

УДК 658.512:658.52.011.56

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-05

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

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Аналіз сучасної зарубіжної та вітчизняної технічної літератури дозволяє з достатньою точністю спрогнозувати подальший розвиток комп'ютерно-інтегрованого складального приладобудівного виробництва. Головні тенденції розвитку приладобудівного виробництва, особливо СІМ впливають із глобалізації ринків збуту, змін в суспільній свідомості, постійно зростаючих вимог споживачів, скорочення циклів життя приладів, досягнень науки і техніки.

Умовно можна виділити основні напрямки розвитку сучасного приладобудування, особливо в СІМ: науково-теоретичний, конструкційний, технологічний, програмний, організаційний, експлуатаційний та інші з використанням концепції багатомірного комп'ютерного інтегрування на базі об'єднаних мережних і інтелектуальних технологій та організації.

Важливим напрямком повинно бути інноваційне доопрацювання конструкцій як приладів, так і технологічного обладнання, оснащення та організації приладобудівного виробництва на базі механізму підвищення його ефективності. Спочатку встановлюється потрібна та обґрунтована якість і конкурентоспроможність приладу, а далі розглядається їх забезпечення за рахунок технологічності, ефективності технології, обладнання та оснащення, його витратності виготовлення, організації виробництва, кваліфікації інженерів і робітників.

Ключові слова: *приладобудування, розвиток, напрямки, комп'ютерно-інтегроване виробництво, інновації.*

Складальне виробництво є завершальним етапом виготовлення приладів, в остаточному підсумку визначає їх якість, є найбільш працемістким, використовує найбільше робочої сили, автоматизоване незначно. Тому основна увага приділяється і буде приділятися забезпеченню їх високої якості з більш повним використанням засобів автоматизації, єдиної інформаційної системи обробки інформації при мінімально можливій технологічній собівартості, тобто забезпеченні високої конкурентоспроможності. Для цього потрібна розробка технічного, математичного, інформаційного, програмного та інших видів забезпечення, загалом, усіх необхідних атрибутів комп'ютерно-інтегрованого (СІМ – *Computer Integrated Manufacturing*) складального виробництва й систем СІМС (*Computer Integrated Manufacturing Systems*).

Таке складальне приладобудівне виробництво характеризується принципово новими інтегрованими технологіями, автоматичним конструкторським і технологічним проектуванням, використанням нових методів математичного моделювання, керування, організації, устаткування і іншими атрибутами. Нове складальне обладнання та оснащення повинно бути переналаджуваним з його серійним випуском. Загальна концепція СІМ поєднує ряд проблемно-орієнтованих систем CAD, CAM, CAE, CAP, SFS, PPS, CAQ, TQM, MRP, TPM, JIT, ATM, PRO-Engineer, UNIGRAPHICA, ADEM, ACAD, КОМПАС і багатьох інших. Уже зараз можна розрізнити майбутнє складальне виробництво СІМ. Проблемам СІМ присвячується усе більше число робіт [1], у яких аналізуються окремі питання. В [2] описані різні аспекти СІМ, а в [3] детально розглянуті, як сучасні складальні виробництва, так і можливі напрямки їхнього розвитку. Можна відзначити, що рішення питання багатогранне і знаходиться в конструкційній, технологічній і організаційній площинах. Загалом, описуються: розробки інтелектуальних систем проектування і керування технологічними об'єктами, інтенсифікація потенціалу за допомогою високих технологій, високоефективних методів виготовлення виробів, комбінованих високих технологій і їхніх гібридів, нейросітьових модулів, модульного та інтелектуального складання, застосування систем *Virtual Reality* і *Digital Prototyping*, інших мультимедійних систем і методів, різних засобів інтегрованих *CALS-технологій*.

Головні тенденції розвитку складального виробництва приладів СІМ впливають із глобалізації та локалізації ринків збуту, змін у суспільній свідомості, постійно зростаючих вимог споживачів, скорочень циклів життя виробів, досягнень науки і техніки.

Умовно можна виділити ряд основних напрямків розвитку автоматичного складання приладів у СІМ: науково-теоретичний, конструкційний, технологічний, програмний,

організаційний та експлуатаційний з використанням концепції багатомірного комп'ютерного інтегрування на базі об'єднаних мережних і інтелектуальних технологій. Передбачається розробка науково-технічних основ складання приладів, на базі яких буде здійснюватися автоматичне проектування конструкцій приладів і технологічного складального обладнання з оснащенням, орієнтованих на конкретне виготовлення й експлуатацію, особливо віртуальне, розробка нових програмних способів складання, систем нової організації і керування складанням, що базуються на концепціях логістики і нейронних мереж, методологічних аспектів експлуатації як приладів, так і складального обладнання. Усі проблеми гнучкого інтегрованого складання доцільно вирішувати в єдиному комплексі з іншими проблемами *CIM*.

В науково-теоретичному напрямку задача створення науково-технічних основ автоматичного складання приладів в *CIM* вважається основною, хоча таких основ поки ще немає. Науково-технічні основи складання приладів в *CIM* повинні охоплювати три основні частини: конструкційну, технологічну та експлуатаційну, у яких мають бути відображені теоретичні обґрунтування рішень зазначених практичних задач. В першу чергу це науково обґрунтована методологія комп'ютерно-інтегрованого складання. Можливі проблеми науково-теоретичному напрямку повинні забезпечувати наукову базу розвитку і інших напрямків. Такі основи повинні охоплювати повний ланцюжок виробництва: конструкція приладів – гнучкі високі технології, сучасні організації, експлуатація, економіка виробництва тощо.

При забезпеченні якості приладів чи послуг зараз чомусь головними вважаються системи якості створені на основі міжнародних стандартів серії *ISO 9000*. Ці розробки значно бюрократизовані, носять загальний описовий характер, вимагають збільшення чисельності чергових чиновників від якості, породили цілу громаду «розроблювачів» і тони паперових процедур, інструкцій, книг якості, політики якості і т.п. На жаль, сертифікати якості також мало чого дають його підвищенню, а процедура їхньої видачі часом зводиться до паперової бюрократичної тяганини. Споживачу потрібна якість, а не її сертифікат. Тому увага повинна бути зосереджена на розробці та дослідженні механізмів спрямованого формування показників якості, тобто практичного забезпечення, а не паперової документації. Як відомо, загалом, якість – це в першу чергу золота голова інженера та золоті руки робітника, а не системи чи їх сертифікати. Необхідно розрізняти також якість проектування виробів і технологій, функціонування гнучкої складальної системи і її окремих елементів, керування динамічною якістю складального обладнання та оснащення при їхньому проектуванні і т.п. Цікаві і перспективні питання інтелектуального керування процесами формування якості.

Вимагають розробки також проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності нечіткого середовища (метод максимуміплікативної згортки), методологічних аспектів моделювання, інформаційної підтримки керування, підвищення конкурентоспроможності виробів, синергетичного підходу до аналізу динамічних процесів у складальному обладнанні та оснащенні й спорядженні і т.п.

Конструкційний напрямок охоплює проблеми автоматичного проектування конструкцій приладів, складального обладнання та оснащення, починаючи від моделювання таких рішень і закінчуючи їхньою стандартизацією. Подальший і новий розвиток одержать розробки конструкційно-технологічних властивостей деталей і приладів, використовуваних при складанні, їхня формалізація та структуризація, точність приладів і автоматичних складальних систем, автоматичне складання і технологічність конструкцій в умовах гнучкого складання, удосконалення конструкцій, нові складальні з'єднання, конструкційне пристосування деталей, вузлів і приладів при програмній інтеграції. Наприклад, методологія автоматичного проектування приладів повинна бути чітко орієнтована на *CIM*. Одна з таких методик *DMA* передбачає широке використання проблемно-орієнтованих систем *QFD*, *DFM* і ряду інших. Інтегровані системи *CAD/CAM/CAE*, що підтримують *CALS-технології*, відрізняються різноманітністю, не стикованістю і охоплюють програмне забезпечення, починаючи від приладу концепції й конструкції, до одержання конструкторської документації та програм обробки деталей та їхнього складання. На жаль, такі програми для виконання навіть не автоматичного складання поки відсутні. У цьому плані повинна бути забезпечена повнота охоплення автоматичного проектування будь-яких конструкцій приладів, складального обладнання та оснащення та тісним взаємозв'язком з високими складальними технологіями, а головне - наступною експлуатацією. Не слід забувати і про значення передпроектних досліджень, що мають велике значення при створенні складних приладів, технологій та організацій.

Проблеми агрегування та модуляризації при автоматичному проектуванні різних конструкцій приладів зв'язані з їхнім формуванням добре відпрацьованими автономними й оптимізованими агрегатами і модулями, що мають широку переналагоджуваність. При такому підході створюються необхідні умови для їхнього серійного виробництва, тобто, наприклад, створення компонувань конструкцій складального обладнання та оснащення з готових модулів і агрегатів, які серійно випускаються. При цьому велике значення має можливість швидкого виготовлення моделей, зразків методом *Rapid Prototyping*. Уже сьогодні цей метод, що спочатку здійснювався стереолітографічним методом *SL*, доповнений новими методами *LOM*, *SLS*, *FDM*, *SQC*, *MJM*, котрі дають можливість скоротити процес виготовлення реальних зразків на 30% у порівнянні зі звичайними процесами. Вже зараз розширюється процес до одержання сталевих і чавунних деталей методами *Rapid Tooling*, *Rapid Prototyping Manufacturing*, у яких використовуються методи лазерної плавки і лазерно-синтеринговий. Належна увага буде приділена проектуванню виробів багатофункційного призначення, однаковості використовуваних складальних з'єднань, єдиній структурі конструкторсько-технологічної інформаційної бази, застосуванню методик типу *Virtual Reality* і *Digital Prototyping* і їхньому подальшому удосконаленні.

В технологічному напрямку прогнозується подальший розвиток і удосконалювання високих складальних технологій (*CALS*, *III*, *гібриди* й інші), концепції віртуального моделювання складальних процесів, нового покоління технологічного обладнання та оснащення, гнучкої складальної модульної технології, яка найбільше повно відповідає вимогам *CIM*. Першими прикладами технологічного обладнання можуть бути робототехнічні комплекси і складальні центри. Дуже важливе імітаційне моделювання структурних і параметричних характеристик складального обладнання в режимі реального часу. Передбачається розробка інтелектуальних складальних систем, що самонавчаються, ефективних методів і засобів адаптації, *CAD/CAM/CAE* - технологій у моделюванні складального обладнання та оснащення, нейросітових моделей технологічних процесів складання, автоматизації генерування варіантних технологічних рішень і багато чого іншого. Оскільки система *CALS* побудована по модульному принципі, то буде потрібно подальше удосконалення її модулів, таких як концептуального проектування, конструювання та складання, *KE*-аналізу та оптимізації, технологічних модулів і інших. Одержать розвиток нові способи автоматичного складання приладів, окремі елементи гнучкої складальної операції (транспортування, базування, орієнтування, і т.п.), у тому числі виконання типових складальних з'єднань. Передбачається більш тісне ув'язування гнучких інтегрованих складальних процесів не тільки з конструкцією приладу, що складається, чи його експлуатацією, але і з використанням складальним обладнанням, системами керування, діагностики, обслуговування. Повинний бути налагоджений чіткий інформаційний обмін між окремими складальними системами. Це вже зараз досить велика проблема. Широке застосування методів стандартизації дозволить одержувати стандартні нормалізовані технологічні процеси гнучкого складання. Їхньому створенню перешкоджає розмаїтість конструкцій деталей і складальних з'єднань. Тому для цього необхідно збільшувати як число стандартних деталей у приладах, так і їхніх складальних з'єднань, а по можливості і вузлів. Тоді б прилад складався з модульних вузлів чи агрегатів, що випускаються серійно, і зовнішньої змінюваної форми, тобто корпусу.

У програмному напрямку головним і складним є подальша розробка програмного забезпечення гнучкого складання приладів в *CIM*. Важлива формалізація нечітко сформульованих даних з використанням математичного апарату, заснованого на нечітких множинах і лінгвістичних перемінних, інформаційного середовища моделювання в *CALS* з використанням *CASE-засобів*, інтелектуального керування гнучкою технологією на основі комбінованих нейросітових і нечітких методів. До цієї проблеми відносяться також автоматичні системи програмного забезпечення, що складаються з програмних блоків, проектування складальних систем, технологічні процеси й обладнання, керування гнучким складанням (інтелектуальні, адаптивні, програмно-орієнтовані й інші). Одержить подальший розвиток комп'ютерне програмне забезпечення гнучкого складання приладів, а також нова мікропроцесорна складальна техніка. Необхідно подальше удосконалення трьох рівнів систем програмного забезпечення: об'єктно-орієнтованих, таких як функціональних, об'єктно-незалежних, тобто інваріантних, математичних, лінгвістичних, інформаційних, програмних, технічних, методологічних, організаційних і інших видів забезпечення. Для цього створюються сучасні інструментальні засоби компіляційного типу. При цьому велике значення має

реалізація принципів комплексності, системності, інформаційної єдності, сумісності й інваріантності. Одержать розвиток автоматичні системи програмного керування складальними системами, технологічними процесами й обладнанням (інтелектуальні, адаптивні, програмно-орієнтовані й інші). Заслугує на увагу використання *Internet-систем* у *WEB-інтегрованому* складальному виробництві. На основі *Internet* у середовищі *CALS-технологій* можна серед всього іншого забезпечити оптимальну апаратну комплектацію засобів автоматизації гнучкого складального виробництва.

Організаційний напрямок передбачає удосконалення відомих форм і розробку нової організації гнучкого складання в *CIM* і *CIMS*. У першу чергу це організація: робочих місць гнучкого складання, усіх видів автоматичного проектування, орієнтованих на безлюдне складальне виробництво та безпаперове представлення конструкцій та технологій. До цього відноситься також виконання процесів гнучкого складання в просторі і в часі, експлуатація принципово нового складального переналагоджуваного обладнання та оснащення, систем керування, у тому числі якістю, а також повне матеріально-технічне забезпечення. Особлива увага буде приділятися забезпеченню ефективності створення, нагромадження, обміну інформацією формалізованими даними у вигляді їхніх баз, організованих відповідно до вимог *CIM*. Подальший розвиток одержить організація робіт відповідно до системи *DSS (Decision Support System)*, що реалізує технологію *OLAP (On-Line Analytical Processing)* і забезпечує доступ до баз даних і видачу їх у зручній формі для аналізу. Буде розроблятися організація засобів інтелектуального аналізу даних типу систем оперативної аналітичної обробки (*OLAP*), інформаційних сховищ даних, гібридних систем планування гнучкого складального виробництва, систем керування персоналом *Personnel*, керування конкурентоспроможністю, як процесів цілеспрямованої адаптації потенціалу складального виробництва до специфіки ринку та інших вимог.

Оскільки організація та керування в гнучкому складальному виробництві впливає з реалізації суперечливих цілей: ринкової орієнтації (якість, швидкість виконання замовлень, розмаїтість) і ефективності, то увага буде приділятися маркетинговій концепції керування. Тому до тенденцій розвитку можна віднести: планування виробничих засобів (*MRP*), стратегію «точно в часі» (*JIT*) і її розвиток у напрямку «економної продукції» (*Lean production*) [4] і керування (*Lean Management*), концепцію керування вузькими місцями (*OPT*), системи «штовхання» - *push (MRP-II* і ін.), «висмоктування» - *pull (JIT* і ін.), «витискування» - *squeeze (OPT* і ін.). Ці системи передбачатимуть комп'ютерну координацію засобів і потреб на загальній інформаційній базі з багаторазовим узгодженням і повторенням. Тому важливими питаннями можна вважати організацію: внутрішнього і повного зовнішнього комп'ютерного інтегрування у складальному виробництві, використання організаційних мереж, що базуються на мінімальних організаційних одиницях і інформаційних технологіях, інтегрального логічного керування. Оскільки передбачається інтенсивна розробка науково-технічних основ гнучкого складання приладів в *CIM*, та належна увага буде приділятися також організації проведення необхідних наукових досліджень і обґрунтуванню техніко-економічної ефективності гнучкого складання, у тому числі особливо автоматизованим системам наукових досліджень.

Гнучке складальне виробництво зажадає підвищення підготовки інженерів-складальників. Відомий проект підготовки інженерів *5PR GEM* [5], що охоплює Австралію, Європу, Корею, США і Японію. Базується він на модульному плані навчання інженера (7 модулів), що включає як традиційні дисципліни, так і такі, як робота з моделюванням, цифровою технікою та технологією, віртуальним середовищем, плануванням циклу життя виробів, цифровим бізнесом ланцюжка навчання, бізнесовими операціями і стратегіями конкуренції, інтелектуальними процесами виготовлення, прийняттям рішень у інтерпредметних багатопланових колективах. Спочатку на базі такого проекту можна буде додати йому складальний комп'ютерно-інтегрований відтінок, а потім і розробити чисто складальний проект підготовки інженерів-складальників.

Експлуатаційний напрямок охоплює проблеми, що виникають при експлуатації істотно нового складального обладнання та оснащення, систем програмного керування, а також передбачуваної експлуатації складаних приладів з метою забезпечення зворотного зв'язку її результатів з конструкцією та технологією. Це в першу чергу проблеми технологічної складальної спадковості та створення єдиної формалізованої бази експлуатаційних даних по приладам і складальному обладнанні, необхідним для здійснення віртуального моделювання. Дуже важливими будуть методологічні аспекти експлуатації приладів, складального

обладнання та оснащення, систем керування та діагностування. Відзначаючи недостатнє формування єдиної інформаційної бази, важливим буде створення інформаційного середовища обміну даними між експлуатованим складальним обладнанням, системами керування та діагностування на основі *CALS-стандартів (ISO 10303 STEP, ISO 13584 P_LIB, ISO 15531 MANDATE і інші)*.

Висновки. Розвиток комп'ютерно-інтегрованого складального виробництва приладобудування передбачає інноваційні доопрацювання конструкцій приладів і технологічного складального обладнання та оснащення, технологічних складальних процесів і організації складального виробництва. На підставі виконаних багаторічних теоретичних і експериментальних досліджень автоматичного складання приладів представлений механізм підвищення ефективності такого складального виробництва. При цьому використані принципи обмеження різноманітності всіх елементів такого виробництва за окремими загальними напрямками: науково-теоретичному, конструкційному, технологічному, програмному, організаційному, експлуатаційному.

Основою підвищення ефективності автоматичного складання приладів, є розроблений механізм такого підвищення, котрий складається з низки етапів: моделювання конструкцій, технологій та організації автоматичного складання, формування віртуальних показників якості конструкцій, технологій та організації виробництва, організацію розробок автоматичного складання, забезпечення технологічності конструкції приладів, переналагодження та забезпечення точності, встановлення оптимальних структур процесу та переналагодження, типізацію та модуляризацію процесу автоматичного складання, переналагоджуваного обладнання та оснащення, інноваційну методику проектування автоматичного складального обладнання та оснащення та розробку нормативної документації автоматичного складання. Заслугує на увагу застосування методики *Reengineering* і рекомендації щодо підвищення якості та ефективності складального виробництва.

Можна припустити, що такі матеріали будуть використані в майбутньому для нових наукових узагальнень по важливим проблемам автоматизації складального виробництва, таких як обмеження різноманітності різновидів приладів, технологій, складального обладнання та оснащення та інших. Тому представлені розробки вимагають подальших теоретичних і експериментальних досліджень цілого ланцюжка складального виробництва приладів, що дозволить в майбутньому вирішити одну з найважливіших проблем сучасного автоматичного складання – забезпечення високої ефективності при високій якості приладів і мінімальних витратах їх виготовлення.

Інформаційні джерела

1. Матвійчук І.О. Сучасний стан та перспективи розвитку приладобудування в Україні: Вісник МНУ ім. В.О. Сухомлинського Миколаїв, 2015. – 360-366 с.
2. Вумек Джеймс П., Джонс Даниель. Бережливое производство. – М: Альпина Паблішер. 2011. – 312 с.
3. Конструкторско-технологическая информатика – 2000: Труды конгресса в 2-х т.т./ 1У международный конгресс. – М.: Издательство “Станкин“, 2000. –С. 328, С. 308: ил.
4. *CALS* в авиастроении / Под ред. А.Г.Братухина. – М.; Изд-во *МАИ*, 2000. – 304 с.
5. Пасічник В. А. Основи комп'ютерно-інтегрованого механоскладального виробництва Дис. докт. техн. наук: 05.02.08. – К.:НТУУ «КПІ», 2009. – 412 с.

N. Grigoryeva, DSc, PhD., prof., I. Marchuk, Ph.D., V. Shabaykovich, DSc, PhD., prof.
Lutsk National Technical University

FORECASTING THE DEVELOPMENT OF COMPUTER-INTEGRATED ASSEMBLY INSTRUMENT MANUFACTURING

The analysis of modern foreign and domestic technical literature allows to predict with sufficient accuracy the further development of computer-integrated assembly instrument-making production. The main trends in the development of instrument-making production, especially SIM, stem from the globalization of markets, changes in public consciousness, ever-increasing consumer demands, shortening the life cycles of devices, advances in science and technology.

It is possible to conditionally allocate the basic directions of development of modern instrument making, especially in SIM: scientific-theoretical, design, technological, software, organizational, operational and others using concept of multidimensional computer integration based on integrated network and intelligent technologies and organizations

An important direction should be the innovative refinement of the structures of both devices and technological equipment, equipment and organization of instrument-making production on the basis of a mechanism to increase its efficiency. First, the required and reasonable quality and competitiveness of the device is established, and then their provision is considered due to manufacturability, efficiency of technology, equipment and facilities, its cost of production, organization of production, qualification of engineers and workers.

Key words: *development, directions, computer-integrated production, integration, innovations.*