

УДК 658.512

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-6

Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Марчук І. В., к.т.н., доц, Шабайкович В.А., д.т.н., проф.  
Луцький національний технічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДАННЯ ПРИЛАДІВ

*В роботі з позицій системного аналізу розглянуті основні питання науково-технологічних основ модульних процесів автоматичного складання приладів в приладобудуванні, які базуються на застосуванні сучасних інформаційних технологій і модульного обладнання та оснащення, забезпеченні досягнення кращих результатів у цих процесах. Особливості процесу модульного автоматичного складання різномісних приладів визначаються: матеріальними, енергетичними та інформаційними потоками, властивостями складуваних деталей та їх групуванням, способами переналадки і складання, параметрами складання, техніко-економічними показниками. В загальному перед моделюванням будь-яких об'єктів або процесів автоматичного модульного складання приладобудування слід провести пошук відомих і добре розроблених моделей з їх програмним забезпеченням, які можуть бути рекомендовані для використання. І тільки при їх відсутності або недостатній точності можна поставити задачу про розробку нової моделі, яка повинна мати переваги перед відомими.*

***Ключові слова:** процес, моделювання, автоматизація, приладобудування, складання, прилади, заходи.*

**Вступ.** Виготовлення продукції в приладобудуванні повинно бути економічним, маловитратним і конкурентоспроможним. Поставленим вимогам відповідає моделювання приладів і процесів [1, 2]. Метою роботи є підвищення ефективності процесів автоматичного складання різновидів конкурентоспроможних приладів на базі наукових основ модульних складальних процесів. Мета, можливості та шляхи забезпечення моделювання складального виробництва впливають з загальних сучасних потреб виробництва, його ефективності та рентабельності в умовах ринкової економіки.

Передумови формування модульних складальних систем витікають з сучасних тенденцій розвитку виробництва [2]. Однак, головними підходами є розробка та використання елементів високоефективних складальних технологій типу *CALS-technologies*, принцип модульності технологій та конструкцій, переналагоджуваність, адаптивність, якість та конкурентоспроможність автоматично складаних виробів, уніфікованість технологічно-конструкційних рішень. При цьому, передбачається використання технічних досягнень чисельних наук, таких як теорій множин, матриць, графів, логіки, ймовірностей, електроніки, програмного управління, механізмів і машин, тощо. Велике значення має загальна теорія точності, особливо автоматичного складання, надійності та продуктивності.

**Аналіз останніх публікацій.** В основу моделювання покладені відомі методи моделювання складних систем [3, 4, 5 6], що представляють собою значний теоретичний доробок багатьох вчених різних областей знань. Але проблематика модульних систем ще далеко не сформована, хоча потреби сучасного приладобудівного виробництва вимагають її рішення. Така система є найбільш складною як за кількістю потоків різних інгредієнтів, так і їх складності та взаємовпливу. Вона також відноситься і до великих систем, оскільки має контролювати і керувати значною кількістю об'єктів (складальне обладнання, оснащення, складуванні деталі, вузли, налагодження, супутники, накопичувачі, транспорт і т.п.). Модульна складальна система є багатофункційною, динамічною, яка має багаторівневу ієрархічну структуру, а в своєму складі має ще ряд взаємопов'язаних і доповнюваних підсистем, що в додатку до всього ще й реалізують таку властивість, як гнучкість та автоматичність.

**Постановка проблеми.** В загальному проблема моделювання складальних систем в приладобудуванні повинна вирішуватись в організаційному, конструкційному, технологічному та соціальному напрямках, в яких технологічний та конструкційний є першорядними і найбільш складними. Проблемою є формування структури складальної системи зі своїми підсистемами, що сприятиме розвитку та впровадженню в виробництво сучасної потрібної системи з інноваційними рішеннями, які передбачають суттєве підвищення показників якості технологічних процесів і складаних різних приладів. При цьому основними цілями завданнями можна вважати: визначення пріоритетних напрямків розвитку процесів, проведення аналізу

© Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Марчук І. В., к.т.н., доц, Шабайкович В.А., д.т.н., проф.

науково-технічної бази моделювання та розроблення пропозицій щодо її удосконалення для приведення у відповідність її до можливостей та вимог сучасного виробництва, розробка методики побудови таких моделей та оцінка їх ефективності, розроблення рекомендацій щодо черговості проведення робіт з врахуванням вимог ринку до конкурентоспроможності виробів, формування складальної системи з підсистемами модульного складання різних приладів з визначенням їх параметрів, удосконалення механізму направленої формування показників якості процесів і приладів, науковий супровід розробки та реалізації модульних складальних систем і підсистем.

**Структуроване викладення матеріалу.** Одним з найефективніших методів дослідження процесів модульного автоматичного складання є програмне моделювання на комп'ютері, що дозволяє найбільш швидко та адекватно оцінити якісні та кількісні закономірності функціонування складальної системи, встановити сукупність зв'язків і обмежень, вирішити оптимальні границі переналагодження складального обладнання та оснащення. Моделюванням можна вважати аналіз функціонування модульної складальної системи, що є необхідним для прийняття технічно та економічно обґрунтованих конструкційно-технологічних рішень. Завданням моделювання є створення програмної моделі, що складається з окремих модулів, траєкторій переміщення деталей під час модульного складання, яка представляється функцією мети, системою описаних рівнянь, рядом прийнятих обмежень, що відтворюють зміну просторового положення різнотипних деталей при суміщенні визначальних векторів деталей по оптимальній траєкторії.

Для досягнення оптимальних техніко-економічних показників функціонування системи автоматичного складання приладів необхідне проведення моделювання процесу з послідовним визначенням структури та одержання оптимальних параметрів. Суть такого моделювання полягає у використанні блочних програмних модулів, які алгоритмічно описують зміну положення різних деталей під час їх автоматичного складання та переналагодження, одержання достовірних характеристик, що задовольняють вибраному критерію оцінки ефективності цілого процесу.

Найбільш розповсюдженим програмним забезпеченням, що дозволяє досить просто виконати ці операції є SolidWorks [4, 5, 6]. В цьому пакеті ПЗ можна побудувати розмірну 3D модель приладу, дослідити його технічні характеристики, а також змодельовати роботу рухомих частин. Другий етап – виготовлення макету. На даний момент найбільш дешевим та найменш працездатним способом такого виготовлення є 3D друк, що дозволяє за відносно короткий час отримати досить якісну модель приладу або його частини із точністю приблизно 0,2 мм.

Моделювання управління автоматичних складальних процесів може виконуватись різними методами [5, 6]. В моделі складальної системи у різних мережах процеси описуються деякою множиною подій та умов, а також причинно-наслідковими зв'язками. Послідовність виконання окремих подій управляється станом системи, які задаються множиною умов. Виконання цих умов забезпечує можливість поставання заданої події, після чого відкривається можливість виконання інших умов, що знаходяться в причинно наслідковому зв'язку. Умовам в мережах відповідають позиції, а подіям переходи, спрацювання яких відображає послідовність подій. Виконання заданої умови позначається позначкою у відповідній позиції.

Моделювання динаміки процесу автоматичного складання деталей пов'язане з проблемою точності технологічного обладнання та оснащення, особливо в умовах його серійного виготовлення. Любе дослідження в першу чергу передбачає побудову відповідної математичної моделі, яка однозначно визначається певними параметрами, вхідною інформацією та початковими умовами. Такі моделі можуть бути детермінованими або імовірнісними, що враховують ряд випадкових чинників. Програмне моделювання використовує алгоритмічний опис процесів переміщень виконавчих складальних механізмів, а його суть полягає в складанні сукупності рівнянь, що дозволяють однозначно визначити закон зміни вихідних параметрів виконавчих механізмів з врахуванням довільно вибраного можливого поєднання первинних похибок. Моделюючий алгоритм дозволяє одержати на виході вірогідні параметри. Такі алгоритми будуються з використанням методів статистичних досліджень або дерева логічних можливостей [7].

Точність складальних з'єднань деталей приладів при моделюванні обумовлюється цілим рядом чинників, які приводять до появи постійних і випадкових похибок. При модульному складанні сумарна похибка в значній мірі залежить від динамічних явищ процесу і є підставою

одержання високої надійності процесу. Дослідження динамічних явищ при модульному складанні базуються на фундаментальних працях по динаміці механічних систем [8, 9].

В процесах модульного автоматичного складання діють різні потоки: матеріальні, енергетичні, інформаційні, тощо, між якими є різні зв'язки. Застосовують різні методи моделювання матеріальних і інших потоків, що характеризуються деякою множиною допустимих для них станів, які і забезпечують ефективне функціонування складальної системи. Діаграми станів системи сприяють параметризації, тобто описів окремих її елементів. Відображення всіх потоків в складальній системі можна навести в концептуальних моделях, в яких відображаються функціональні елементи виробництва по перетворенню потоків. Такі моделі є необхідними при дослідженні конкретних ситуацій, а окремі функції елементів моделі подаються в термінах операцій перетворення потоків за допомогою орієнтованих графів [10] можливих зв'язків між визначеними вершинами. Моделі складаються з окремих блоків (складального обладнання, керування, процесу складання, тощо). Вважається, що концептуальна модель може бути оформленою в вигляді пояснювальної записки до технічного завдання на моделювання складальної системи.

Після опису елементів і структури модульної складальної системи, її підсистем, матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків, діаграм станів і переходів між ними, функціональних співвідношень, головних причинно-наслідкових пов'язань та алгоритмічних схем керування системою переходиться до формалізації одержаних даних і побудови імітаційних моделей на комп'ютері для проведення всіх необхідних обчислень.

**Висновки.** З представленою матеріалу по моделюванню, як одного з найбільш перспективних методів розкриття суті автоматичного складання на переналагоджуваному технологічному обладнанні та оснащенні, виявлені та оцінені сукупності взаємозв'язків і обмежень, можна зробити наступні висновки. Суть програмного моделювання полягає у використанні блочних програмних модулів, які алгоритмічно описують зміну положення різнотипних деталей під час автоматичного складання та переналагодження, одержані достовірних характеристик, що задовольняють вибраному критерію ефективності цілого процесу.

Особливості процесу модульного автоматичного складання різнотипних приладів визначаються: матеріальними, енергетичними і інформаційними потоками, властивостями складаних деталей та їх групуванням, способами переналагодження та складання, параметрами складання, техніко-економічними показниками. Програмна модель модульного складання різнотипних приладів складається з модулів визначення займаемого положення різнотипних деталей, формування оптимальних траєкторій їх переміщення під час їх автоматичного складання, обмеження форми складаних деталей та елементів технологічного обладнання та оснащення, програмної реалізації складального процесу.

Для моделювання технологічних процесів складання різнотипних приладів краще використовувати відомі графові моделі, а також моделі, закладені в системи САПР ТП складання, наприклад КОМПАС –3D. З метою підвищення точності моделі рекомендується використовувати математичні моделі багатоцільової модульної складальної системи з відомими математичними методами і алгоритмами оптимізації конструкційно-технологічних рішень.

В загальному перед моделюванням будь-яких об'єктів або процесів модульного складання слід провести пошук відомих і добре опрацьованих моделей з їх програмним забезпеченням, які можуть бути рекомендованими для використання. І лише при їх відсутності або недостатній точності можна ставити завдання про розробку нової моделі, яка безумовно повинна мати переваги перед відомими.

#### Інформаційні джерела

1. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К. : Видавнича група ВНУ, 2005. – 352с.
2. Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем [текст]: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский ин-дустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.
3. Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в anylogic7. – СПб.: ВАС, 2014. – 432 с
4. Яригін, В. А., Вислоух С.П. Про сучасні методи та засоби моделювання. КІП ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019 -355 с.
5. Гнучкі комп'ютеризовані системи проектування, моделювання, управління: Підручник / Ямпольський Л.С і інші. – Житомир: ЖДТУ, 2005. - 680 с.

6. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
7. Онопрієнко М.В. Інформаційні технології в науці: методологічний вплив і проблеми. / М.В. Онопрієнко // Science and Science of Science, № 3, 01.02.2011, – К.: Аналітик-Інформ, – 2011. – С.48-58 с.
8. Возможности – инструмент имитационного моделирования anylogic [электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.anylogic.ru/features/>
9. Производство – инструмент имитационного моделирования anylogic [электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.anylogic.ru/manufacturing/>
10. Комп'ютерна техніка та інформаційні технології (навчальний посібник) — А.В. Козловський, Ю.М. Паночішин, Вид-во «Знання», 2012. – 276 с.

**Н.С. Григорьева, д.т.н., проф., И. В. Марчук, к.т.н., доц., В.А.Шабайкович, д.т.н., проф.**  
Луцкий национальный технический университет

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ПРИБОРОВ.**

*В работе с позиций системного анализа рассмотрены основные вопросы научно-технологических основ модульных процессов автоматического сборки приборов в приборостроении, которые базируются на применении современных информационных технологий, модульного оборудования и оснащения, обеспечении достижений лучших результатов в этих процессах. Особенности процесса модульной автоматической сборки разнотипных приборов определяются: материальными, энергетическими и информационными потоками, свойствами собираемых деталей и их группированием, способами переналадки и сборки, параметрами сборки, технико-экономическими показателями. В общем, перед моделированием любых объектов или процессов автоматической модульной сборки приборостроения следует провести поиск известных и хорошо разработанных моделей с их программным обеспечением, которые могут быть рекомендованы для использования. И только при их отсутствии или недостаточной точности можно поставить задачу о разработке новой модели, которая должна иметь преимущества перед известными.*

**Ключевые слова:** процесс, моделирование, автоматизация, приборостроение, сборка, приборы, мероприятия.

**N. Grigorieva, DSc, PhD, Eng. I. Marchuk, Ph.D, V. Shabaykovitch, DSc, PhD, Eng.**  
Lutsk National Technical University

### **SIMULATION OF PROCESSES OF AUTOMATIC ASSEMBLY OF DEVICES**

*In the article from the standpoint of systems analysis, the main issues of the scientific and technological foundations of modular processes for the automatic assembly of devices in instrument making, which are based on the use of modern information technologies, modular equipment and equipment, and ensuring the achievement of the best results in these processes, are considered. Features of the process of modular automatic assembly of various types of devices are determined by material, energy and information flows, properties of the folded parts and their grouping, methods of changeover and assembly, assembly parameters, technical and economic indicators. In general, before modeling any objects or processes of automatic modular assembly of instrumentation, a search should be made for known and well-developed models with their software that can be recommended for use. Only in the absence of them or insufficient accuracy can the task of developing a new model be set, which should have advantages over the known ones.*

**Key words:** process, modeling, automation, instrumentation, assembly, devices, activities.