

УДК 621.924.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/05>**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 ТА ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ РЕЧОВИН У РУХОМИХ РОБОЧИХ МІСТКОСТЯХ (ЧАСТИНА 1: СПОСОБИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ)

У різних галузях промисловості широко застосовуються дрібні полімерні й металеві деталі. Зазвичай їхнє формоутворення відбувається шляхом лиття або механічної обробки. Після формоутворення вони потребують проведення подальших трудомістких галтувальних технологічних операцій. Найбільш ефективний шлях механізації галтувальних технологічних операцій – це використання обробки деталей технологічним середовищем. З урахуванням властивостей деталей і вимог до їхньої обробки проведено аналіз галтувальних технологічних процесів обробки деталей, а також змішування дрібнодисперсних сипких речовин, рекомендовано раціональні типи технологічного процесу із застосуванням відповідного устаткування. Розглянуто основні способи й технології обробки дрібних полімерних і металевих деталей, а також змішування сипких дрібнодисперсних речовин у рухомих робочих місткостях із різним характером їхнього руху. Використання холодоагентів зменшує еластичність полімерних деталей, значно підвищує їхню крихкість, дає можливість при величині відносної деформації <math><10\%</math> реалізувати відділення полімерних деталей від ливників. Використання обладнання зі складним просторовим рухом робочих місткостей для технологічних операцій покращення якості поверхні виробів дає змогу в 1,5–2 рази збільшити інтенсивність виконання такої технологічної операції. Характер переміщення сипкого технологічного середовища в змішувальних і галтувальних робочих місткостях незалежно від характеру їхнього руху може реалізовуватися шляхом виникнення каскадного, змішаного або водоспадного режимів руху. Встановлено відповідність між режимами руху технологічного середовища в середині рухомих робочих місткостей і відповідними типами галтувальних технологічних операцій й інтенсивністю змішування сипких речовин.

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

Постановка проблеми. Підвищення продуктивності виготовлення полімерних та металевих деталей значною мірою залежить від скорочення часу, який витрачається на підготовчі та фінішних галтувальні операції. Як відомо [1, с. 7], на ці операції витрачається до 80% технологічного часу. Галтувальні технологічні операції, а також технологічні операції змішування сипких дрібнодисперсних речовин реалізуються із застосуванням різних типів обладнання з рухомими робочими ємкостями.

У різних галузях промисловості невеликі типові деталі та вироби виготовляються механічною обробкою або литтям. Як правило, ці деталі потребують проведення дуже трудоміст-

кої подальшої галтувальної обробки, яка часто виконується ручним способом або засобами малої механізації. Наприклад, галтувальні машини з обертальним рухом робочої ємкості [2, с. 3], які застосовуються для всіх вищезгаданих операцій здебільшого мають низьку продуктивність та є застарілим типом обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення продуктивності виконання галтувальних технологічних операцій та технологічних операцій змішування сипких дрібнодисперсних речовин можна досягнути за рахунок інтенсифікації руху технологічного середовища (деталі та наповнювач, сипкі речовини) у робочих ємкостях за рахунок забезпечення їх складного

просторового переміщення. Перспективним є використання обладнання зі складним тривимірним рухом ємкостей. Дослідженням такого обладнання та руху робочого середовища в ємкостях зі складним просторовим переміщенням займаються, як вітчизняні, так й іноземні науковці.

Незважаючи на проведені дослідження, до теперішнього часу відсутні загальні підходи та рекомендації щодо впливу конструктивних та технологічних параметрів на продуктивність та якість обробки та змішування сипких дрібнодисперсних речовин, відсутня можливість прогнозувати технологічний результат на стадії проектування. В літературі достатньо обмежена кількість оглядів по цій тематиці. Таким чином, тематика потребує подальшого узагальнення та систематизації літературних даних.

Постановка завдання. Мета роботи – систематизація літературних даних щодо способів перспективних технологій обробки металевих та полімерних деталей, а також змішування сипких дрібнодисперсних речовин у рухомих робочих ємкостях.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Способи обробки деталей технологічним середовищем у рухомих робочих ємкостях. Обробка деталей у рухомих ємкостях технологічним середовищем має загальну назву – галтування. Відомо [3, с. 5], що галтування включає в себе наступні технологічні процеси: очищення поверхонь металевих деталей від заусенцій, задирок, облою та окалин, продуктів корозії, заокруглення гострих країв, відділення полімерних та металевих деталей від ливників, а також, процеси покращення якості поверхонь виробів: шліфування та полірування.

Відомі [4, с. 118–119] три методи очищення поверхонь деталей та покращення їх якості: з використанням ручної праці або засобів малої механізації, однак такий спосіб є малоефективним, потребує значного часу та робочого потенціалу; із застосуванням універсальних пристроїв (токарні, фрезерувальні, свердлильні та шліфувальні верстати), такий спосіб застосовують при виготовленні деталей, де необхідне зняття точно визначеної величини припуску; при обробці деталей технологічним середовищем в рухомих робочих ємкостях.

За допомогою останнього методу обробляють деталі, для яких відсутні вимоги щодо зняття точно визначеної величини припуску з їх оброблюваної поверхні. При такому способі застосовують галтувальні барабани різної конструкції,

дробометні установки, вібраційні, інерційні та інші машини. Таким способом обробляють деталі, використання яких не потребує дотримання їх розмірів за квалітетами високої точності, а якість їх обробки можна визначити на основі органолептичного методу. Галтування розділяється на сухе та вологе. При першому способі використовується сухе технологічне середовище, при другому способі в робочу ємкість додається буферний рідинний розчин (зазвичай вода).

Спосіб відділення деталей від ливників [5, с. 3] застосовують для металевих та полімерних деталей, формоутворення яких відбувається шляхом лиття. Відоме [6, с. 2] успішне застосування цього способу в промисловості, зокрема, при відділенні від ливників деталей замка «блискавок» на основі цинкових сплавів. Відділення деталей від ливників реалізується на основі ударної взаємодії відливки з внутрішніми стінками рухомих ємкостей. Збільшення кінетичної енергії руху технологічного середовища зумовлює підвищення продуктивності виконання такої технологічної операції.

Значна частина формованих деталей виробляється з еластичних полімерів. Обробка їх за допомогою ударної взаємодії при кімнатній температурі неможлива через високу еластичність матеріалів. Встановлено [7, с. 21], що при зниженні температури еластичність полімерів зменшується, а при досягненні температури крихкості вони поведуться, як крихкі матеріали і руйнуються при величині відносної деформації <10% [8, с. 80–87]. Охолодження деталей здійснюється різними способами: введенням в зону обробки холодоагенту у виді двоокису вуглецю (рідкого або твердого), рідкого азоту або шляхом охолодження камери з робочим середовищем за допомогою холодильної установки. Значні переваги має рідкий азот. Він забезпечує охолодження до температури $-195,8^{\circ}\text{C}$, подача його в зону обробки не представляє складностей, він нешкідливий для навколишнього середовища. Таким чином, запропонований спосіб дозволяє обробляти навіть еластичні матеріали.

Широко використовуються методи покращення якості поверхні полімерних та металевих деталей. Зокрема виконуються, заявлені у патентах [9, с. 3; 10, с. 10], технологічні операції шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді вільних гранул. Відоме використання такого методу обробки при виготовленні гудзиків [11, с. 27–31] та інших дрібних фурнітурних деталей легкої промисловості.

Для раціонального вибору технологічного середовища (абразивного матеріалу) необ-

хідно враховувати усі фактори його впливу на виріб та специфіку самого процесу обробки [12, с. 114–127]. Наприклад, відомо [13, с. 125], що при очищенні поверхонь металевих деталей від продуктів корозії використовують бій абразивних кіл, для процесів шліфування та полірування застосовують подрібнені полірувальні пасти, при цьому, внутрішню поверхню робочої ємкості додатково оббивають повстю або шкірою, для очищення виробів від облою у робочу ємкість завантажуються необроблені деталі та різноманітний наповнювач, який може бути у вигляді керамічних, сталевих кульок, голковий наповнювач або наповнювач у вигляді сталевих циліндрів, в якості абразивного матеріалу також застосовують скляні кульки діаметром 3–6 мм.–

У роботі [1, с. 152–161], встановлено, що при виконанні технологічних операцій полірування дрібних полімерних деталей у рухомих робочих ємкостях, раціонально виконувати вологе галтування. У роботі [11, с. 27] доведено, що при вологому галтуванні полімерних деталей з поліефірної смоли, у якості абразивного матеріалу, раціонально використовувати дрібні керамічні тіла з різною геометричною формою, зокрема, трьохгранні призми з довжиною усіх граней 5 мм, а також дрібнодисперсну пемзу. Об'ємне співвідношення між абразивним матеріалом та полімерними деталями повинно становити 2,5:1, рівень заповнення водою технологічного середовища не повинен перевищувати рівня насипного масиву. Окрім цього, робочу ємкість необхідно заповнювати не більш ніж на 40% від її загального об'єму. Використання обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей для таких технологічних операцій дає змогу в 1,5–2 рази збільшити інтенсивність виконання цієї технологічної операції.

Відомо [14, с. 59], що суть усіх методів обробки деталей при їх русі в технологічному середовищі полягає в механічних контактах, які виникають при зіткненні оброблюваних деталей між собою, з абразивними частинками технологічного середовища, а також, при зіткненні з внутрішніми стінками робочої ємкості. В результаті таких зіткнень завжди відбувається ефект пластичної деформації та мікрорізання, зрізання дефектів, згладжування нерівностей, відділення ливників, очищення поверхні деталі, заокруглення гострих країв.

Було встановлено [1, с. 10], що абсолютно або практично не піддаються абразивній обробці поверхні в отворах, мінімальна кількість співударів виникає у заглибленнях, проточках, значно

більша – на плоских поверхнях та максимальна – по виступам, кромках, кутах, гострих краях. Саме тому гранулометричний склад абразивного матеріалу, зернистість та його форму обирають, виходячи з необхідної точності розмірів виробів, шорсткості їх поверхні, а також продуктивності обробки. Таким чином, розмір гранули абразивного наповнювача повинен бути в 2 рази меншим від розміру мінімального оброблюваного отвору виробу. Якщо отвори у виробі не підлягають обробці, то розмір гранул повинен, по крайній мірі, в 3 рази перевищувати розмір найбільшого отвору у виробі.

Способи змішування сипких дрібнодисперсних речовин у рухомих робочих ємкостях. Також відомі роботи [15, с. 150–244; 16, с. 218–224] щодо специфіки дослідження процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин в рухомих робочих ємкостях. Так у роботі [17, с. 20–66] використовується «одночастковий» підхід, при якому розглядається рівновага та динаміка лише окремої частинки. Закони, які описують рух технологічного середовища та зміну режимів руху сипкого робочого середовища є аналогічними до виразів, які описують переміщення окремої однієї частинки. Однак, такий підхід є досить наближеним та не може надати дійсних уявлень про переміщення усього технологічного середовища. Такий підхід успішно застосовується лише для опису простого вільного руху, наприклад, при падінні сипкого матеріалу з лопатей.

У [18, с. 20–31] застосовується метод «в'язкого плину», згідно якого рух сипкого матеріалу розглядається як плин в'язкопластичного середовища. Недолік такого методу полягає в тому, що залежності, котрі використовуються в ньому, містять емпіричні коефіцієнти, які потребують їх встановлення на спеціальних лабораторних установках. Крім цього, метод описує симетричну, відносно центру циркуляції, границю розподілу шарів, що не відповідає реальній картині, особливо при швидкостях обертання циліндричних робочих ємкостей, які є більшими за 0,2 від критичної кутової швидкості.

Розроблений енергетичний метод [19, с. 660] опису руху сипкого матеріалу в поперечному перерізі гладкої обертової циліндричної робочої ємкості, в основі якого полягає гіпотеза про те, що потенціальна енергія сипкого матеріалу, котрий знаходиться в шарі, який підіймається, при встановленому режимі руху є постійною величиною, рівною потенціальній енергії усього технологічного середовища в знерухомленій ємкості.

Авторами робіт [20, с. 18; 21, с. 542–545] було розглянуто вплив способів завантаження до робочої ємкості суміші двох сипких дрібнодисперсних речовин на інтенсивність змішування. При завантаженні сипкої суміші з двох фракцій в робочу ємкість, яка виконує складний просторовий рух, виділяються дві моделі завантаження: поперечна та осьова. Було встановлено [15, с. 186–188], що значно кращих результатів змішування сипких речовин можна досягнути саме при поперечному завантаженні. При осьовій моделі завантаження дві фракції сипких речовин значно гірше піддаються процесу змішування за рахунок того, що основне переміщення сипкого масиву відбувається вздовж осі ємкості. Однак, для циліндричної робочої ємкості, вісь обертання якої знаходиться під кутом $\alpha < 30^\circ$, кращою моделлю завантаження буде осьова.

Характер руху технологічного середовища в рухомих робочих ємкостях. Переміщення сипкого технологічного середовища в змішувальних та галтувальних робочих ємкостях, в незалежності від характеру їх руху, може реалізовуватися за рахунок виникнення каскадного, змішаного або водоспадного режимів руху. Кожен режим руху відповідає певному типу обробки деталей різних галузей промисловості або змішування сипких речовин.

Каскадний режим руху [22, с. 261] спостерігається при невеликій частоті обертання робочої ємкості або при низькій кутовій швидкості ведучого валу машини зі складним рухом робочої ємкості. Основний масив частинок рухається по круговим траєкторіям зі швидкістю обертання циліндричної ємкості. В машинах зі складним рухом робочої ємкості вони можуть рухатися і по інших, відмінних від кругових траєкторій, однак верхній шар сипкого матеріалу фактично не відривається від загального масиву і, тим паче, від стінок робочої ємкості. Частинки, досягнувши верхнього положення, зсипаються вниз по похилій площині. При каскадному режимі руху відсутній вільний політ частинок. Об'єм сипкого матеріалу, що рухається на приблизно 10% більше від статичного об'єму. Доведено [23, с. 258], що, для змішування сипких речовин, а також переважної більшості галтувальних технологічних операцій, не рекомендовано використовувати каскадний режим руху. Це пов'язано з тим, що при каскадному режимі руху неможливо забезпечити достатню інтенсивність переміщення технологічного середовища, виникатиме низька продуктивність виконання відповідних технологічних операцій.

Зі збільшенням частоти обертання барабану чи кутової швидкості ведучого валу машини зі склад-

ним рухом робочої ємкості утворюється змішаний режим руху [24, с. 48], який характеризується поєднанням у собі каскадного та водоспадного режимів. Спостерігається відрив верхнього шару сипкого матеріалу від загального масиву. Перехід від каскадного до змішаного режиму руху відбуватиметься в тому випадку, якщо від загальної маси сипкого середовища відділиться такий об'єм частинок, що відповідатиме приблизно 50% від загального масиву. Частинки з кругових траєкторій переходять на параболічні, а потім, падаючи на масив матеріалу, скочуються або проковзують по ньому і знову повертаються на кругові траєкторії. Об'єм, зайнятий рухомим матеріалом, значно перевищує статичний об'єм. Такий режим руху рекомендовано використовувати для технологічних процесів покращення якості поверхонь виробів, а також для змішування сипких дрібнодисперсних речовин.

При ще більш високій частоті обертання барабану чи кутовій швидкості ведучого валу машини зі складним рухом робочої ємкості змішаний режим руху переходить у водоспадний, який характеризується замкненими траєкторіями, що не перетинаються. При водоспадному режимі відсутня ділянка пересипання частинок, а практично увесь об'єм сипкого матеріалу відриватиметься від поверхні стінок робочої ємкості. Водоспадний режим руху слід використовувати у випадках, коли необхідно забезпечити виникнення ударної взаємодії між оброблюваними деталями та стінками робочої ємкості, наприклад, при реалізації відділення деталей від ливників. Також можливе використання водоспадного режиму руху при реалізації змішування сипких дрібнодисперсних речовин.

Відомий також закритичний режим руху [17, с. 156], при якому усе сипке технологічне середовище обертається разом з барабаном. Він характерний виключно для обертаних робочих ємкостей, виникає за рахунок того, що значення нормальних (відцентрових) сил інерції перевищує значення сил тяжіння. Виникає при значній частоті обертання циліндричної робочої ємкості. Таким режим руху не придатний для виконання жодної технологічної операції. Саме тому у монографії [17, с. 231] отримані вирази для визначення критичної кутової швидкості обертання робочої ємкості, при якій технологічне середовище почне обертатися разом зі стінками ємкості.

Висновки.

1. Систематизовано літературні дані щодо способів обробки металевих та полімерних деталей, а також змішування сипких дрібнодисперсних речовин у рухомих робочих ємкостях.

2. Представлено особливості виконання найбільш поширених галтувальних технологічних операцій обробки деталей, та змішування сипких дрібнодисперсних речовин.

3. Встановлено, що інтенсивність виконання розглянутих технологічних операцій обробки деталей залежить від ряду факторів, найголовнішими з яких є: режим руху технологічного середовища,

рівень заповнення ємкості, об'ємне співвідношення абразивних компонентів та оброблюваних деталей, гранулометричний склад технологічного середовища, геометричні параметри робочої ємкості, силовий вплив абразивних компонентів на оброблювані деталі, фізико-механічні властивості, як оброблюваних виробів, так і абразивних компонентів.

Список літератури:

1. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей : монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев. Київ : Університет «Україна», 2018. 228 с.
2. Устрій для галтовки виробів : пат. 6219 Україна : МПК В 24 В 31/02. № 2950551/25-08 ; заяв. 02.07.1980 ; опубл. 29.12.1994, Бюл. № 8-І/1994.
3. Бурмістенков, О.П., Панасюк І.В. Основи теорії та практична реалізація пристроїв для зачищувальної обробки формових деталей із полімерних матеріалів. Київ : НМК ВО, 1993. 64 с.
4. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ : учебное пособие для рабочего образования. Москва : Химия, 1987. 176 с.
5. Спосіб об'ємної обробки металевих деталей : пат. 137568 Україна : МПК В24В 31/10. № u201904193 ; заяв. 19.04.2019 ; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 20.
6. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Визначення кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей: енергетичний підхід. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2019. № 4 (136). С. 57–66.
7. 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.
8. Фетисов М.А. Влияние низкой температуры на физико-механические свойства резины и пластмасс. *О научно-исследовательских работах в вузах УССР* / М.А. Фетисов, А.С. Тельнов, В.Н. Митрашко. Вып. 21. Машиностроение и металлообработка. Київ : Вища школа, 1978. С. 87.
9. Спосіб вологого шліфування полімерних деталей : пат. 113267 Україна : МПК В24В 31/10 (2006.01). № u201606526 ; заяв. 15.06.2016 ; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2
10. Спосіб вологого полірування полімерних деталей : пат. 113266 Україна : МПК В24В 31/10 (2006.01). № u201606525 ; заяв. 15.06.2016 ; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.
11. 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. P. 24–32.
12. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. Москва : Химия, 1988. 176 с.
13. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении. Санкт-Петербург : Политехника, 2007. 425 с.
14. Шумакова Т.А., Шаповалов В.И., Гутько Ю.И. Инструмент для виброабразивной обработки деталей : монографія. Луганск : Ноулидж, 2011. 59 с.
15. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation : dissertation EngD ; The University of Birmingham. UK, 2012. 311 p.
16. Marigo M., Cairns D.L., Davies M., Cook M., Ingram A., Stitt E.H. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behavior in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A : Measurement and Reconstruction of Turbulent Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking. *CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2010. Vol. 59, No. 3. P. 217–238.
17. Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа : монографія. Москва : Машиностроение, 2009. 220 с.
18. Трофимов А.В. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах без внутренних устройств : дисс. ... канд. техн. наук : 05.17.08. Москва, 1973. 224 с.
19. Першин В.Ф., Минаев Г.А. Использование энергетического подхода при определении режимов движения сыпучего материала во вращающемся барабане. *Теоретические основы химической технологии*. 1989. Т. 23. № 5. С. 659–662.
20. Marigo M., Cairns D.L., Davies M., Ingram A., Stitt E.H. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behavior in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part B : Investigation of Flow and Mixing in the Turbula® mixer. *Powder Technology*. 2011. No. 212. P. 17–24.

21. 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*. 2012. No. 217. P. 540–547.
22. I. Panasyuk I.V., Zalyubovskiy M.G. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. P. 260–264.
23. Mayer-Laigle C., Gatumel 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.
24. Панасюк І.В., Залюбовський М.Г. Визначення залежності режиму руху робочого середовища у ємкості зі складним рухом від кутової швидкості ведучого валу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2015. № 1. С. 43–52.

Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Malyshev V.V. PERSPECTIVE TECHNOLOGIES FOR PART PROCESSING AND MIXING OF BULK MATTERS INTO MOBILE WORKING CAPACITIES (PART 1: METHODS OF TECHNICAL OPERATIONS)

In various industries, small polymer and metal parts are widely used. Usually their shaping occurs by casting or machining. After shaping, they require further labor-intensive tumbling technological operations. The most effective way to mechanize tumbling technological operations is to use the processing of parts by the technological environment. Taking into account the properties of the parts and the requirements for their processing, an analysis of tumbling technological processes for processing parts, as well as mixing of finely divided bulk solids, is recommended that rational types of technological process using appropriate equipment are recommended. The main methods and technologies for processing small polymer and metal parts, as well as mixing bulk solids in moving working capacities with different nature of their movement. The data on the specifics of the implementation of technological processes to improve the quality of product surfaces, as well as the separation of parts from gates. The use of refrigerants reduces the elasticity of polymer parts, significantly increases their fragility, and makes it possible, with a relative strain of <10%, to separate polymer parts from gates. The use of equipment with complex spatial movement of working capacities for technological operations to improve the quality of the surface of products allows 1.5–2 times to increase the intensity of this technological operation. The nature of the movement of bulk technological medium in mixing and tumbling working capacities, regardless of the nature of their movement, can be realized due to the emergence of cascade, mixed or waterfall modes of movement. Each mode of movement corresponds to a certain type of processing parts of various industries or mixing bulk solids. A correspondence was established between the modes of movement of the technological medium in the middle of mobile working tanks and the corresponding types of tumbling technological operations and the intensity of mixing of bulk solids.

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