



Скоркін А. О.,  
Кондратюк О. Л.

## МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ І ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУР СКЛАДАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБІВ

*Зборка складних машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного виробництва характеризується низьким рівнем достовірності технологічних рішень. Це пов'язано з неможливістю пошуку оптимальних варіантів технологічних процесів для заданих організаційно-технічних умов виробництва із-за складності як об'єкту зборки, так і засобів, що при цьому застосовуються. Одним з шляхів подолання цих проблем є імітаційне тривимірне моделювання виробничого середовища.*

**Ключові слова:** зборка, моделювання, технологічна операція, складальник, семантична мережа.

### 1. Вступ

В сучасному машинобудівному виробництві, питома вага з'єднань по циліндричних і конічних поверхнях у виробах машинобудування досягає 40 %, різьбових з'єднань — 20...25 %, з'єднань по плоских поверхнях — 10...20 %. Виконання таких операцій впродовж тривалого часу призводить до зниження уваги, підвищеної стомлюваності, фізичної втоми збирача, що є головними причинами помилок, що призводять до зниження якості продукції, що виробляється.

Продуктивність праці в складальному виробництві також опиняється залежною від суб'єктивних чинників і її рівень має тенденцію періодичної зміни. Відповідно до цього потрібна корекція виробничих завдань і розробка організаційно-технічних заходів для забезпечення необхідної тривалості, що до випуску продукції.

На сьогодні ці проблеми по-різному вирішуються з використанням АСТПВ. Розробки в області САПР ТП зборки сильно розрізнені, в цілому відсутня найбільш наближена до реальних проектування і виробництва системна концепція процесу проектування ТП зборки в САПР. Цим обґрунтовується актуальність проведеного дослідження.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Тенденції розвитку сучасного виробництва, що полягають у безперервному збільшенні випуску виробів як за номенклатурою, так і за об'ємом, призводять до неухильного росту питомої трудомісткості складальних операцій і, отже, до зростання потреб у виробничих площах і у збільшенні чисельності робітників, що зайняті в складальному виробництві.

Продуктивність праці в складальному виробництві також опиняється залежною від суб'єктивних чинників і її рівень має тенденцію періодичної зміни. Відповідно до цього потрібна корекція виробничих завдань і розробка організаційно-технічних заходів для забезпечення необхідної тривалості, що до випуску продукції [1, 2] На сьогоднішній час процес проектування складальних

технологічних процесів у САПР може бути представлений наступним чином:

- 1) вибір методу досягнення заданої точності зборки;
- 2) декомпозиція виробу (складальної одиниці) відповідно до їх технологічної структури;
- 3) вибір базових деталей для вузлової і загальної зборки;
- 4) виділення в конструкції розмірних ланцюгів, їх розрахунок по методиках, що задаються користувачем, інтерпретація результатів розрахунку;
- 5) формування власне ТП зборки, його маршрут-но-операційного викладу, технічне нормування;
- 6) вибір і оптимізація варіантів ТП зборки відповідно до заданих критеріїв (цільовими функціями);
- 7) оформлення технологічної документації на спроектований ТП [3, 4].

При цьому ефективність складального процесу визначається наступними складовими: якістю зборки; продуктивністю системи зборки; витратами на реалізацію складального процесу. А управління цими параметрами реалізується на етапах: конструкторської підготовки виробу; технологічної підготовки виробничого процесу; організаційної і технічної підготовки процесу зборки. Тому створення ефективного ТП СБ з комплексним обліком вище приведених чинників є актуальною проблемою технології машинобудування.

### 3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

*Об'єкт дослідження* — технологічні процеси зборки машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного непотокового стаціонарного виробництва.

Проведені дослідження ставили *за мету* визначити особливості проектування технологічних процесів зборки на основі імітаційного тривимірного моделювання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися *наступні задачі*:

- розробка методики оптимізації організаційно-технологічної структури зборки машинобудівних виробів на основі імітаційного 3D-моделювання;
- постановка завдання моделювання організаційно-технічної і технологічної структур систем зборки.

**4. Основний зміст методики моделювання організаційно-технологічної і технічної структур зборки**

Виходячи з аналізу, найбільш складною й найменш формалізованою, з точки зору математичного опису, є стаціонарна непотокова зборка з розчленуванням і без розчленування робіт, що застосовується в умовах дрібносерійного виробництва шляхом використання ручної праці з елементами механізації. При цьому вона, як правило, застосовується для формування складних машинобудівних виробів.

В даному дослідженні для моделювання роботи складальника СМВ були прийняті процеси і обладнання, параметри яких наведені у таблиці на рис. 1. Вони характеризуються наявністю математичних залежностей, які дозволяють розраховувати режими процесів складання з високою долею ймовірності.

Обслуговування робочих місць частково децентралізовано: якщо розподіл робіт по робочих місцях та забезпечення технологічною документацією здійснюється майстром, а комплектування заготівель і матеріалів, транспортування готових деталей підсобними робітниками, то отримання інструментів і технологічного оснащення в цехових інструментально-роздавальних коморах, встановлення пристосування, операційний контроль здійснюється самими робітниками.

Враховуючи типові прийоми і операції, що наведені у різноманітних джерелах [5–7], було виділено основні прийоми і операції (на засадах мікроелементного нормування), які дозволили класифікувати складні технологічні дії (табл. 1).

**Таблиця 1**

Перелік найбільш поширених способів роботи при складанні

Елементарні способи роботи	Опис
Захоплення об'єкту (чи з його допомогою)	Стикування характеристик виконавця з характеристиками предмета
Переміщення об'єкту (чи з його допомогою)	Доставка об'єкту в область знаходження технічної системи
Орієнтування об'єкту (чи з його допомогою)	Узгодження характеристик об'єкту з властивостями технічної системи
Установка (базування) об'єкту (чи з його допомогою)	Стикування характеристик об'єкту з
Закріплення об'єкту (чи з його допомогою)	Фіксація стану об'єкту (чи з його допомогою)

Для опису поведінки складальника застосовано антропометричний аналіз його рухів, які, в свою чергу, діляться на динамічні і статичні.

Найменування операції	Найменування переходу	Розрахункова залежність	Зображення з'єднання	Найменування операції	Розрахункова залежність	Зображення з'єднання
Запрессовка	Подовжно-пресове з'єднання	$\delta_{\phi} = \delta - 1,2 (Rz_1 + Rz_2),$ $P_{зап} = f \pi d L,$ $p = \frac{1}{d} \frac{\delta_{\phi} \cdot 10^{-3}}{C_1 / E_1 + C_2}$ $P_{пр} = (1,5 \dots 2) P_{зап}.$		Зварювання	$t_{\phi} = 60 F l \rho / J K_{н},$	
	Поперечно-пресове з'єднання	$t_A = (\Delta_0 + \delta) / \alpha$		Різьбове з'єднання	$P_3 = \sigma_3 F_6,$ $M_1 = P_3 (d_2 / 2 / f_p + D_{пр} / 2 f_r).$	
	Вібраційно-імпульсна дія	$P_{зап} = f N (1 - F)$ $f^* = f (1 - F_{пр} / f)$		З'єднання вал-отвір	Розміри ланцюги, що визначають радіальне биття конічного отвору шпинделя, встановленого на опорах ковзання $\varepsilon = A_{\Delta} + B_{\Delta}.$ $b = ad/c = aq_1.$ $l = k \frac{d-c}{c} = kq_2.$ $A_{\Delta} = A_1 + A_2 q_1,$ $B_{\Delta} = B_1 + B_2 q_2.$	
Клепка	холодна $P_{кл} = K d^{1,75} \sigma_{\phi}^{0,75}$ гаряча $P_{кл} = (65 \dots 80) \kappa H$					
Розкочування		$P_0 = \frac{K S_0 (D + d)}{2 D \sigma_T}$		Зубчасте з'єднання	Складові частини допуску на бічний проміжок в зубчастому зачепленні $\Delta o_{jn} = j n_{\min} + \delta_{jn} / 2.$ $j n_{\min} = V + a_w \times$ $\times (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2) 2 \sin \alpha,$	

**Рис. 1.** Складальні процеси, що були застосовані при моделюванні

До динамічних відносяться амплітуди рухів голови, рук і ніг, і використовуються для визначення об'єму робочих рухів, зон досяжності і видимості. По них розраховується просторова організація робочого місця, розмах рухів, розмах рухів перемикачів, що обертаються.

При виконанні технологічних операцій складання машинобудівних виробів одним з ключових завдань є визначення взаємозв'язку між елементами організаційно-технічної структури системи складання.

Нескладний аналіз показує, що між елементами системи складання існують взаємозв'язки, що мають технологічний характер. Структурно вони можуть бути зображені як показано на рис. 2, а їхній формальний запис можна зробити за допомогою системи рівнянь на основі алгебри логіки (1).

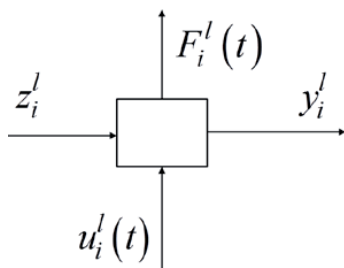


Рис. 2. Формальне представлення процесу складання

На рис. 2:  $F_i^l(t)$  — вектор показників роботи технологічного устаткування, що реалізує  $i$ -ту технологічну операцію на  $l$ -му шарі проектування;  $L$  — кількість шарів, що виділені в технологічному процесі;  $l$  — номер шару;  $t_1$  — час моделювання  $i$ -ої технологічної операції;  $z_i^l(t)$  — вхідний вектор характеристик технологічної операції;  $u_i^l(t)$  — вектор дій, що управляють станом технологічної операції;  $y_i^l(t)$  — вихідний вектор характеристик технологічної операції складання;  $H_k^l$  — обмеження на загальну кількість ресурсів, наявних в системі складання.

$$\left. \begin{aligned} x_i^l(t) &= (z_i^l(t), u_i^l(t)), \\ z_i^l &= \phi_i^l(y_0^l, y_1^l, \dots, y_N^l), \\ y_i^l &= f_i(y_i^l, x_i^l), t \in [0, T_i]; \\ y_i^l(t+1) &= f_i(y_i^l(t), x_i^l(t+1)), t = 0, 1, \dots; \\ y_i^l &= f_i(x_i^l), \\ H_k^l(F_1^l, \dots, F_N^l) &\geq b_k^l; \quad k = 1, \dots, M. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Опис математичних моделей такого типу відноситься до моделей Марківського типу. Для них характерна наявність чіткого зв'язку між попередніми і наступними діями [8–10].

З урахуванням цього виконаємо формальне представлення взаємодій в системі зборки машинобудівних виробів. Ключовою в цьому плані є організаційна структура системи складання, структуру якої можна визначити за допомогою виразу (2).

$$\left[ x_7(x_4 \{d, v, m\}) \otimes_{\min(A, N, T, C)}^{\{x_5, x_6\}} \{x_1, x_2, x_3\} \Rightarrow x_7(x_4 \{B\}), \quad (2)$$

де  $\{x_1, x_2, x_3\}$  — елементи системи складання: робоче місце складальника, система транспортування виробу, система складування виробу;  $x_5$  — технологічна операція складання (ТОС);  $x_6$  — технологічний процес складання (ТПС);  $x_7(\dots)$  — партія виробів (ПВ);  $x_4 \{\dots\}$  — стани партії виробів (СПВ);  $\{d, v, m\}$  — деталі, вузли та допоміжні матеріали, з яких складається виріб ( $d, v, m$ ), виріб ( $B$ );  $\min(A, N, T, C)$  — критерії формування організаційно-технічних та технологічних рішень, що застосовуються в процесі функціонування складальної ділянки: робота з'єднання ( $A$ ), потужність енергетичної установки обладнання, яка витрачена на процеси зборки та транспортування ( $N$ ), час складання і транспортування вузла ( $T$ ), приведені витрати на створення і підтримку виробничої системи в працездатному стані ( $C$ );  $\otimes$  — позначення взаємодії елементів складальної системи;  $\Rightarrow$  — позначення перетворення елементів складального процесу.

Розкриваючи вираз (2) щодо моделі зборки шляхом опису характеристик, які мають характер динамічної зміни, можна констатувати, що характер цих змін добре узгоджується з математичним імітаційним моделюванням (МІМ). МІМ дозволяє розкрити функції проектування через функції опису станів, які в процесі проектування утворюють послідовність, і функції переходу від одного стану до іншого.

У загальному випадку, динамічна модель оцінює завдання проектування в головному, а саме, динамічна модель дозволяє визначити основну властивість, що характеризує процес складання. Крім того, через цю властивість виражається поняття «зміни», тобто, може бути виражена зміна будь-якого об'єкту процесу складання [11].

Для забезпечення функціонування семантичної мережі (рис. 3) необхідно, щоб відношення  $R_i$  змінювало своє значення залежно від виду даного факту  $F_j$ . Кожен факт, у свою чергу, має попередню історію (набір фактів, що передують його появі) і формує умови для появи нових фактів в мережі. Отже, він не може мати певного значення, а описує лише умови формування результату (числового значення параметра) при певних значеннях вхідних даних (агента, способу, умов, мети і так далі).

Таким чином, автори даної роботи прийшли до необхідності використання в даній семантичній мережі такого поняття, як десигнат — унікальне внутрішньо системне ім'я, яке ставиться у відповідність деякому об'єкту предметної області, якщо про нього в даний момент немає повної інформації. Десигнат відбиває найбільш значимий сенс об'єкту, зокрема просто факт його існування.

Таким чином, у момент першої згадки про об'єкт у базі даних активізується його десигнат, яким можна маніпулювати, не чекаючи повної інформації про об'єкт. Тоді семантичну мережу (рис. 3) можна представити у вигляді набору десигнат, що описують екстенціональні і інтенціональні знання про процес формування складального виробу.

Переміщення процесу формування фактів по семантичній мережі (рис. 2) здійснюється на основі початкових запитів про стан вузла і деталей, які в нього встановлюються. «Запит» є набором фактів (ситуацію), при описі яких допускається використання змінних в позиціях значень атрибутів і імен стосунків. Запит можна представити у вигляді графа, в якому вершини, що відповідають деяким змінним, не визначені. Пошук відповіді на запит полягає в рішенні задачі ізоморфного викладення графа запиту (чи його підграфа) в семантичну мережу [12, 13].

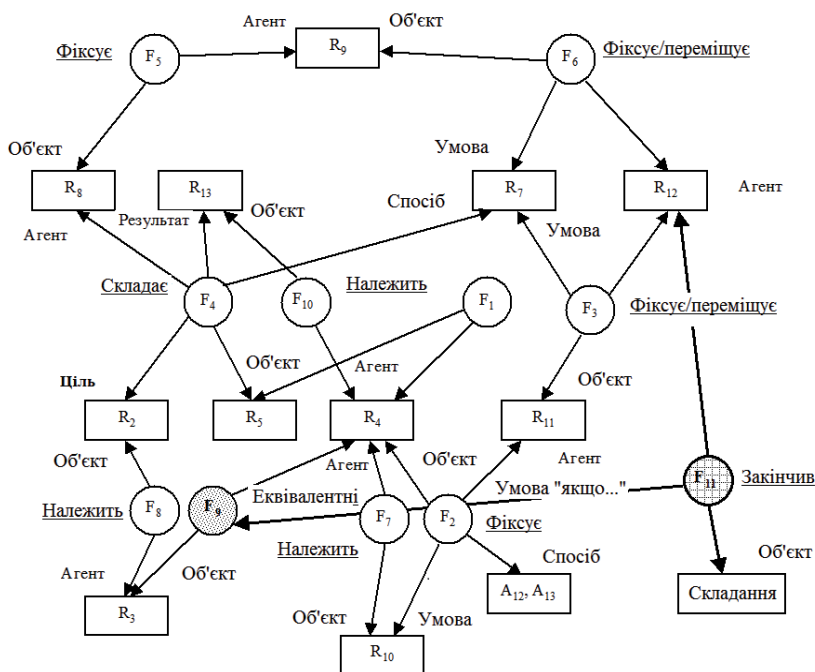


Рис. 3. Семантична мережа зв'язку функціональних характеристик системи зборки машинобудівних виробів із її станами

Для формування графів запитів використано поняття «Фрейма» – формалізований опис якого-небудь об'єкту або явища, що має ту властивість, що видалення з цього опису будь-якої його частини призводить до втрати властивостей, що характеризують об'єкт опису. Найчастіше фрейм визначають як структуру даних для представлення стереотипних ситуацій.

Таким чином, фрейм – семантичний блок або модуль моделі представлення знань. Модель представлення знань будується у вигляді мережі фреймів, які складаються з двох частин: набору фреймів, що утворюють бібліотеку внутрішнього представлення знань і механізму їх перетворення і зв'язування.

Важливою особливістю фреймів є наявність в інформаційних і процедурних елементах незаповнених частин – слотів (порожнеч, щілин) еквівалентних десигнатам в семантичних мережах. Слоти можуть заповнюватися в процесі активізації фрейма відповідно до певних умов. Це надає властивість адаптивності моделі представлення знань, як на модульному рівні, так і на рівні усєї мережі фреймів.

Таким чином, фрейми є декларативно-процедурними структурами, тобто, сукупність описів і, в деяких випадках, пов'язаних з ними процедур, доступ до яких виконується прямо з фрейма (3).

$$\{n, (v_1, g_1, p_1), (v_2, g_2, p_2), \dots, (v_k, g_k, p_k)\}, \quad (3)$$

де  $n$  – ім'я фрейма;  $v_j$  – ім'я слота;  $g_i$  – значення слота;  $p_j$  – процедура.

Досягнення функціонально активної системи зборки є цільовою поточною функцією системи моделювання роботи технологічного комплексу.

## 5. Обговорення результатів моделювання організаційно-технологічної і технічної структур зборки

Викладені дослідження дозволяють для машинобудівної галузі в подальшому розробити узагальнену методику формування структури і параметрів технологічних процесів непотокової дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів на рівні переходу, операції і маршруту зборки.

В подальшому розвитку питання моделювання процесу зборки машинобудівних виробів на всіх її рівнях дасть можливість машинобудівним підприємствам значно підвищити даний процес. Зокрема вже зараз дану методику можна використовувати на таких підприємствах як ДП ХМЗ «ФЕД» та Харківське державне авіаційне виробниче підприємство для підвищення ефективності процесу зборки, виходячи з аналізу продукції, яку вони випускають.

## 6. Висновки

Проведені дослідженнями щодо проектування технологічних процесів зборки на основі імітаційного тривимірного моделювання дали можливість в подальшому сформульовані область дослідження та обмеження на розробку моделей функціонування системи зборки машинобудівних виробів, що дасть можливість мінімізувати час на створення технологічних процесів зборки машинобудівних виробів. Сформульовані основні положення методики оптимізації організаційно-технологічної структури зборки машинобудівних виробів на основі імітаційного 3D-моделювання, а також принципи функціонування системи зборки машинобудівних виробів, що в подальшому дозволить формалізувати принципи її дії та підвищити ефективність самого процесу зборки на всіх його етапах.

### Література

1. Бысов, С. А. Выявление и анализ организационно-технологических факторов, влияющих на результативность технологических систем, организованных на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов [Текст] / С. А. Бысов, Е. Н. Малышев // Наука и образование. – Март 2012. – № 3. – С. 1–13.
2. Завгородня, Т. П. Моделювання процесів праці на рівні робочих місць [Текст] / Т. П. Завгородня, А. Ю. Мазарчук // Вісник технологічного університету Поділля. – 1998. – № 2. – С. 76–80.
3. Аналитический бюллетень. Машиностроение: тенденции и прогнозы [Текст] / Центр экономических исследований // Итоги полугодия 2011 года. – Москва: РИА-Аналитика, 2011. – № 3. – 47 с.
4. Соломенцева, Ю. М. Машиностроение [Текст]. Т. III-5. Технология сборки в машиностроении: энциклопедия / Ю. М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 2001. – 640 с.
5. Юровский, С. А. Методические рекомендации по расчету на ЭВМ норм времени на базе микроэлементных нормативов [Текст] / под ред. С. А. Юровского, В. Х. Педро // Нормативно-производственное издание. – М.: Экономика, 1989. – 54 с.



6. Воронин, А. В. Механизация и автоматизация сборки в машиностроении [Текст] / А. В. Воронин, А. И. Гречухин, А. С. Калашников и др. — М.: Машиностроение, 1985. — 272 с.
7. Миллер, Э. Э. Техническое нормирование труда в машиностроении [Текст]: уч. пос. / Э. Э. Миллер. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1972. — 248 с.
8. Михайлов, А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем [Текст] / А. Н. Михайлов. — Донецк: ДонНТУ, 2002. — 379 с.
9. Kugelman, D. Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern [Text] / Doris Kugelman. — München: Herbert Utz Verlag GmbH, 1999. — 158 p.
10. Junker, G. Schraubenverbindungen. Berechnung und Gestaltung [Text] / G. Junker, H. Kothe. — Berlin: Veb Verlag Technik, 1968. — 451 p.
11. Shreiner, D. OpenGL programming guide: the official guide to learning OpenGL, versions 3.0 and 3.1 [Text] / Dave Shreiner; Bill the Khronos OpenGL ARB Working Group. — Ed. 7. — Pearson Education, Inc., 2010. — 1015 p.
12. Walsh, P. Advanced 3D game programming with DirectX 10.0 [Text] / P. Walsh. — Wordware Publishing, Inc., 2008. — 529 p.
13. Timofeev, Yu. Generalized Model for Development of Manufacturing Process Structures for Flexible Manufacturing [Text] / Yuri Timofeev, Aleksand Shelkovi // Proceedings of the 2nd International Conference «Research and Education in Natural Sciences», 17–19 Marc 2004, Miskolc, Hungary. — P. 161–166.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СТРУКТУР СБОРКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Сборка сложных машиностроительных изделий в условиях мелкосерийного производства характеризуется низким уровнем

достоверности технологических решений. Это связано с невозможностью поиска оптимальных вариантов технологических процессов для заданных организационно-технических условий производства из-за сложности как объекта сборки, так и средств, которые при этом применяются. Одним из путей преодоления этих проблем является имитационное трехмерное моделирование производственной среды.

**Ключевые слова:** сборка, моделирование, технологическая операция, сборщик, семантическая сеть.

*Скоркин Антон Олегович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорезающего оборудования и транспортных систем, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, e-mail: Andrameda862@mail.ru.*

*Кондратюк Олег Леонідович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорезающего оборудования и транспортных систем, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, e-mail: kondr20071@yandex.ua.*

*Скоркин Антон Олегович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорезающего оборудования и транспортных систем, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.*

*Кондратюк Олег Леонидович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорезающего оборудования и транспортных систем, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.*

*Skorkin Anton, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, Ukraine, e-mail: Andrameda862@mail.ru.*

*Kondratuk Oleg, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kondr20071@yandex.ua*

УДК 693.6.002.5

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.41395

**Попов С. В.,  
Васильев А. В.,  
Ледник Р. А.**

## ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ КОНІЧНОГО ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ

Стаття присвячена дослідженню тертя ковзання, визначенню розмірів виконавчих поверхонь після прикладеного навантаження. Виділено спеціальну конструкцію конічного підшипника ковзання, що працює у складі мобільного розчинозмішувача. Наведено розрахунки величини зношування конічного підшипника. Теоретичні дослідження засвідчують, що тиск на поверхні підшипника розподіляється за гіперболічною залежністю. Поверхневі шари пари тертя потребують використання зносостійких покриттів.

**Ключові слова:** підшипник ковзання, цапфа, вставка, зношування, величина зношування, швидкість зношування, час зношування.

### 1. Вступ

Все більшого значення з початком розвитку техніки, набуває питання підвищення довговічності й надійності машин. Багато вчених і спеціалістів промислово розвинених країн світу займаються вивченням причин руйнування деталей в експлуатації та розробленні методів підвищення надійності та довговічності машин.

Зменшення матеріало- та енергомісткості об'єктів виробництва і промислового виробництва в цілому, підвищення рівня автоматизації промисловості, необхідність роботи механізмів і приладів в різних газових

і рідинних середовищах за низьких і високих температур є важливим.

У загальній проблемі надійності, точності і довговічності машин, механізмів і приладів основне місце належить питанням тертя, змащувальній дії, зношуванню поверхонь деталей і робочих органів, які між собою утворюють пари тертя.

Необхідність дослідження зносостійкості деталей машин витікає і з економічних витрат. Однією з найголовніших причин відмов внаслідок зношування є власне зношування рухомих спряжень механізмів та деталей.