількість відливок, що відповідає максимальній одночасній кількості ударних взаємодій (зіткнень) відливок  $z_x$  відповідного типу з торцем ємкості. Таким чином, за  $i_x$  обертів ведучого валу машини обробиться  $z_x$  відливок із загальної кількості  $z_{x.\text{загал.}}$ , що завантажені до робочої ємкості. Відповідно, кількість обертів  $i_{x.\text{тех.проц.}}$ , яка необхідна реалізації технологічного процесу, тобто, для обробки усіх відливок, визначається наступним чином:

$$i_{x.\text{тех.проц.}} = \frac{i_x \cdot z_{x.\text{загал.}}}{z_x}. \quad (16)$$

Запишемо вираз (16) з урахуванням рівняння (13):

$$i_{x. мех. проц.} = \frac{0,004 \cdot S_{\text{ПП.х.загал.}} \cdot g \cdot z_{x. загал.}}{m_x \cdot l_{роб} (\delta \cdot l_{ц} \cdot (\omega^{ведуч})^2 + g - g \cos 2\alpha - \mu f g \cos \alpha) \cdot z_x} \quad (17)$$

5. Зміна відношення кількості оброблених деталей до загальної кількості завантажених до робочої ємкості. У процесі виконання технологічних операцій відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників відбувається зменшення насипного об'єму робочого масиву. Це пов'язано з тим, що при завантаженні робочого масиву, відливки мають складну розгалужену геометричну форму, що призводить до збільшення насипного об'єму робочого масиву. В процесі подальшого відділення деталей від ливників відбувається ущільнення робочого масиву. Відділені деталі, зазвичай осідають в нижній шар робочого масиву, а ливники, що мають вже не таку виражену розгалужену геометричну форму, значно ущільнюються у верхніх шарах робочого масиву. В зв'язку з цим, насипний об'єм робочого масиву до та після обробки відрізняється. Експериментально, вимірюючи насипний об'єм робочого масиву до та після виконання технологічної операції, було встановлено, що насипний об'єм робочого масиву після виконання технологічної операції зменшується на 47,7% – 29,5%, в залежності від типу відливок, які обробляються.

Відповідно, зі зменшенням насипного об'єму робочого масиву, одночасно, на ту ж само величину, збільшується вільний об'єм робочої ємкості. В той само час, зі зменшенням кількості необроблених відливок, зменшується й максимальна одночасна кількість зіткнень відливок  $z_x$  відповідного типу з торцем ємкості. Якщо на початку обробки, одночасно з торцем робочої ємкості зіткнуться усі відливки, що можуть розміститися на площині торця ємкості  $S_{T.PC}$ , таким чином, щоб унеможливити їх контакт між собою, то ближче до кінця обробки, це значення асимптотично наблизатиметься до нуля. Відповідно в середині процесу обробки, одночасно об торець робочої ємкості вдарятиметься приблизно 50% необроблених відливок, інші 50% – це будуть ливники та відділені від них деталі. Саме тому для визначення мінімального часу, що витрачається на виконання даної технологічної операції, потрібно враховувати, що одночасно з торцем робочої ємкості можуть зіткнутися приблизно 50% необроблених відливок. Таким чином, вираз (15) матиме вигляд:

$$z_x = \frac{\pi R^2}{2 \cdot S_x} \quad (18)$$

За аналогічним принципом слід приймати й довжину переміщення  $l_{роб}$  робочого масиву між протилежними торцями ємкості вздовж її повздовжньої вісі за один повний оберт ведучого валу машини. На початку процесу обробки, коли вільний об'єм робочої ємкості буде найменший, довжина переміщення  $l_{роб}$  також буде найменшою, в кінці обробки значення довжини переміщення  $l_{роб}$  буде найбільшим. В зв'язку з цим, для визначення сумарної довжини переміщення, необхідно приймати таку величину вільного об'єму, що відповідатиме середині процесу обробки. Таким чином, запишемо вираз для визначення об'єму заповнення робочої ємкості, що відповідає половині виконаного технологічного процесу обробки деталей:

$$V_{роб.} = \frac{V_{Поч.роб.} + V_{Кін.роб.}}{2}, \quad (19)$$

де  $V_{Поч.роб.}$  – об’єм заповнення робочої ємкості у % на початку процесу обробки,  $V_{Кін.роб.}$  – об’єм заповнення робочої ємкості у % в кінці процесу обробки.

З урахуванням виразу (19) рівняння (1) матиме вигляд:

$$l_{роб} = \frac{l_{ц} (200 - V_{Поч.роб.} - V_{Кін.роб.})}{200}. \quad (20)$$

Запишемо вираз (17) з урахуванням рівнянь (18) та (20):

$$i_{x.мех.проц.} = \frac{1,6 \cdot S_{ПП.х.загал.} \cdot g \cdot z_{х.загал.} \cdot S_x}{m_x \cdot l_{ц} (200 - V_{Поч.роб.} - V_{Кін.роб.}) \cdot (\delta \cdot l_{ц} \cdot (\omega_{ведуч.})^2 + g - g \cos 2\alpha - \mu f g \cos \alpha) \cdot \pi R^2}. \quad (21)$$

Далі, виходячи з відомої кількості обертів, які необхідно виконати ведучому валу машини для реалізації відділення усіх деталей від ливників, а також частоти обертання ведучого валу, запишемо вираз для визначення мінімального часу  $t_{x.min}$  [хв], який необхідний для виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» відповідного типу  $x$  від ливників:

$$t_{x.min} = \frac{i_{x.мех.проц.}}{n_{вед.в}}, [хв]. \quad (22)$$

Підставимо рівняння (21) у вираз (22):

$$t_{x.min} = \frac{1,6 \cdot S_{ПП.х.загал.} \cdot g \cdot z_{х.загал.} \cdot S_x}{m_x \cdot l_{ц} (200 - V_{Поч.роб.} - V_{Кін.роб.}) \cdot \left( \frac{\delta \cdot l_{ц} \cdot \pi^2 \cdot n_{вед.в}^2}{900} + g - g \cos 2\alpha - \mu f g \cos \alpha \right) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot n_{вед.в}}, [хв]. \quad (23)$$

Окрім того потрібно врахувати час «виходу» машини на робочу потужність, звичай для цього потрібно 2 оберти ведучого валу. З урахуванням цього вираз (23) матиме вигляд:

$$t_{x.min} = \frac{1,6 \cdot S_{ПП.х.загал.} \cdot g \cdot z_{х.загал.} \cdot S_x}{m_x \cdot l_{ц} (200 - V_{Поч.роб.} - V_{Кін.роб.}) \cdot \left( \frac{\delta \cdot l_{ц} \cdot \pi^2 \cdot n_{вед.в}^2}{900} + g - g \cos 2\alpha - \mu f g \cos \alpha \right) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot n_{вед.в}} + \frac{2}{n_{вед.в}}, [хв], \quad (24)$$

де  $S_{ПП.х.заг.}$  – загальна площа поперечного перерізу відливок у місцях з’єднання деталей з ливником, [мм<sup>2</sup>];  $g$  – прискорення вільного падіння, [мс<sup>-2</sup>];  $z_{х.загал.}$  – загальна кількість відливок відповідного типу, що завантажені до робочої ємкості;  $S_x$  – площа поверхні, яку займає відливка відповідного типу на опорній поверхні, [м<sup>2</sup>];  $m_x$  – маса однієї відливки, [кг];  $V_{Поч.роб.}$  – об’єм заповнення робочої ємкості на початку процесу обробки, [%];  $V_{Кін.роб.}$  – об’єм заповнення робочої ємкості в кінці процесу обробки, [%];  $\delta$  – коефіцієнт відповідної конструкції машини для обробки деталей;  $l_{ц}$  – довжина робочої ємкості, [м];  $n_{вед.в}$  – частота обертання ведучого валу машини, при якій буде виконуватися технологічна операція, [хв<sup>-1</sup>];  $\mu$  – коефіцієнт відповідності режиму руху робочого масиву;  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання робочого масиву по внутрішній поверхні робочої ємкості ( $f=0,38$ );  $R$  – радіус торця робочої ємкості, [м];

Таким чином, за допомогою рівняння (24) можна розрахувати мінімальний час виконання технологічної операції відділення металевих деталей від ливників у машині, робоча ємкість якої виконує складний просторовий рух. Розрахунок є універсальним, адже виконується з урахуванням типу відливок, конструктивних особливостей машини зі складним рухом робочої ємкості, частоти обертання ведучого валу машини, об’ємного рівня заповнення робочої ємкості.

### Висновки:

1. Аналітично досліджено фактори, які впливають на зміну інтенсивності виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників.
2. Встановлено взаємозв'язок між масою та геометричною формою відливок, кількістю взаємодій відливок з твердою поверхнею, конструктивними особливостями галтувальної машини зі складним рухом робочої ємкості, значенням частоти обертання ведучого валу машини, рівнем заповнення робочої ємкості робочим масивом та часом, що витрачається на реалізацію відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників.
3. Отримані математичні залежності для розрахунку часу виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників.

### Література

1. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / Під заг. ред. В.П. Коновала. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 255 с;
2. Патент №137568, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб об'ємної обробки металевих деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Сухенко А.Г., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201904193; заяв. 19.04.2019, опуб. 25.10.2019, бюл. № 20;
3. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. // Монография – М.: Машиностроение, 2009. – 220 с;
4. Патент №126647, МПК В01F 11/00 (2018.01). Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну - №u201801469; заяв. 15.02.2018, опуб. 25.06.2018, бюл. № 12;
5. С. Mayer-Laigle. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer / С. Mayer-Laigle, С. Gatumel, Н. Berthiaux // Chemical Engineering Research and Design Volume 95, March 2015, Pages 248-261;
6. 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;
7. М. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD / М. Marigo. - The University of Birmingham, UK., 2012. [in English];

### References

1. Burmistenkov, O. (2007). *Vyrobnytstvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimerykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereyinii promyslovosti: monohrafiia* [Manufacture of cast details and articles of polymeric materials in the shoe and leather industry: monograph]. Khmelnytskyi [in Ukraine];
2. Zalyubovskiy M. G, Panasyuk I. V, Sukhenko A. H, inventors (2019). *Sposib ob'iemnoi obrobky metalevykh detalei* [The method of three-dimensional processing of metal parts]. Ukrainian patent, no. 137568.
3. Pershin, V., Odnolko, V., & Pershina, S. (2009). *Pererabotka sypuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa* [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow [in Russian];
4. Zalyubovskiy M. G, Panasyuk I. V, inventors (2018). *Mashyna dlia obrobky detalei* [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 126647.
5. Mayer-Laigle C., Gatumel, C., & Berthiaux, H. (2015). Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. *Chemical Engineering Research and Design*. [in English];
6. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2007). *Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimerykh detalei: monohrafiia* [Machines with complex movement of working capacities for processing of polymer parts]. Kyiv [in Ukraine];
7. M. Marigo. *Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD* / M. Marigo. - The University of Birmingham, UK., 2012. [in English];
8. Panasiuk, I., Zaliubovskyi, M. (2014). *Eksperymentalne doslidzhennia rukhu chastynky sypkoho seredovyscha u robochii yemkosti, shcho zdiisniuie skladnyi rukh*. Visnyk Kyivskoho



2012;

8. Панасюк І.В. Експериментальне дослідження руху частинки сипкого середовища у робочій ємкості, що здійснює складний рух / І.В.Панасюк, М.Г.Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2014. – №6. – С. 35 – 42;

9. 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., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24 – 32;

10. Залюбовський М.Г. Визначення кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей: енергетичний підхід / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – №4 (136). – С. 57 – 66;

11. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов. – М.: Наука, 1988. – 640 с;

12. 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 – 25;

natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu [Experimental study of the motion of a friable medium particle in a working volume carrying complex movement], *Visnyk Kyiv National University of Technologies and Design – Bulletin of the KNUTD*, 6, 35 – 42 [in Ukraine];

9. 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., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24 – 32. [in English];

10. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2019). Vyznachennia kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei: enerhetychnyi pidkhid [Determining the angular velocity of the drive shaft of a machine for machining parts: an energy approach], *Visnyk Kyiv National University of Technologies and Design – Bulletin of the KNUTD*, 4, 57 – 66 [in Ukraine];

11. Artobolevskii, I. (1988). *Teoriia mashin i mekhanizmov* [Theory of machines and mechanisms]. Moscow [in Russian];

12. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2019). Eksperymentalne vyznachennia enerhii neobkhdnoi dlia viddilennia metalevykh detalei vid lynykyiv [Experimental determination of the energy required to separate metal parts from foundries], *Visnyk Kyiv National University of Technologies and Design – Bulletin of the KNUTD*, 5, 17 – 25 [in Ukraine];

**ZALIUBOVSKIY MARK**

markzalubovskiy@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>

Open University of Human Development «Ukraine»

**IGOR PANASYUK**

panasjuk1961@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>

ResearcherID: D-4255-2017

Kyiv National University of Technologies & Design

**MALYSHEV VICTOR**

viktor.malyshev.igic@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2756-3236>

Open University of Human Development «Ukraine»

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ОТДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ЗАМКА «МОЛНИЯ» ОТ ЛИТНИКОВ

ЗАЛЮБОВСКИЙ М. Г.<sup>1</sup>, ПАНАСЮК И. В.<sup>2</sup>, МАЛЫШЕВ В. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Открытый международный университет развития человека «Украина»,

<sup>2</sup> Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Аналитическое определение минимально необходимого времени, затрачиваемого на реализацию отделения металлических деталей замка «молния» от литников, а также получение

соответствующих расчетных зависимостей для определения времени, затрачиваемого на выполнение технологической операции.

**Методика.** Проведено комплексное аналитическое исследование основных факторов, влияющих на изменение интенсивности выполнения технологической операции отделения металлических деталей замка «молния» от литников.

**Результаты.** На основе выполненного аналитического исследования получено уравнение, которое дает возможность прогнозировать технологический результат на стадии проектирования, в частности, рассчитать время выполнения технологической операции отделения металлических деталей замка «молния» от литников. Также получены математические зависимости, позволяющие прогнозировать влияние каждого из факторов на интенсивность выполнения технологической операции.

**Научная новизна.** Установлена взаимосвязь между массой и геометрической формой отливок, плоскостью поперечного сечения отливок в местах закрепления деталей, количеством ударных взаимодействий отливок с твердой поверхностью, конструктивными особенностями галтовочной машины со сложным движением рабочей емкости, значением частоты вращения ведущего вала машины, уровнем заполнения рабочей емкости рабочим массивом и временем, затрачиваемым на реализацию отделения металлических деталей замка «молния» от литников.

**Практическая значимость.** Полученные математические зависимости для расчета времени выполнения технологической операции отделения металлических деталей замка «молния» от литников. Данные зависимости могут быть использованы при проектировании технологических процессов на соответствующих предприятиях.

**Ключевые слова:** отделение от литников, замок «молния», объемная обработка, рабочая емкость.

## ANALYTICAL DETERMINATION OF TIME OF PERFORMANCE OF A TECHNOLOGICAL OPERATION SEPARATION OF METAL DETAILS OF THE «ZIPPER» LOCK FROM A GATE

ZALYUBOVSKY M. G.<sup>1</sup>, PANASYUK I. V.<sup>2</sup>, MALYSHEV V. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Open University of Human Development «Ukraine»

<sup>2</sup> Kyiv National University of Technologies and Design

**Purpose.** Analytical determination of the minimum necessary time spent on the implementation of the separation of metal parts of the castle «zipper» lock from the gates. Getting the corresponding calculated dependencies.

**Methodology.** A comprehensive analytical study of the main factors affecting the change in the intensity of the technological operation of separating the metal parts of the «zipper» lock from the gate was carried out.

**Results.** Based on the performed analytical study, an equation is obtained that makes it possible to predict the technological result at the design stage, in particular, to calculate the execution time of the technological operation of separating the metal parts of the lightning lock from the gates. Mathematical dependencies are also obtained that make it possible to predict the influence of each of the factors on the intensity of the technological operation.

**Scientific novelty.** The relationship between the mass and geometric shape of castings, the cross-sectional plane of the castings in the places of attachment of the parts, the number of impact interactions of castings with a solid surface, the design features of a tumbling machine with a complex movement of the working capacity, the speed of the drive shaft of the machine, the level of filling the working capacity with a working array and the time spent on the separation of the metal parts of the lock is established «zipper» lock from the sprues.

**Practical significance.** The obtained mathematical dependencies for calculating the execution time of the technological operation of separating the metal parts of the «zipper» lock from the gates. These dependencies can be used in the design of technological processes in the respective enterprises.

**Key words:** separation from gates, «zipper» lock, volumetric processing, working capacity.