

Запропонована конструктивно-технологічна модель кесонної конструкції із полімерних композиційних матеріалів в модульному складальному пристосуванні. Така модель описує ефективну технологію складання конструкції, а також дозволяє виконувати аналіз конструкції по всіх необхідних перерізах та складових частинах, без руйнування загальної структури моделі. Використання такої моделі можливе в інтегрованих автоматизованих виробничих системах

Ключові слова: конструктивно-технологічна модель, композиційна конструкція, модульне складальне пристосування, системний аналіз

Предложена конструктивно-технологическая модель кесонной конструкции из полимерных композиционных материалов в модульном сборочном приспособлении. Такая модель описывает эффективную технологию сборки конструкции, а также позволяет выполнять анализ конструкции по всем необходимым сечениям и составным частям, без разрушения общей структуры модели. Использование такой модели возможно в интегрированных автоматизированных производственных системах

Ключевые слова: конструктивно-технологическая модель, композиционная конструкция, модульное сборочное приспособление, системный анализ

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

В. А. Пасічник

Доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
E-mail: pasichnyk@ukr.net

О. О. Хмуренко
Аспірант*

E-mail: hmu_jr@ukr.net

*Кафедра інтегрованих

технологій машинобудування

Механіко-машинобудівний інститут

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

На сьогоднішній день полімерні композиційні матеріали (ПКМ) є одними із найперспективніших у машинобудівній галузі. Окрім порівняно високих параметрів міцності, ПКМ характеризуються відносно малою питомою вагою, яка досягається полімеризованими зв'язуючими матеріалами та наповнювачами. Така складна, анізотропна структура має ряд недоліків, які викликають необхідність вирішення додаткових задач, які ускладнюють процедури моделювання таких конструкцій із зазначеними властивостями, а також, моделювання технологічних процесів (ТП) виготовлення та складання.

Для вирішення вищезазначеної задачі актуальним залишається питання формування цілісної системи моделі конструкції, що залежить від ряду технологічних параметрів. Це повинно виконуватись після визначення методики формування специфічних вимог, при моделюванні складових частин (СЧ) та конструкцій із ПКМ, яка дає змогу врахувати неоднорідність структури матеріалу та конструкції в цілому [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Системний підхід аналізу та моделювання на сьогодні є простим і ефективним інструментом для формалізації складних об'єктів складання та представлення їх конструктивно-технологічних параметрів у вигляді

систем об'єктів і зв'язків між ними. Такий підхід запропоновано не тільки при конструктивно-технологічному моделюванні конструкцій, а й для об'єктів складання, які розглядаються в розрізі питання забезпечення точності геометричних параметрів, з використанням розмірного аналізу (РА) та розмірних ланцюгів (РЛ).

В роботі [2] розглянуті питання розширення області застосування РА, шляхом представлення його зв'язків із життєвим циклом виробу.

При цьому, мають місце ускладнення при:

- розробці геометричних та структурних моделей об'єктів;
- автоматизації побудованих розмірних схем, призначенні технологічних розмірних структур, допусків, припусків та їх оптимізації;
- синтезі розроблених методик РА та сучасних систем автоматизованого проектування (САПР);
- розробці технології РА.

Крім того, значним комплексом не вирішених задач є забезпечення раціонального використання інформації, яка отримується в результаті РА при розрахунку точності складальних об'єктів.

Також розглядається питання синтезу комплексу методів рішень задач інженерного аналізу, при технологічному проектуванні в рамках САПР та САЕ-систем на основі РА ТП та конструкцій. Розроблені в даний час машинобудівні САЕ-системи включають програми для вирішення наступних завдань: моделювання полів фізичних величин, в тому числі аналіз міцності, який

найчастіше виконується із застосуванням методу кінцевих елементів (МКЕ); розрахунок станів модельованих об'єктів та перехідних процесів в них засобами макро-рівня; імітаційне моделювання складних виробничих систем на основі моделей масового обслуговування, наприклад, мереж Петрі [3]. Основні складові частини САЕ-систем моделювання із застосуванням МКЕ – це бібліотеки кінцевих елементів, вихідні дані, препроцесор, розрахункова частина, постпроцесор, який представляє результати в графічному вигляді. Як приклад об'єднання декількох моделей в рамках єдиної системи може бути запропонована САЕ-система інженерного аналізу, моделювання та оптимізації проектних рішень, пов'язана з вирішенням завдань в рамках питань технології машинобудування і базується на комплексі моделей і програм розмірного аналізу конструкцій і технологічних процесів.

В роботі [4] представлена методика побудови РЛ при аналізі точності виробу, використовуючи системний підхід та теорію графів. Представлення виробу у вигляді графа модулів поверхонь деталей з вказаними модулями зв'язків значним чином спрощує процедури виявлення та побудови РЛ для порівняно не складних конструкцій. Для об'єктів складання із великою кількістю СЧ та підскладань, вищевказана процедура й досі залишається складною та трудомісткою.

Розглядаючи питання автоматизованого технологічного моделювання об'єктів складання, з використанням системного підходу [5–8], необхідно розробити алгоритми технологічного поділу виробів на СЧ та алгоритми формування порядку їх з'єднання, що дозволить формалізувати процедури синтезу технології складання та створити методичні основи автоматизації розглянутих процесів. Також необхідно сформулювати структури технологічних операцій, шляхом упорядкування множин переходів. Даний підхід передбачає отримання первинних варіантів ТП складання об'єктів, з необхідністю подальшого доопрацювання.

Детально зв'язки між об'єктами системи розглянуто в роботі [9], та запропоновано їх представлення за допомогою гіперграфів. Такий підхід дозволяє з достатньою точністю описати характер та параметри зв'язків між об'єктами моделі складних виробів, проте є складним та трудомістким для розрахунків параметрів точності системи в цілому.

В роботі [10] запропоновано використання систем бінарних відношень обмежень рухливості об'єктів складання. Така методологія математичного опису взаємодії елементів СЧ показала необхідність визначення відношень для кожної пари деталей, щодо умов початкового положення, можливого переміщення з фіксацією умови забезпечення цілісності.

В роботах [11, 12] розглянуто питання синтезу та підвищення ефективності розробки технологій механоскладального виробництва шляхом вияву і формалізації, на основі семантичного підходу, інформаційних зв'язків між даними про СЧ та заготовки, представлені у вигляді геометричних моделей та таблиць кодування. Для скорочення часу та підвищення ефективності проектування технологічних процесів повинна мати місце паралельність із процесами технологічного моделювання.

3. Мета та задачі дослідження

Таким чином, поряд із достатньо ефективними методиками системного аналізу для складаних конструкцій виробів, залишаються актуальними питання деталізації систем, в частині опису об'єктів та зв'язків, в конструктивно-технологічних моделях конструкцій (кесонних) які складаються в більшій мірі з СЧ із ПКМ.

Метою даної роботи є розробка ефективної, деталізованої конструктивно-технологічної моделі конструкції, що складається з СЧ із ПКМ.

Для досягнення вищезазначеної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати складальну конструкцію в цілому та по окремим СЧ у відповідних перерізах;
- побудови систему, в якій СЧ конструкції виступатимуть в якості елементів;
- проаналізувати ефективність моделі та при необхідності, розробити заходи по її підвищенню.

4. Моделювання кесонної конструкції із композиційних матеріалів

Для аналізу та подальшого конструктивно-технологічного моделювання, з урахуванням результатів роботи [1], прийнята кесонна конструкція (КК) агрегату літака із ПКМ, та окремими СЧ із металевих матеріалів (ММ) (рис. 1).



Рис. 1. Приклад кесонної конструкції із композиційних та металевих матеріалів

З точки зору системного підходу [6, 7], якщо через $A=\{a_1...a_n\}$ позначити множину деталей СЧ конструкції, то підмножина декартового добутку $R \subset A \times A = \{(a_i, a_j) / a_i \in A, a_j \in A\}$ міститиме усі можливі послідовності утворення з'єднань між СЧ КК. При цьому, розглядаючи КК із ПКМ по вертикальному перерізу (рис. 1), її систему можна представити за допомогою об'єктів другого рівня декомпозиції – окремих СЧ конструкції: верхня панель – ВП, яка складається з $p_{ВП}$ моношарів – мш; нервюра кесону – НК, яка складається із стінки – a_1 , верхнього поясу – a_2 та нижнього поясу – a_3 ; нижня панель – НП, яка складається з $p_{НП}$ моношарів; компенсатори – КМП в кількості $p_{ВП-НК}$ між (ВП-НК) та $p_{НК-НП}$ між (НК-НП). Зовнішні зв'язки між цими об'єктами – зазори – З між (ВП-НК) та (НК-НП), які виступають «фіктивними» об'єктами (рис. 2).

Особливість запропонованої моделі полягає в тому, що елементи типу компенсатор, як правило, входять у другий рівень декомпозиції КК, проте, міра застосуван-

ня таких елементів буде залежати від міри «фіктивності» об'єктів типу зазор. Такий підхід дозволить врахувати фактичні параметри кожної КК, що складається та підібрати мінімально витратні елементи для компенсації сумарних похибок при складанні.

Також в запропонованій моделі, при необхідності, можливо представити СЧ із ПКМ (панелі) у вигляді окремих підсистем, об'єктами третього рівня декомпозиції в яких будуть виступати моношари матеріалу – МШ, в кількості n , а внутрішніми зв'язками, – зв'язуючий матезіал між ними – ЗВ (рис. 3).

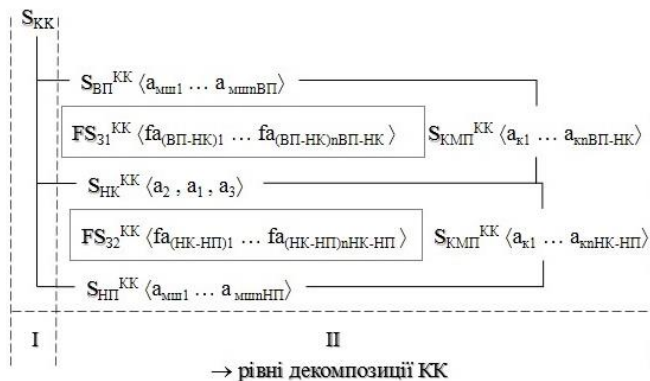


Рис. 2. Формалізована модель конструкції із композиційних матеріалів по вертикальному перерізу: S – елемент конструкції, нижній індекс якого є його позначенням, а верхній індекс вказує на складову частину, до складу якої входить даний елемент; приставка F або f свідчить про «фіктивність» об'єкту

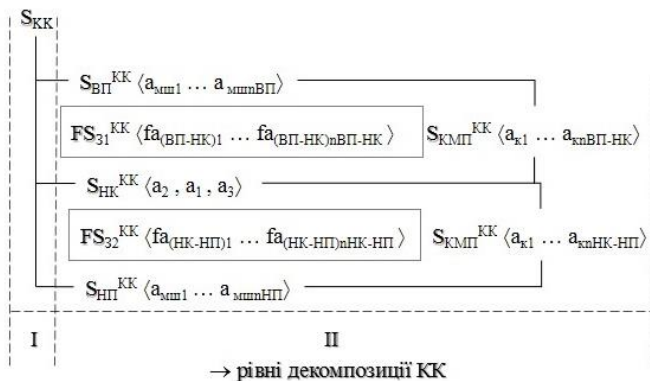


Рис. 3. Фрагмент формалізованої моделі конструкції – верхня панель із композиційних матеріалів по вертикальному перерізу

Розглядаючи технологічну складову, а саме вплив на параметри конструкції як системи, наявність елементів складальних пристроїв (СП) (рис. 4), в якій, окрім об'єктів СЧ конструкції, представлені СЧ СП: m_B та m_H базових елементів – БЕВ та БЕН для верхньої та нижньої панелі відповідно; безпосередньо СП; фіксатори – ФКС в кількості $m_{ФВ}$ та $m_{ФН}$ для БЕВ та БЕН відповідно, можна зробити висновок, про недоцільність використання «класичних» конструкцій СП для КК із ПКМ. Особливо звернувши увагу на властивості високої жорсткості та недеформованості, як БЕ СП, так і СЧ із ПКМ, які унеможливають компенсацію місцевих зазорів, що виникають від сумарних похибок поверхонь елементів що ув'язуються.

З рис. 2–4 видно, що механічні (болтові, заклепкові та інші) з'єднання між деталями конструкції не входять до системи конструкції в цілому. Це пояснюється тим, що кожний кріпильний елемент (КЕ) є незалежним об'єктом загальної системи та крім того, може впливати на величину зазорів між деталями (тільки місцево).

Традиційно прийнято визначати сітку розміщення КЕ з урахуванням умов міцності вузла, проте в деяких випадках координати КЕ можуть визначатися за результатами вимірів максимальних зазорів між деталями, а сам КЕ виступатиме коригуючим фактором забезпечення якості складання (рис. 5).

Таким чином, питання розміщення КЕ в конструкції потребує урахування не тільки міцнісних характеристик, а й мінімізації місцевих зазорів між деталями. При цьому, граничні значення кроків розташування КЕ (мінімальний та максимальний) будуть визначатися із умов міцності, в залежності від навантаження на вузол та діаметрів КЕ.

Для реалізації вищевказаного необхідне використання відповідного спеціалізованого автоматизованого обладнання з ЧПК та СП модульної конструкції, за алгоритмом, зображеним на рис. 6.

Додаткові операції (п. 5.1–5.3) не значним чином підвищать витрати часу, проте забезпечать менші величини зазорів між сполучених поверхонь СЧ та в деяких випадках, меншу кількість КЕ, а як наслідок, меншу масу конструкції в цілому.

Одним із варіантів вирішення проблеми недоцільності використання «класичних» СП для КК із ПКМ, як вже зазначалося вище, є використання модульних, не жорстких базових елементів СП, які матимуть регульовані частини для фіксації фактичного положення СЧ із ПКМ (в межах допустимих значень відхилень) (рис. 7).

На сучасних авіабудівних підприємствах успішно апробована технологія складання АК із використанням таких установочних модулів для панелей із ПКМ, які складаються із фермових каркасів та вакуумних пневматичних систем.

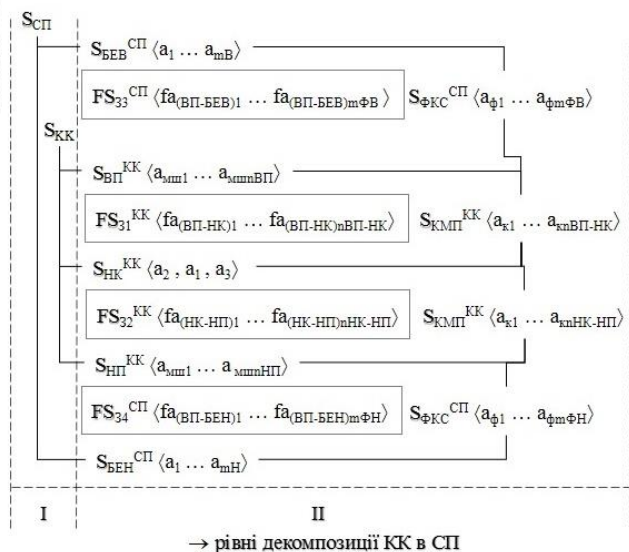


Рис. 4. Комбінована формалізована модель конструкції із композиційних матеріалів в складальному пристрої по вертикальному перерізу

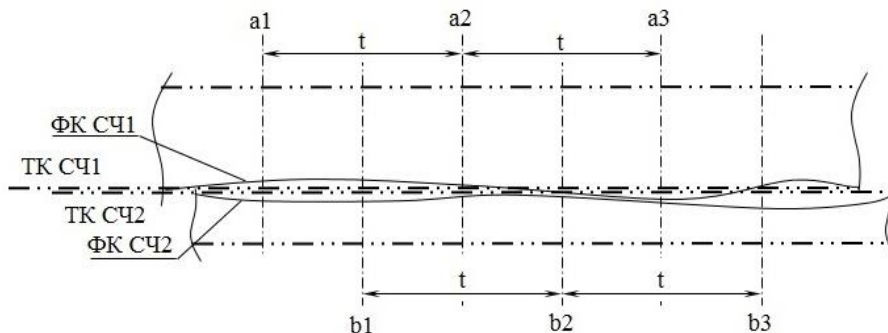


Рис. 5. Можливе розташування кріпильних елементів в зонах із максимальним фактичним зазором: ТК – теоретичний контур; ФК – фактичний контур; а(1–3) – осі з умов міцності; b(1–3) – осі з умов компенсації максимальних фактичних зазорів; t – крок між кріпильними елементами

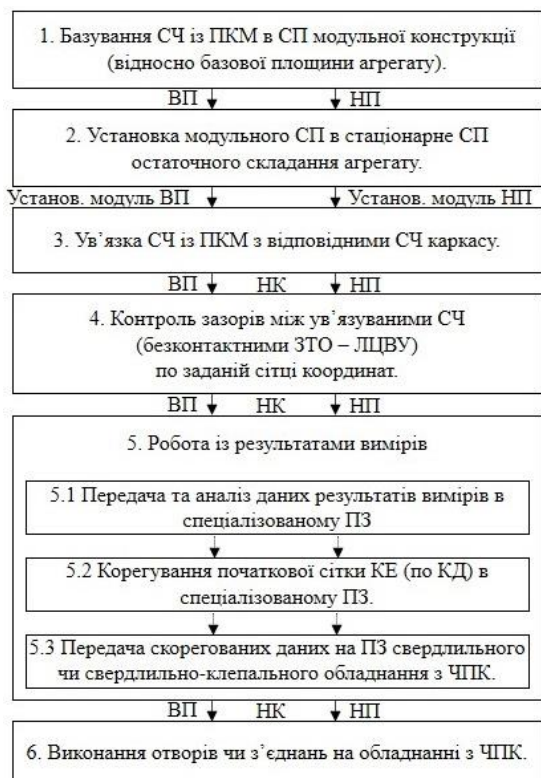


Рис. 6. Алгоритм забезпечення сітки розташування кріпильних елементів, з урахуванням вимірів місцевих зазорів між складовими частинами що ув'язуються

5. Модель кесонної конструкції із композиційних матеріалів

Для вищезазначених модульних СП комбінована формалізована модель КК із ПКМ в СП по вертикальному перерізу (рис. 4) перетворюється наступним чином (рис. 8).

При цьому:

- на першому рівні декомпозиції: КК в СП;
- на другому рівні декомпозиції: ВП в СП, НК в СП та НП в СП, при чому, тут під СП розуміються окремі модулі СП_{ВП}, СП_{НК} та СП_{НП} відповідно, в яких підкладаються вищевказані СЧ, після чого складаються разом (базуються та ув'язуються не СЧ КК, а СЧ СП);



a



б



в

Рис. 7. Складальний пристрій модульної конструкції для кесонних конструкцій із композиційних матеріалів: а – остаточного складання; б – установочний модуль; в – вакуумні пневматичні системи фіксації

– на третьому рівні декомпозиції окремо розглядаються процеси складання СЧ (базування, ув'язка та компенсація зазорів між СЧ КК та СП, використовуючи фіксатори).

Вищевказана модель є універсальною та незалежно структурованою. Це дає змогу змінювати кількість та системне наповнення кожного з об'єктів, без руйнування фінальної структури. Стає можливим проаналізувати КК із ПКМ по всім необхідним перерізам, а також із врахуванням всіх необхідних СЧ (в т. ч. лонжеронів, фітингів, стійок, кронштейнів, тощо).

З урахуванням вищевказаного, запропонована модель дає можливість розробити одразу формалізовану структуру технологічного процесу (ТП) складання КК із ПКМ в модульному СП (рис. 9).

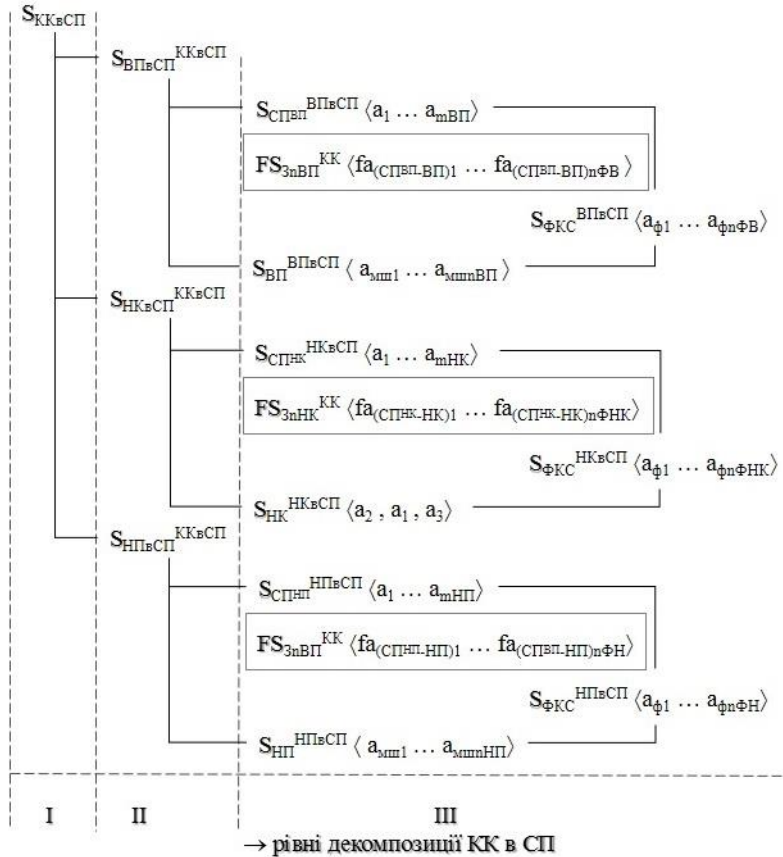


Рис. 8. Комбінована формалізована модель конструкції із композиційних матеріалів в модульному складальному пристрої по вертикальному перерізу

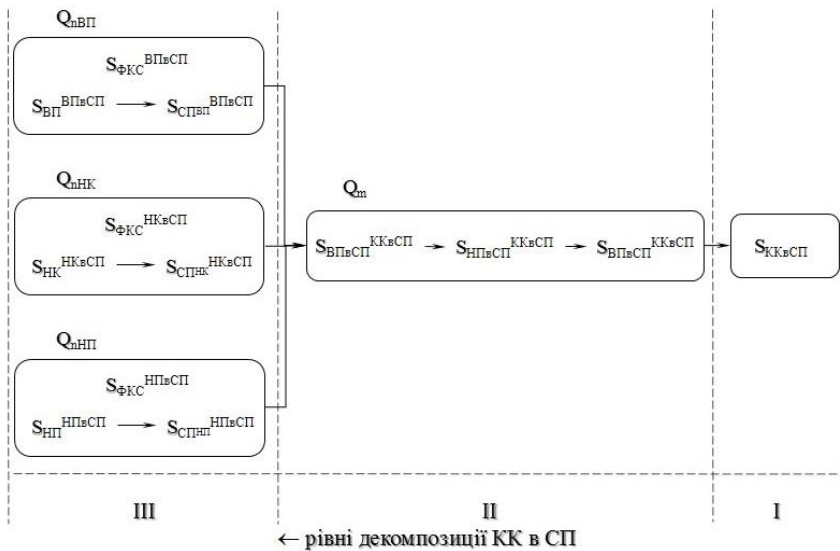


Рис. 9. Формалізована структура технології складання конструкції із композиційних матеріалів в модульному складальному пристрої, де $Q_n = \{q_1, \dots, q_i\}$ – множина фіксованих станів окремих складових частин і конструкції в цілому

6. Обговорення результатів конструктивно-технологічного моделювання кесонних конструкцій із композиційних матеріалів

В запропонованій конструктивно-технологічній моделі технологічні операції складання КК із ПКМ на кожному рівні декомпозиції виконуються пара-

лельно або паралельно-послідовно, що в свою чергу скорочує загальний цикл виробництва КК. Така модель ТП дозволяє вносити зміни в перелік СЧ КК не руйнуючи загальну структуру, а також без втрат параметрів якості складання КК із ПКМ.

Вищезазначена модель зможе дати змогу розробляти, аналізувати та корегувати конструктивно-технологічні дані стосовно об'єкта складання в автоматичному режимі, із застосуванням САПР та САЕ-систем, що знижує трудомісткість, а як наслідок собівартість конструктивно-технологічних проєктувальних робіт.

7. Висновки

На сьогоднішній день, поряд з ефективними методами системного аналізу при моделюванні складаних конструкцій та технологій їх складання, все ж залишаються актуальними питання деталізації опису об'єктів та зв'язків в системах – конструкцій із ПКМ, з урахуванням відповідних специфічних вимог. Аналіз сучасних конструкцій із ПКМ вказує на недоцільність використання «класичних» СП (із жорсткими БЕ – рубильниками та

ложементами), а як наслідок, – така технологія складання не є ефективною.

Запропонована комбінована формалізована модель КК із ПКМ в модульному СП, яка описує технологію складання вищевказаної конструкції та дозволяє аналізувати конструкцію по всіх необхідних перерізах та СЧ без руйнування загальної структури моделі. Суть цієї моделі полягає в представленні КК із ПКМ у ви-

гляді системи, або комплексу систем, в яких об'єктами виступають СЧ КК і СП, а зв'язками між ними є відповідні теоретичні та фактичні зазори, які також можна представити фіктивними об'єктами.

Попередній аналіз запропонованої моделі показав її ефективність та універсальність. Використання моделі можливе у інтегрованих автоматизованих виробничих системах.

Література

1. Пасічник, В. А. Методика формування специфічних вимог при моделюванні кесонних конструкцій із полімерних композиційних матеріалів [Текст] / В. А. Пасічник, О. О. Хмуренко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2015. – № 74. – С. 64–66.
2. Масагин, В. Б. Расширение областей теоретического и практического применения размерного анализа в машиностроении [Электронный ресурс]: мат. конф. SWorld, 17-26 December 2013 / В. Б. Масагин // Perspective innovations in science, education, production and transport '2013. Технические науки – Машиноведение и машиностроение. – 2013. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-413/machines-and-mechanical-engineering-413/20796-413-0636>
3. Масагин, В. Б. Применение сетей Петри при моделировании схемы сборки [Текст] / В. Б. Масагин, В. Г. Мартынов // Материалы VII Международной научно-технической конференции. Секция № 5. Технологии механической и физико-технической обработки. – 2012. – С. 323–327.
4. Примак, Д. Д. Методика построения размерных цепей с помощью графа модулей поверхностей [Текст] / Д. Д. Примак, И. А. Волков // Научный журнал «Вестник магистратуры». – 2014. – № 6 (33), Т. I. – С. 81–83.
5. Вислоух, С. П. Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування [Текст] / С. П. Вислоух, М. В. Філіппова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2006. – № 32. – С. 111–117.
6. Кореньков, В. М. Метод структурного синтезу та оцінки альтернатив при автоматизованому синтезі технологічних процесів складання виробів [Текст] / В. М. Кореньков, А. А. Субін // Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки». – 2008. – № 4 (47). – С. 155–160.
7. Кореньков, В. М. Модель автоматизованого синтезу маршрутного технологічного процесу складання виробів [Текст] / В. М. Кореньков // Вісник технологічного університету Поділля. – 2003. – № 4, Ч. 2. – С. 228–235.
8. Соломенцев, Ю. М. О проблемах автоматизации этапов жизненного цикла изделия [Текст] / Ю. М. Соломенцев, С. Е. Чекменев, Е. Б. Фролов, В. В. Крюков // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – № 4 (12). – С. 122–125.
9. Божко, А. Н. Моделирование механических связей изделия [Электронный ресурс] / А. Н. Божко // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». – 2011. – Режим доступа: \www/URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/182518.html>
10. Пасічник, В. А. Бінарні відношення обмежень рухливості – основа математичного опису складальних виробів [Текст] / В. А. Пасічник // Сучасні технології механо-складального виробництва. – 2014. – № 1. – С. 57–61.
11. Гонсалес-Сабатер, А. Система автоматизированного проектирования технологии инструментального производства [Текст] / А. Гонсалес-Сабатер // Машиностроитель. – 1999. – № 4. – С. 54–59.
12. Масагин, В. Б. Семантический подход к автоматизации кодирования конструкторско-технологической информации [Текст]: матер. науч.-техн. конф. / В. Б. Масагин, Н. В. Волгина // Омский регион – месторождение возможностей. – Омск: ОмГТУ, 2011. – С. 63–65.