

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.924.7

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/02>**Залюбовський М.Г.**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Панасюк І.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

Малишев В.В.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ І ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ РЕЧОВИН У РУХОМИХ РОБОЧИХ ЄМКОСТЯХ (ЧАСТИНА 2: ТИПИ ОБЛАДНАННЯ З РУХОМИМИ ЄМКОСТЯМИ)

Виконання галтувальних технологічних операцій обробки дрібних деталей, а також змішування дрібнодисперсних сипких речовин здійснюється з використанням різних типів обладнання з рухомими робочими ємкостями. З урахуванням конструктивних відмінностей і способів виконання відповідних технологічних операцій розроблено класифікацію обладнання з рухомими робочими ємкостями. Установлено, що перспективним типом обладнання є машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. З використанням такого типу обладнання можна досягнути значного скорочення часу, який витрачається на галтувальні технологічні операції та змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Описано способи обробки деталей із застосуванням направленої потоку дрібнодисперсного порошкового середовища, що реалізується з використанням дробометних машин, принцип роботи вібраційних, щіткових, роторних машин і машин із планетарним рухом робочих ємкостей. Визначено переваги й недоліки кожного типу обладнання. Показано, що ступінь рухомості просторових механізмів машин зі складним рухом робочих ємкостей, згідно з формулою Сомова-Малишева, дорівнює нулю. Це пов'язано з наявністю надлишкового (пасивного) зв'язку в кінематичному ланцюзі механізму. Наявність надлишкового зв'язку негативно впливає на експлуатаційні властивості машини. Показано найбільш поширені методи звільнення просторових механізмів машин від надлишкового зв'язку.

Ключові слова: обробка деталей, змішування сипких речовин, режим руху, холодоагент, робоча ємкість.

Постановка проблеми. Натепер відома значна кількість типів обладнання з рухомими робочими ємкостями, котре випускається різними вітчизняними та іноземними виробниками й використовується для реалізації галтувальних технологічних процесів обробки деталей і змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Кожен тип обладнання має свою специфіку застосування, свої переваги та недоліки. Для одних типів обладнання, таких як галтувальні машини з обертовими циліндричними ємкостями, що є найбільш поширеними в промисловості, відома достатня кількість досліджень і вдосконалень конструкції. Однак такий тип обладнання залишається найменш ефективним, на обробку деталей може витратитися до

38 годин безперервної роботи машини. Відома низка інших, більш перспективних типів обладнання: вібраційні машини, комбіновані машини, машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однак у літературних джерелах досить обмежена кількість інформації щодо специфіки виконання технологічних операцій з використанням відповідних типів обладнання, впливу конструктивних і геометричних параметрів машин на інтенсивність виконання технологічних операцій. Ця тематика потребує систематизації та узагальнення.

Постановка завдання. Мета роботи – систематизація літературних даних щодо типів

обладнання з рухомими ємкостями, яке використовується для обробки деталей і змішування сипких дрібнодисперсних речовин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Усі типи обладнання, яке призначене для обробки деталей і змішування речовин, можна розділити за повними конструктивними особливостями та способами обробки деталей чи змішування сипких речовин. Умовно можна виділити 9 типів обладнання. Отже, авторами розроблено відповідну класифікацію обладнання, яка представлена на рис. 1.

Машини з обертовими робочими ємкостями є найпростішим, найпоширенішим та історично найпершим обладнанням у цій галузі обробки деталей. В той само час, такий тип обладнання є найменш ефективним, на обробку деталей може витратитися до 38 годин безперервної роботи машини. Базовою та найпростішою конструкцією обертового барабану є робоча ємкість, яка виконана у формі циліндричного барабану й обертається навколо власної горизонтально розташованої осі [1, с. 3]. Відомі найрізноманітніші технічні рішення щодо вдосконалення цієї конструкції та, як наслідок, спроб інтенсифікації процесів галтування. Використовуються робочі ємкості з гранованим профілем [2, с. 120], циліндричні барабани зі зміщеною віссю обертання (типу «п'яної бочки») [2, с. 121], ємкості з нахиленою віссю обертання, а також ємкості з V-подібною формою, у котрих дві циліндричні камери з'єднані між собою під кутом 30° – 75° , запропонована конструкція обертової робочої ємкості [3, с. 2], яка оснащена діафрагмою, що має гвинтову геометричну форму. Відоме технічне рішення [4, с. 3], де робоча гранована ємкість складається з декількох концентричних співвісно розміщених складників конусоподібної чи іншої форми, які можуть

бути встановлені на одній осі та мають можливість обертання в зустрічних напрямках, прилягаючи одне до одного із зазорами, меншими за розмір наповнювача й деталей, що обробляються.

Однак, незважаючи на всі вдосконалення конструкції, значного збільшення продуктивності під час обробки деталей чи змішування сипких речовин так і не вдалося досягти. Саме тому застосовуються принципово інші конструкції машин.

Шпиндельні машини за своєю конструкцією схожі на роторні машини. У таких машинах шпindel разом із закріпленими на ньому деталями обертається в робочій ємкості, заповненій абразивним матеріалом. Заявлена конструкція машини [5, с. 2–4], де робоча ємкість також отримує обертальний рух у напрямку, який зворотний до напрямку обертання шпинделя.

Вібраційні машини. Сутність роботи вібраційних машин [6, с. 5–50] полягає в послідовному нанесенні великої кількості мікроударів по поверхні оброблюваної деталі. Мікроудари наносяться в результаті зіткнень деталей одна з одною, зі стінками контейнеру, а також з твердими частинками наповнювача під час переміщення технологічного середовища в контейнері пристрою під впливом вібраційних сил. Із застосуванням вібраційних машин виникає можливість обробки деталей із габаритними розмірами до 0,3–0,5 м. Однак сфера використання вібраційних машин доволі вузька, у зв'язку з тим що величина припуску, яку можна зняти з поверхні деталі за допомогою них, не перевищує 0,025 мм [7, с. 133]. До того ж відомий факт негативного впливу вібрацій на конструкцію самої машини, які здатні викликати виникнення додаткових зусиль, так званий динамічний тиск. Станина механізму також отримує динамічний тиск, що передається на зв'язаний із нею фундамент, здійснюючи шкідливу дію на

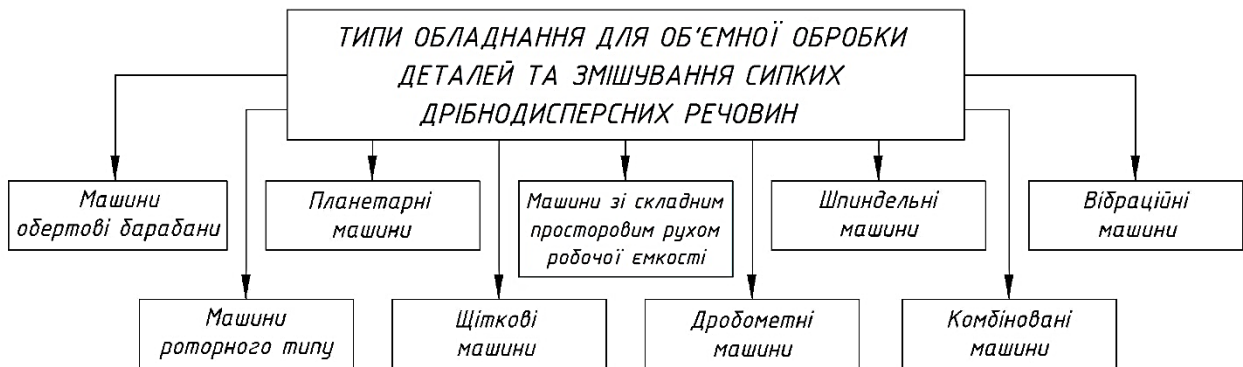


Рис. 1. Класифікація обладнання, яке призначене для об'ємної обробки деталей і змішування речовин

його кріплення та порушуючи тим самим зв'язок між станиною та фундаментом. Заявлена в патенті [8, с. 2–3] вібраційна машина з конструкцією, що складається з U-подібного підпружиненого контейнеру, віброзбудника з декількома дебалансами, вал якого через компенсуючу муфту з'єднаний із ротором електродвигуна та пружини, на які встановлений U-подібний контейнер.

Розроблені конструкції, що поєднують властивості декількох типів машин: шпindelна вібраційна машина [9, с. 3], у якій оброблювані деталі закріплюють на кінці шпindelа, що занурюється в робочу ємкість з абразивним матеріалом, шпindelю надається обертальний чи коливальний рух, абразивному матеріалу – вібраційний рух. Також застосовують складні конструкції вібраційних машин [10, с. 92–140] для змішування сипких продуктів.

Планетарні машини. Доведено [11, с. 145–155], що значного підвищення ефективності обробки деталей можна досягнути за рахунок використання планетарних і відцентрових машин. Процес обробки здійснюється під час переміщення частинок маси робочого масиву (наповнювач та оброблювані деталі) по поверхні деталі при певному контактному тиску. Реалізація процесу в планетарних ємкостях дає змогу ефективно використовувати відцентрові сили інерції для досягнення значень зазначених параметрів, що забезпечують інтенсивне протікання процесу обробки. У загальному випадку в планетарно-відцентровій установці встановлено водило, на якому розташовані ємкості з можливістю обертання навколо своїх осей. Водило приводиться в обертання, і робочий масив під дією відцентрових сил інерції переміщається в периферійну частину ємкості завдяки обертанню ємкості навколо власної осі.

Комбіновані конструкції, що є поєднанням різних типів конструкцій пристроїв. Наприклад, вібропланетарна машина [12, с. 2], у якій ємкість із робочим масивом встановлена з можливістю обертання навколо власної осі, центральної осі водила, крім того, ємкість отримує вібраційний рух. Пристрої для вібраційної шпindelно-планетарної обробки деталей [13, с. 2–3], у яких оброблювані деталі закріплені на шпindelах, що виконують планетарний рух у робочих ємкостях, котрим надано вібраційного руху.

Машини роторного типу [14, с. 2–3] головним чином призначені для змішування сипких речовин у робочій ємкості за рахунок обертання в них одного, двох або декількох роторів, котрі можуть бути різних конструкцій.

Щіткові машини призначені для видалення з оброблюваних деталей облою та ливників за допомогою спеціальних обертових щіток. Щіткові машини можуть бути двох типів: з рухомою робочою ємкістю й зі стаціонарною (нерухомою) робочою ємкістю.

Великогабаритні деталі піддаються обробці методом впливу на них кінетичної енергії від направленою потоку сипкого дрібнодисперсного порошкового середовища, що реалізується з використанням **дробометних машин** [15, с. 127–137]. Як середовище може застосовуватися порошковий наповнювач або ж потік скрапленого газу чи рідини із цим наповнювачем. У результаті такої обробки з поверхонь, які піддаються впливу цього направленою потоку, видаляються продукти корозії, лакофарбове покриття тощо.

Машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [16, с. 250–260]. У таких машинах робоча ємкість не обмежується переміщенням в одній площині, а виконує складний просторовий рух водночас стосовно трьох взаємно перпендикулярних осей координат з додатковим обертанням ємкості навколо власної вісі обертання. Відома розробка швейцарської компанії Віллі А Бахофен (ВАН) Turbula [17, с. 145], що являє собою машину зі складним рухом робочої ємкості. Характер складного руху робочого масиву в ємкості такої машини подібний до турбулентного режиму руху рідини чи газу.

Відоме [18, с. 150–244; 19, с. 543–545] успішне використання такої машини для процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Дослідження [20, с. 220–235] показали, що за рекордно короткий проміжок часу з використанням машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей можна досягнути повної сегрегації двох дрібнодисперсних сипких речовин. Установлено [18, с. 193–196], що повна сегрегація настає приблизно після 10–20 обертів ведучого валу машини.

Авторами також успішно проведені дослідження щодо можливості використання цієї конструкції машини для реалізації галтувальних технологічних операцій обробки дрібних деталей, зокрема для виконання технологічної операції відділення металевих деталей від ливників [21, с. 10–15] і полірування поверхні дрібних полімерних деталей [22, с. 25–29]. Проведені дослідження показали, що з використанням цього типу обладнання час виконання технологічної операції відділення металевих деталей від ливників зменшено в середньому в 10 разів (залежно від типу оброблюваних деталей), а час виконання технологічної

операції полірування поверхні полімерних деталей зменшено приблизно в 1,5–2 рази. Отже, підтверджено актуальність використання такого обладнання не лише для процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин, а й для галтувальних процесів обробки дрібних металевих і полімерних деталей.

Однак, незважаючи на явні переваги обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей, «базова» конструкція самого просторового механізму машини має суттєвий недолік – це наявність у кінематичному ланцюзі просторового механізму надлишкового зв'язку, який негативно впливає на довговічність та експлуатаційні характеристики механізму. Ступінь рухомості таких просторових механізмів машини, згідно з формулою Сомова-Малишева [17, с. 10], дорівнює нулю. Установлено [23, с. 402], що механізм може функціонувати лише за дотримання чітких конструктивних співвідношень довжин його ланок. Під час роботи механізму навіть при незначній деформації однієї з ланок може виникнути його заклинювання, як наслідок, він одразу виходить із ладу. Крім того, деталі потрібно виготовляти за допусками з підвищеною точністю. За рахунок цього собівартість такого обладнання значно підвищується, а термін експлуатації знижується.

Однак відомі роботи щодо вдосконалення конструкцій машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості на основі виключення з кінематич-

ного ланцюга просторового механізму надлишкового зв'язку. У патентах заявлені різноманітні конструкції вдосконалених машин. Так, у роботі [24, с. 2–3] розроблено машину з додатковою рухомою ланкою – коромислом, вісь обертання кого знаходиться у вертикальній площині; авторами розроблені конструкції з двома рухомими робочими ємкостями, що можуть бути з'єднані між собою поступальною [25, с. 2–4] чи обертальною [26, с. 2–4] кінематичною парою; у праці [27, с. 1–3] представлено конструкцію машини із застосуванням у кінематичному ланцюзі механізму вищої кінематичної пари 4-го класу. Отже, у всіх розроблених конструкціях відсутня наявність надлишкового (пасивного) зв'язку.

Висновки. Систематизовано літературні дані щодо типів обладнання з рухомими ємкостями, яке використовується для обробки деталей і змішування сипких дрібнодисперсних речовин.

Розроблено класифікацію обладнання, яке призначене для обробки деталей і змішування речовин за конструктивними особливостями та способами технологічних операцій.

На основі аналізу літературних даних установлено, що перспективним типом обладнання є машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. З використанням такого типу обладнання можна досягнути значного скорочення часу, який витрачається на галтувальні технологічні операції та змішування сипких дрібнодисперсних речовин.

Список літератури:

1. Авторское свидетельство СССР № 837800, кл. В 24 В 31/02, 1979.
2. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении. Санкт-Петербург : Политехника, 2007. 425 с.
3. Пат. України 6219, МПК В 24 В 31/02. Устрій для галтовки виробів / Ю.О. Турік, заявник та патентовласник Ю.О. Турік. № 2950551/25-08; заяв. 02.07.1980, опуб. 29.12.1994, бюл. № 8-І/1994.
4. Пат. України 38253, МПК В24В 31/033. Спосіб об'ємної обробки поверхні деталі / О.І. Буря, С.С. Фасатуров, А.С. Кобець, О.Д. Деркач, заявник та патентовласник Дніпропетровський державний аграрний університет. № 2000063429; заяв. 12.06.2000, опуб. 15.05.2001, бюл. № 4/2001.
5. Пат. України 6219, МПК В 24 В 31/02. Устрій для галтовки виробів / Ю.О. Турік, заявник та патентовласник Ю.О. Турік. № 2950551/25-08; заяв. 02.07.1980, опуб. 29.12.1994, бюл. № 8-І/1994.
6. Шумакова Т.А., Шаповалов В.И., Гутько Ю.И. Инструмент для виброобразивной обработки деталей : монография / Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. Луганск : Ноулидж, 2011. 59 с.
7. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ : учебное пособие для рабочего образования. Москва : Химия, 1987. 176 с.
8. Пат. України 38804, МПК В24В 31/067. Вібраційна машина / А.В. Силивонюк, П.П. Нахаєв, В.М. Тимошук, заявник та патентовласник Луцький державний технічний університет. № u200805362; заяв. 24.04.2008, опуб. 26.01.2009, бюл. № 2/2009.
9. Пат. України 8831, МПК В24В 31/06. Спосіб вібраційної обробки деталей / О.О. Оніщенко, Г.Г. Баскаков, В.М. Саповець, заявник та патентовласник Науково-виробниче об'єднання «Хімтекстильмаш». № 4135344/SU; заяв. 17.10.1986, опуб. 30.09.1996, бюл. № 3/1996.
10. Шушпанков А.Б., Иванец Г.Е. Смесительные агрегаты вибрационного типа для дисперсных материалов. Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2008. 152 с.
11. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій

та шкіргалантереї промисловості: монографія / під заг. ред. В.П. Коновала. Хмельницький : ХНУ, 2007. 255 с.

12. Пат. України 32665, МПК В24В 31/06. Машина для вібропланетарної обробки / П.С. Берник, І.П. Паламарчук, І.Г. Липовий, заявник та патентовласник Вінницький державний сільськогосподарський інститут. № u200800346; заяв. 10.01.2008, опуб. 26.05.2008, бюл. № 10/2008.

13. Пат. України 72282, МПК В24В 31/06. Пристрій для вібраційної шпindelно-планетарної обробки деталей / П.С. Берник, В.Г. Писаренко, Л.В. Ярошенко, Є.Ф. Боковий, В.М. Пазюк, заявник та патентовласник Л.В. Ярошенко. № 2002054019; заяв. 16.05.2002, опуб. 15.02.2005, бюл. № 2/2005.

14. Пат. України 34562, МПК В29В 7/00. Роторний змішувач / І.О. Мікульонок, В.Т. Вознюк, заявник та патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». № u200804640; заяв. 10.04.2008, опуб. 11.08.2008, бюл. № 15/2008.

15. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. Москва : Химия, 1988. 176 с.

16. Mayer-Laigle C., Gatamel C., Berthiaux H. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. *Chemical Engineering Research and Design*. March 2015. Volume 95. P. 248–261.

17. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов. 2-е изд., переработ. и доп. Москва : Машиностроение, 1972. 256 с.

18. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012. P. 311.

19. Marigo M., Cairns D.L., Davies M., Ingram A., Stitt E.H. A numerical comparison of mixing efficiencies of solids in a cylindrical vessel subject to a range of motions, *Powder Technology*, Powder Technology 217 (2012). P. 540–547;

20. Marigo M., Cairns D.L., Davies M., Cook M., Ingram A., Stitt E.H. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of TurbulaMixer Motion using Positron Emission Particle Tracking, *CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2010. Vol. 59. № 3 (2010). P. 217–238.

21. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Аналітичне визначення часу виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2019. № 6 (140). С. 9–18.

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

23. Хростицкий А.А., Терёшин В.А. Особенности структуры и геометрии пространственного шестизвенного механизма с избыточными связями. *Современное машиностроение. Наука и образование* : материалы Междунар. науч.-прак. конф. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 399–409. URL: www.mmf.spbstu.ru/konf_2011/55.pdf.

24. Патент Российской Федерации № 2077941, МПК 15 В01F11/00. Смеситель для сыпучих и жидких веществ / Т.А. Грузнова, Г.В. Малахова, Н.А. Фридкина, заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа НИКТИ «Электроприбор». № 94045445/26; заяв. 27.12.1994, опуб. 27.04.1997, бюл. № 13

25. Патент № 126647, МПК В01F 11/00 (2018.01). Машина для обробки деталей / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. № u201801469; заяв. 15.02.2018, опуб. 25.06.2018, бюл. № 12.

26. Патент № 127438, МПК В24В 31/00 (2018.01). Машина для обробки деталей / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. № u201803397; заяв. 30.03.2018, опуб. 25.07.20.

27. Патент №127611, МПК В24В 37/00 (2018.01), В24В 37/07 (2012.01). Машина для обробки деталей / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. № u201802817; заяв. 20.03.2018, опуб. 10.08.2018, бюл. № 15; 18, бюл. № 14.

Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Malyshev V.V. PERSPECTIVE TECHNOLOGIES FOR PART PROCESSING AND MIXING OF BULK MATTERS INTO MOBILE WORKING TANKS (PART 2: TYPES OF EQUIPMENT WITH CAPACITIES MOVEMENT)

Tumbling technological operations of processing small parts, as well as mixing finely divided bulk solids, are carried out using various types of equipment with moving working capacities. Given the design differences and methods for performing the corresponding technological operations, a classification of equipment with moving working capacities has been developed. It has been established that machines with heavy spatial movement of working capacities are a promising type of equipment. Using this type of equipment, it is

possible to achieve a significant reduction in the time spent on tumbling technological operations and mixing bulk solids. While machines with rotating working capacities are the least efficient type of equipment, up to 38 hours of continuous operation of the machine can be spent on processing parts in them. The described methods for processing parts using a directed flow of finely divided powder media are implemented using shot blasting machines, the principle of operation of vibrating, brush, machines and machines with planetary movement of working capacities is described. The advantages and disadvantages of each type of equipment are determined. It is shown that the degree of mobility of the spatial mechanisms of machines with a complex movement of working capacities, according to the Somov-Malyshev formula, is zero. This is due to the presence of excess (passive) communication in the kinematic chain of the mechanism. The presence of excess communication negatively affects the operational properties of the machine. This design of the machine can only function while ensuring high accuracy of the lengths of the links of the spatial mechanism, and even with a slight deformation of one of the links, jamming of the mechanism may occur, as a result, the machine immediately fails. The most common methods for freeing the spatial mechanisms of machines from excessive communication are shown.

Key words: *processing of parts, mixing of bulk solids, mode of movement, refrigerant, working capacity.*