

О.М. ШЕЛКОВИЙ д-р техн. наук, **Д.В. ФЕДЕНЮК**,
НТУ «ХПІ», г. Харків

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

In the article the task of rise of productivity of mechanics-assembling production on the basis of three-dimensional design of work of its subsystems is staged.

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности механосборочного производства на основе трехмерного моделирования.

Вступ. Технологічна підготовка складального виробництва складається з розробки технологічних процесів, проектування й виготовлення спеціального оснащення, нестандартного обладнання, виконання необхідних розрахунків, планувань й інших робіт. Основною й найбільш важливою частиною технологічної підготовки складального виробництва є проектування технологічного процесу складання.

До складу технологічного процесу складання як технологічні операції або переходів включаються різноманітні складальні роботи, наприклад: з'єднання деталей, що сполучають, за допомогою приведення в зіткнення їхніх складальних баз; перевірка точності взаємного розташування деталей, що збирають, і вузлів і внесення, якщо це необхідно, що відповідають виправлень шляхом регулювання, пригону або підбора; фіксація положення деталей і вузлів, що забезпечує правильність виконання ними цільового призначення при роботі машини. До технологічного процесу складання ставляться також операції, пов'язані з перевіркою правильності дії окремих механізмів і вузлів і машини в цілому (точність, плавність рухів, безшумність, надійність функціонування мастильної системи тощо). Сюди ж належать всі необхідні по змісту роботи операції по очищенню, промиванню, фарбуванню й обробці виробу або складових його складальних з'єднань і деталей. У табл. 1 наведені дані про співвідношення трудомісткості різних видів складальних робіт.

Технологічна операція складання являє собою закінчену частину цього процесу, виконувану безупинно над однією складальною одиницею або над сукупністю одиниць, що збирають одночасно, (вузлів, деталей), одним або групою (бригадою) робітників на одному робочому місці. Складальна операція - це технологічна операція установки й утворення з'єднань складових частин заготовки або виробу.

Так само, як і при механічній обробці, складальна операція є важливою одиницею виробничого планування, однак варто мати на увазі, що при деяких організаційних формах складання (зокрема, при стаціонарній однобригадній зборці) складальний процес може в явній формі на операції й не роз-

членуватися.

Перехід складального процесу - це закінчена частина операції складання, виконувана над певною ділянкою складального з'єднання (вузла) незмінним методом виконання роботи при використанні тих самих інструментів і пристосувань.

Прийомом (елементом) складального процесу називається окрема закінчена дія робітника в процесі складання або підготовки до складання виробу або вузла.

Зміст операцій і переходів технологічного процесу складання визначається конструкцією виробу, досконалістю технології механічної обробки деталей, організаційно-технічними умовами складального виробництва й розмірами програмного завдання. Однією з важливих завдань розробки технологічного процесу складання є вибір ступеня його диференціації.

Таблиця 1. – Види робіт, що входять у процес складання [1]

Вид робіт	Коротка характеристика	Питома вага в загальній трудомісткості складання, %	
		у дрібносерійному виробництві	у масовому виробництві
Підготовчі	Роботи із приведення деталей, а також покупних виробів у стан, необхідний умовами складання: деконсервація, мийка, сортування на розмірні групи, укладання в тару й ін.	5—7	8—10
Приганяльні	Роботи, пов'язані із забезпеченням збирання з'єднань і технічних вимог до них: обпилювання й зачищення, притирання, полірування, шабрування, свердління, розгортання, виправлення	20—25	—
Власне складальні	Роботи із з'єднання двох або більшого числа деталей з метою одержання складальних одиниць і виробів основного виробництва: згвинчуванням, запресуванням, клепкою й ін.	44—47	70—75
Регулювальні	Роботи, проведені в процесі складання або після її закінчення з метою досягнення необхідної точності деталей у складальних одиницях і виробі	7—9	6—7

Вид робіт	Коротка характеристика	Питома вага в загальній трудомісткості складання, %	
		у дрібносерійному виробництві	у масовому виробництві
Контрольні	Роботи, виконувані в процесі складання й після її закінчення з метою перевірки відповідності складальних одиниць і виробів параметрам, установленим кресленням і технічними умовами на складання	10—12	8—10
Демонтажні	Роботи із часткового розбирання виробу, з метою підготовки його до пакування й транспортування до споживача	6—8	3—4

Концентрований процес складання характерний для досвідченого, одиничного й частково дрібносерійного виробництва. У цьому випадку всі операції вузлової й загальної зборки виконуються на деяких або навіть на одному робочому місці (декількома збирачами або одним). Якщо виріб включає типові складальні елементи, то вузлове складання диференціюється, а загальне складання ведеться концентровано.

Недоліками концентрованого складання є тривалість календарного циклу внаслідок послідовного виконання операцій; неможливість відокремлення окремих робіт, не потребуючі залучення для їхнього виконання висококваліфікованих збирачів-універсалів, і труднощі механізації, і тим більше автоматизації нерозчленованих операцій.

Диференціація технологічних процесів складання характерна для стійкого дрібносерійного, а також для серійного й масового виробництва. Диференціація процесу складання дає можливість розчленувати його на операції, тривалість виконання яких дорівнює або кратна встановленому такту складання, забезпечує в ряді випадків однорідні по кваліфікації й по розряду роботи в межах операції й створює передумови для механізації й автоматизації ручних процесів й організації потокової й автоматичного складання.

Диференціація процесу складання в певних межах звичайно буває вигідною. Тільки завдяки розчленовуванню процесу на операції й раціональному розподілі їх по робочих місцях можна скоротити трудомісткість складання на 15-20%. Ступінь диференціації залежить не тільки від обсягу виробництва, але й від конструкції виробу, його габаритних розмірів, числа деталей. При складанні в одному цеху досить великої номенклатури виробів у порівняно невеликих кількостях, при вдалому комбінуванні операцій вузлової й загального складання можлива організація багатопредметних безперервно-

потокових ліній.

Однак слід зазначити, що зайвий ступінь диференціації процесу складання веде до зниження продуктивності процесу внаслідок невинуватених втрат часу на установку й зняття елемента, що збирається, (росте частка допоміжного часу в загальній трудомісткості складання), а також внаслідок підвищеної стомлюваності робітника при виконанні дрібних одноманітних операцій. При високому рівні механізації на окремих ділянках часто може бути вигідна також і концентрація операцій, тому що в певних умовах при цьому можливі скорочення циклу складання, зменшення довжини складальних ліній, зниження потреби у виробничих площах і поліпшення інших техніко-економічних показників складального процесу. У зв'язку із цим у кожному випадку при проектуванні технологічного процесу повинна бути знайдена найвигідніший ступінь диференціації складання. Технологічний процес складання звичайно розробляється в послідовності, етапи якої наведені нижче:

1. Залежно від програмного завдання встановлюється доцільна організаційна форма складання, визначаються її такт і ритм;
2. Проводиться технологічний аналіз складальних креслень і робочих креслень деталей з позицій відпрацювання технологічності конструкцій;
3. Проводиться розмірний аналіз конструкцій виробів, що збирають, з виконанням відповідних розмірних розрахунків і встановлюються раціональні методи забезпечення необхідної точності складання. Визначаються ймовірна кількість деталей і вузлів, непридатних для взаємозамінної складання (при складанні по методу неповної взаємозамінності), розміри регулювання й пригону;
4. Визначається доцільна в даних умовах виробництва ступінь диференціації проектного процесу складання;
5. Встановлюється послідовність з'єднання всіх складальних одиниць і деталей виробу й складаються схеми загального складання й вузлових складань виробу;
6. Визначаються найбільш продуктивні, економічні й технічно доцільні способи з'єднання, перевірки положень і фіксації всіх складових виробів складальних одиниць і деталей. Складається зміст технологічних операцій складання й задаються методи Контролю й остаточних випробувань виробу;
7. Розробляється необхідна для виконання технологічного процесу технологічне оснащення (приспособування, монтажне, контрольно-вимірвальний інструмент й обладнання);
8. Проводиться технічне нормування складальних робіт і розраховуються економічні показники процесу складання;
9. Оформляється технічна документація процесу складання.

Після ретельного вивчення конструкції й роботи як всієї машини, так й окремих її агрегатів і складальних одиниць, аналізу технічних умов на їхнє виготовлення й складання на основі знання умов конкретного виробництва

приступають до розбивки виробу на складові частини. При виконанні цієї роботи доцільно виходити з наступних принципів:

- складальна одиниця не повинна розчленовуватися як у процесі складання, так й у процесі подальшого транспортування й монтажу;
- габаритні розміри складальних одиниць повинні встановлюватися виходячи з необхідності забезпечення можливості їхнього складання й з урахуванням наявності технічних засобів їхнього транспортування;
- складальним операціям повинні передувати підготовчі й приганяльні роботи, зв'язані зрізанням металу, які зводяться в окремі операції й повинні робитися на спеціальному робочому місці або навіть у механічному цеху на верстатах;
- складальна одиниця не повинна складатися з великої кількості деталей і сполучень; у той же час зайве «дроблення» машини на складальні одиниці нерационально, тому що це ускладнює процес комплектування при складанні, створює додаткові труднощі в організації складальних робіт;
- більшість деталей машин повинне ввійти в ті або інші складальні одиниці для того, щоб скоротити число окремих деталей, що подаються безпосередньо на складання; виключення становлять базові деталі, а також деякі деталі кріплення;
- виріб варто розчленувати таким чином, щоб конструктивні умови дозволяли здійснювати складання найбільшого числа складальних одиниць незалежно одну від іншої і без шкоди для експлуатації машини; таке розчленовування забезпечить і кращу ремонтпридатність виробів.

Трудомісткість складання більшості складальних одиниць повинна бути приблизно однаковою.

Послідовність складання в основному визначається конструкцією виробу, компонованням деталей і методами досягнення необхідної точності й може бути представлена у вигляді технологічної схеми складання, що є умовним зображенням порядку комплектування виробу й вузлів при складанні (рис. 1, а).

Деталь (або раніше зібрана складальна одиниця), з якої починають складання виробу, приєднуючи до неї інші деталі або складальні одиниці, називається базовою деталлю (або базовою складальною одиницею). Для кожної складальної одиниці першого й більш високих порядків можуть бути побудовані аналогічні схеми (рис. 1, б-г).

Технологічна схема складання є основою для проектування технологічного процесу складання. При складанні складного виробу іноді буває доцільно спочатку розробити загальну схему складання виробу й після цього - схеми вузлових складань (тобто складання з'єднань 1-го, 2-го й більш високих порядків). З огляду на, що деякі великі вироби транспортуються до замовника в розібраному виді, при розробці технологічної схеми складання таких виробів одночасно складається й схема їхнього демонтажу.

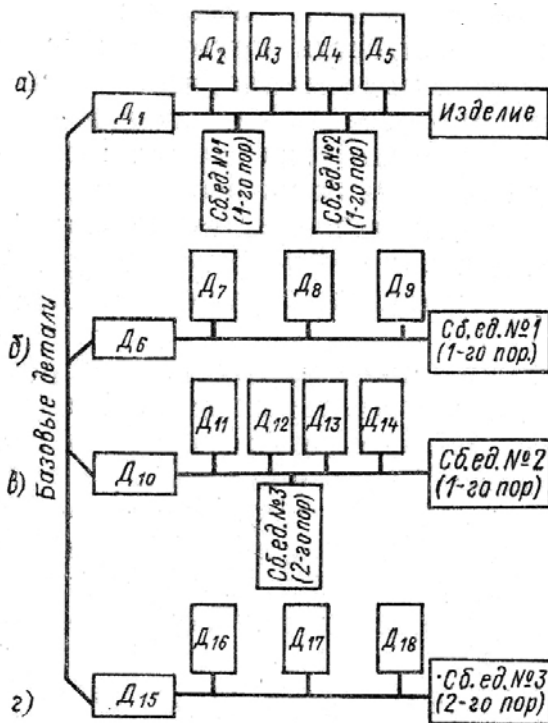


Рис. 1 – Технологічні схеми складання виробу (а) і складальних одиниць більш високих порядків (в-г) [1, 4]

Після розробки схем складання встановлюється склад необхідних складальних, регулювальних, приганяльних, підготовчих і контрольних робіт і визначається зміст технологічних операцій і переходів.

В умовах одиничного виробництва обмежуються розробкою маршрутних технологічних карт й у роботі значною мірою керуються технологічними схемами складання.

Складання виконується висококваліфікованими робітниками, які самі вибирають прийоми складальних робіт, користуючись кресленням виробу. При цьому широко застосовуються приганяльні роботи. У важкому машинобудуванні при одиничному виробництві основними технологічними документами часто служать схеми загального складання виробу й схеми вузлових складань, у яких указуються: трудомісткість роботи, вид оснащення, цех, з якого надходять деталі, і т.п. При цьому на виконання окремих відповідальних операцій (запресовування великих деталей, випробування й т.п.) складаються типові інструкції. У роботі широко використовуються універсальне складальне обладнання й інструменти. У серійному виробництві розробляються маршрутно-операційні й операційні технологічні карти й при необхідності

випускаються технологічні інструкції, комплектувальні карти, відомість оснащення й інші документи.

Процес складання розчленовується на загальну зборку й зборку вузлів, а також на технологічні операції й переходи, а в крупносерійному виробництві - і на прийоми. Частка приганяльних робіт скорочується за рахунок широкого застосування регулювання розмірів за допомогою різноманітних компенсаторів, а в крупносерійному виробництві - застосування селективного складання й методів неповної взаємозамінності.

При формуванні технологічної операції в її состав по можливості включаються однорідні роботи, що сприяє спеціалізації збирачів і підвищенню продуктивності їхньої праці. З метою синхронізації операцій, необхідної для організації потокового складання й у край бажаної при всіх формах її організації, состав технологічної операції встановлюється з урахуванням трудомісткості окремих елементів складальних робіт. При трудомісткості операції, що перевищує встановлений такт складання, операція додатково розчленовується й з її складу виділяються окремі переходи й переносяться в інші операції, що мають трудомісткість менше такту складання.

Приганяльні роботи, випробування й контроль виділяються в окремі операції складання. При цьому особлива увага повинне бути приділене аналізу можливості й доцільності перенесення максимальної кількості підготовчих і приганяльних робіт у механічні цехи або вимірювальні лабораторії, де подібні роботи можуть бути виконані на верстатах і точних установках більш продуктивно і якісно (наприклад, плоске шліфування шайб, що компенсують, і прокладок на необхідний розмір компенсації, розсортовування деталей по розмірах складальних груп і розкладка їх по відповідних ящиках тощо).

Механізація слюсарно-складальних робіт є найважливішою проблемою проектування технологічних процесів складання, який повинне бути приділене особлива увага. Раніше вказувалося, що в різних галузях машино- і приладобудування частка складальних робіт становить 20-45 % від загальної трудомісткості виготовлення виробу: при цьому основну частину складальних робіт становлять ручні роботи.

Класифікація видів складання. Складання - це утворення роз'ємних або нероз'ємних з'єднань складових частин заготовки або виробу. Складання може здійснюватися простим з'єднанням деталей, їхнім запресуванням, згинанням, зварюванням, пайкою, клепою тощо. По своєму об'ємі складання підрозділяється на загальне складання, об'єктом якої є виріб у цілому, і на вузлове складання, об'єктом якої є складова частина виробу, тобто складальна одиниця або вузол.

В умовах одиничного й дрібносерійного типів виробництв основна частина складальних робіт виконується на загальному складанні й лише мала їхня частка здійснюється над окремими складальними одиницями. Зі збільшенням серійності виробництва складальні роботи усе більше роздрібнюються по окремих складальних одиницях, і в умовах масового й крупносерійного типів виробництв обсяг вузлової зборки стає рівним або навіть переви-

ршує обсяг загального складання (табл. 2). Це значною мірою сприяє механізації й автоматизації складальних робіт і підвищує їхню продуктивність. По стадіях процесу складання підрозділяється на види, перераховані нижче.

Попереднє складання, тобто складання заготовок, складових частин або виробу в цілому, які надалі підлягають розбиранню. Наприклад, попереднє складання вузла з метою визначення розміру нерухомого компенсатора.

Проміжне складання, тобто складання заготовок, виконувана для подальшої їхньої спільної обробки. Наприклад, попереднє складання корпусу редуктора із кришкою для наступної спільної обробки отворі під підшипники; попереднє складання шатуна із кришкою шатуна для обробки отвору під шатунні шейки колінчатого вала тощо.

Таблиця 2. – Структура слюсарно-складальних робіт у різних типах виробництва (у відсотках до загальної трудомісткості складання) [2]

Вид складальних робіт	Тип виробництва				
	одиничне	серійне			масове
		Дрібно-серійне	Середньо-серійне	Крупно-серійне	
Слюсарні роботи	25-30	20-25	15-20	10-15	-
Вузлове складання	5-10	10-15	20-30	30-40	45-60
Загальне складання	60-70	60-70	50-65	45-60	40-55

Складання під зварювання, тобто складання заготовок для їхнього наступного зварювання. Процес з'єднання деталей за допомогою зварювання в більшості випадків є складальним і може бути уведений безпосередньо в потік вузлової або загального складання. Великий обсяг складальних робіт із застосуванням зварювання виконується при виготовленні, наприклад, кузовів і кабін різних транспортних машин. У процесі зварювання основа, кабіна й інші елементи кузова втримуються в спеціальних пристосуваннях фіксаторами, чим забезпечується правильне положення елементів відносно один одного.

Остаточне складання, тобто складання виробу або його складової частини, після якої не передбачена його наступне розбирання при виготовленні.

Варто звернути увагу, що після остаточного складання для деяких виробів може впливати демонтаж, до складу якого входять роботи із часткового розбирання зібраного виробу з метою підготовки його до пакування й транспортування до споживачів (наприклад, складання великих парових і гідравлічних турбін тощо).

По методу утворення з'єднань складання підрозділяється на:

- слюсарне складання, тобто складання виробу або його складової частини за

допомогою слюсарно-складальних операцій;

- монтаж, тобто установку виробу або його складових частин на місці використання (наприклад, монтаж верстата з ЧПК на підприємстві-споживачі; монтаж турбіни на місці її постійної роботи разом з генератором на ГРЕС, ТЕЦ тощо);
- електромонтаж, тобто монтаж електричні вироби або їхніх складових частин, що мають струмоведучі елементи;
- зварювання, пайку, клепку й склеювання.

Організаційні форми складання. У різних типах і при різних умовах виробництва організація складання здобуває різні форми, зазначені на (рис. 2). По переміщенню виробу, яка складається, зборка підрозділяється на стаціонарну й рухливу, по організації виробництва - на не потокову, групову й потокову.

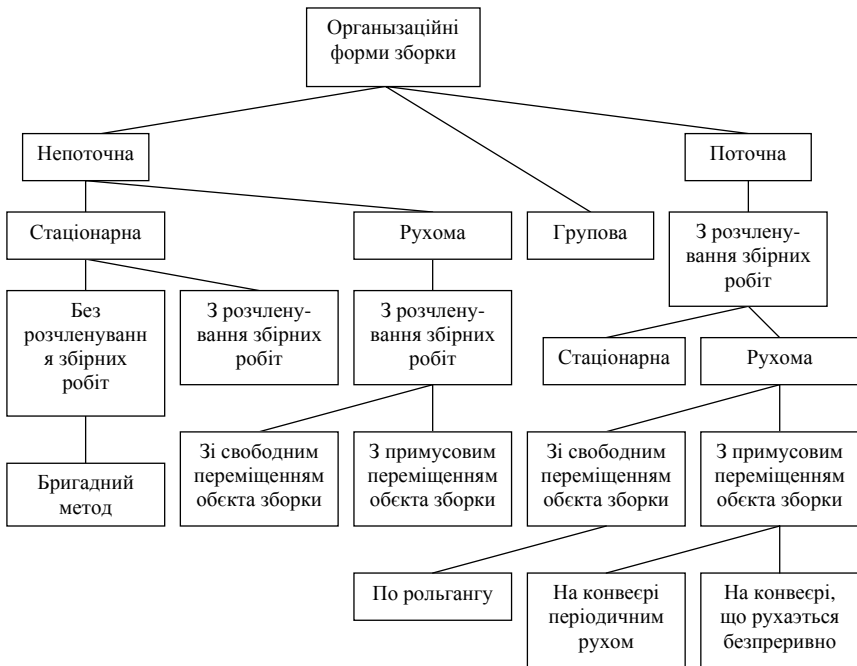


Рис. 2. - Схема організаційних форм складання [3]

Міжопераційне переміщення виробу, при поточковому складанні здійснюється: вручну або за допомогою візків, похилого лотка або рольганга; за допомогою розподільного конвеєра, призначеного для переміщення виробів; на конвеєрі з періодичним переміщенням, у період зупинки якого на ньому виробляється складання; на безупинно-рухомому конвеєрі, що переміщає виріб, зі швидкістю, що забезпечує можливість виконання складальних операцій. При переміщенні виробу, вручну швидкість переміщення приймається

рівною 10-15 м/хв.; при переміщенні по лотку й рольгангу - до 20 м/хв.; для розподільного конвеєра - 30-40 м/хв. і для безперервно діючого конвеєра - 0,25-3,5 м/хв.

Загальна тривалість потокового складання $T_{\text{п}} = T_{\text{пн}}$, де T — такт складання; $n_{\text{п}}$ — число робочих місць на потоковій лінії, що залежить від числа складальних і контрольних операцій (з урахуванням резервних місць). Потокове складання скорочує тривалість виробничого циклу й зменшує між операційні заділи деталей, підвищує спеціалізацію збирачів і можливості механізації й автоматизації складальних операцій, що в остаточному підсумку приводить до зниження трудомісткості складання на 35-50 %.

Головною умовою організації потокового складання є забезпечення взаємозамінності вузлів, і окремих деталей, що входять у потокове складання. Якщо буде потреба використання приганяльних робіт вони повинні здійснюватися за межами потоку на операціях попереднього складання. При цьому приганяні деталі й вузли повинні подаватися на потокове складання в остаточно скомплектованому й проконтрольованому виді. Відповідальним і складним питанням організації потокового складання є проблема операційного контролю якості складання й забезпечення виправлення виявлених при контролі дефектів без порушення встановленого ритмі складання.

Конструкція виробу на потоці, повинна бути добре відпрацьована на технологічність. Потокове складання є рентабельним при досить великому об'ємі випуску виробів.

Потокове стаціонарне складання є однієї з форм потокового складання, що вимагає найменших витрат на її організацію. Вона застосовується при складанні великих і громіздких, тобто незручних для транспортування виробів (наприклад, при складанні літаків і т.п. виробів). При цьому виді складання всі складені об'єкти, що, залишаються на робочих позиціях протягом усього процесу складання. Робітники (або бригади) по сигналі всі одночасно переходять від одних об'єктів, до наступним через періоди часу, рівні такту. Кожен робітник (або кожна бригада) виконує закріплену за ним (бригадою) ту саму операцію на кожному з об'єктів.

Постановка задачі імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлів. Гнучка виробнича система складання (ГВСС) має властивість цілеспрямовано змінювати свої технологічні можливості в межах можливого діапазону зміни переналагоджуваних параметрів технологічної системи шляхом її перебудови (переналагодження) відповідно до вимог складального виробництва при мінімальних термінах і витратах на переналагодження [1]. Гнучкість ГВСС обумовлена багатьма факторами, до основного з яких можна віднести наступні: число різних по конструкції виробів (вузлів), що збирають у системі, з урахуванням складності їхньої конструкції й конструктивної неоднорідності; час, затрачуваний на переналагодження системи при переході на складання інших виробів (вузлів); економічність перебудови системи при переході на складання інших виробів (вузлів); швидкість переналагодження системи при переході виробництва на складання нових виробів

(вузлів); живучість системи. Крім того, до факторів, що впливають на технічний рівень й ефективність системи ГВСС, відносять ступінь автоматизації процесу складання; конструктивні особливості виробів, що збирають, (вузлів); складність і трудомісткість технічного обслуговування системи; надійність системи і її складових елементів (засобів технологічного оснащення й систем керування); рівень системи контролю процесу і якості складання; рівень системи технічної діагностики засобів технологічного оснащення, обчислювальної техніки й програмного забезпечення.

Вибір раціональної структури ГВСС починається з аналізу номенклатури об'єктів, що збирають, а потім їхньої класифікації й групування по конструктивно-технологічних ознаках на базі спільності технологічного обладнання, оснащення й налагодження. При цьому раціональний склад і розмір технологічної групи різних по конструкції об'єктів складання, що збирають у ГВСС, визначаються з урахуванням габаритів елементів які складають, їхньої маси й геометричної форми, спільності способів і методів складання, спільності з'єднань і режимів складального процесу, серійності випуску виробів які складають, (вузлів), і економічності технології складання, складності й трудомісткості технічного обслуговування системи. Найбільш ефективними в експлуатації в одиничному й дрібносерійному виробництві є ГВСС, що володіють високою гнучкістю (універсальністю) з метою забезпечення складання великої номенклатури різних по конструкції об'єктів, що складають, при відносно високому рівні завантаження системи. У результаті в одиничному виробництві розмір технологічної групи різних по конструкції об'єктів складання, що складають в одній ГВСС, буде самим більшим у порівнянні із ГВСС інших типів виробництва. З підвищенням серійності виробництва звичайно відбувається зниження гнучкості ГВСС і підвищення її продуктивності за рахунок більш високої спеціалізації засобів технологічного оснащення системи складання більш обмеженої номенклатури об'єктів, які складають. У свою чергу, це приводить до зниження розміру технологічної групи різних по конструкції об'єктів складання, що збирають в одній ГВСС. Тому ГВСС масового виробництва звичайно мають найменшу гнучкість і найвищу продуктивність, найменшим розміром технологічної групи різних по конструкції об'єктів складання, які складають в одній ГВСС, у порівнянні із ГВСС одиничного, дрібно-, середньо- і крупносерійного виробництва.

Час, затрачуваний на переналагодження ГВСС при переході на складання іншого виробу (вузла), залежить від числа операцій, що вимагають переналагодження, виду й змісту налагоджувальних робіт, а також від рівня механізації й автоматизації технологічного процесу переналагодження системи. Цей час визначається часом переналагодження по всіх операціях, що вимагає переналагодження. Час, затрачуваний на переналагодження всієї номенклатури виробів (вузлів), яких складають, - це час, необхідний для виконання переналагоджень по всій номенклатурі виробів(вузлів), що складають.

Економічність перебудови (переналагодження) ГВСС при переході на складання інших виробів (вузлів) залежить від витрат, пов'язаних з перенала-

годженням системи. До таких витрат відносять поточні витрати, витрати, пов'язані із простим технологічним обладнанням, додаткові капітальні вкладення в основні виробничі фонди, розмір оборотних коштів у незавершеному виробництві. Найбільш економічне переналагодження системи досягається за рахунок оптимізації розмірів партій виробів (вузлів), що запускають, і мінімізації перерахованих вище витрат на переналагодження.

Швидкість переналагодження ГВСС при переході виробництва на складання нових виробів (вузлів) обумовлена ефективністю функціонування гнучкої виробничої системи складального виробництва підприємства (ГВССВ) вхідних у її склад, систем АСУСВ, а також технологічними можливостями ГВСС, тобто сукупністю діапазонів можливих змін параметрів по всіх переналагоджуваних елементах системи. При цьому технологічні можливості ГВСС можуть бути істотно розширені за рахунок стандартизації деталей, яких складають, вузлів, виробів, технологічного обладнання, оснащення, обчислювальної техніки й програмного забезпечення.

Живучість системи ГВС є властивість продовжувати виконувати свої функції із частковою втратою (або без втрати) ефективності при відмові одного або декількох функціональних елементів системи або гнучкого технологічного осередку складання, наприклад складального верстата, робота, інструмента, пристосування, ЕОМ і т.п. У системах, що володіють живучістю, невиконані операції через відмову яких-небудь функціональних елементів починають виконуватися на справному обладнанні за рахунок перерозподілу технологічних функцій між ними, що здійснюється за рахунок переналагодження справного обладнання (або керуючої ЕОМ, або наладчиком). У цьому випадку відбувається часткова втрата ефективності системи, тобто вироби (вузли) будуть зібрані за час, що перевищує планові терміни. Функціонування ГВСС без втрати ефективності при відмові яких-небудь елементів можливо, коли в системі передбачене дублювання цих елементів.

Значний вплив на технічний рівень й ефективність ГВСС роблять конструктивні особливості виробів, що складають, і вузлів (рис. 1) (габаритні розміри, маса, геометрична форма, точність відносного положення поверхонь, наявність у деталях напрямних фасок і т.п.). Конструкції деталей, що складають, з'єднань, вузлів і виробів, що не відповідають вимогам гнучкої автоматизованої складання, значно ускладнюють автоматизацію складальних операцій, що приводить до зниження ефективності ГВСС. Варто також ураховувати, що ГВСС виробів великих габаритних розмірів і маси будуть у значній мірі відрізнятися від ГВСС виробів невеликих габаритних розмірів і маси за рівнем автоматизації технологічних процесів складання, структурі й ефективності ГВСС при однакових програмах випуску виробів.

Побудова математичних моделей, що описують функціонування організаційних структур ГВС і враховуючі різні фактори, неможливо без класифікації типових елементів організаційних структур, властивому реальному виробництву виробів, і без побудови на основі класифікації моделей, що дозволяє зменшити обсяг їхнього тезауруса й тим самим обсяг інформації в ЕОМ,

використовуваних, наприклад, при проектуванні ГВС.

Під організаційною структурою ГВС виробництва виробів будемо розуміти структуру виробничої технологічної системи, що є матеріальною реалізацією технологічного процесу й задану на декомпозиційній множині її елементів E й множині зв'язків між ними.

Враховуючи, що процес функціонування ГВС розглядається в задачі оцінки надійності ГВС, поняття елементів і зв'язків ГВС повинні бути визначені із цих же позицій.

Під елементами ГВС мають на увазі автоматичне й автоматизоване технологічне обладнання (ГВМ), що реалізує основні технологічні операції, необхідні для кількісного і якісного перетворення предметів праці (продукції) відповідно до ТУ на їхнє виробництво, і автоматизовані або автоматичні засоби оснащення допоміжних операцій, необхідних для забезпечення функціонування основних ГВМ. Під зв'язками Ξ графа організаційної структури ГВС будемо розуміти матеріальні потоки продукції із зазначенням напрямку їхнього переміщення між типовими елементами (ГВМ) ГВС.

Введемо в класифікацію ГВМ E та зв'язку Ξ ГВС, що дозволяє на її основі побудувати моделі функціонування, і врахуємо при цьому, що будь-яка система обслуговування, у тому числі й технологічна, може бути описана характеристиками вхідного потоку продукції, дисципліни «обслуговування» і часу «обслуговування» (далі - обробки).

Аналіз організаційних структур типових технологічних процесів підприємства машино- і приладобудування, радіо- й електронної промисловості дозволив виявити типові організаційні структури виробництва й на їхній основі побудувати класифікацію елементів E , що наведена в табл. 3. Аналіз таблиці показує, що ГВМ володіють рядом ознак, частина з яких має потребу в поясненні.

При розгляді характеру функціонування ГВМ у часі необхідно розрізняти їхню надійність із двох позицій: пов'язану з відмовами й відновленнями самих технологічних модулів (ТМ) у процесі їхнього функціонування й з відмовами по якості типу «помилки» й «дефектів», що обумовлюють якість є продукції, що випускається.

ГВМ безвідносно до виду виконуваних технологічних операцій можна розглядати з позицій перетворення ними вхідних потоків продукції з певними характеристиками у вихідні потоки з іншими характеристиками. Виходячи зі сказаного всі вони мають загальні властивості і являють собою системи обробки вхідних на вхід виробів. Таким чином, вхідні й вихідні потоки продукції визначають матеріальні зв'язки в ГВМ і ГВС (між ГВМ).

Класифікація вхідних і вихідних потоків може бути зроблена за ознаками, у число яких входять імовірнісний опис, опис у часі, номенклатура виробів у потоці; відповідність і невідповідність ТУ виробів у потоці й деякі інші. Імовірнісний опис випадкових потоків продукції може бути деталізоване залежно від числа виробів, що з'являються в потоці за малий проміжок часу, взаємозв'язків між імовірнісними характеристиками потоку в часі, а також від

параметрів подій у потоці.

Таблиця 3. – Класифікація ГВМ

Ознака класифікації	Вид ГВМ
По виду виконуваних технологічних операцій	Складально-монтажні; регульовально-настроюванні; контрольні-іспитові; транспортні; нагромадження (зберігання) виробів
По відмовах при функціонуванні	З відмовами по продуктивності, якості й змішаному типу
По числу вхідних і вихідних накопичувачів у складі технологічних модулів	Без накопичувачів; з одним і декількома накопичувачами
По універсальності	Призначені для виконання технологічних операцій одного (спеціалізовані) і різних видів (універсальні)
По числу одночасно оброблюваних виробів	З обробкою одного й безлічі виробів
За розкладом роботи при виконанні операцій	Послідовна, паралельною й послідовно-паралельною в часі обробка

Потоки матеріальної продукції в реальних ГВС охоплюють всі ознаки наведеної класифікації. По ознаці номенклатури виробів у потоці розрізняють потоки з виробами одного й декількох найменувань. Перші з них характерні для масового й серійного одно номенклатурного виробництва, другі - для дрібносерійного багатомонономенклатурного виробництва. Залежно від числа виробів у потоці в кожний момент часу можуть бути потоки ординарні (з одним виробом) і неординарні (з декількома - пачкою виробів). Останні характерні для транспортування виробів у пачках, реалізований, як правило, у ГВС. У свою чергу, обсяг транспортної пачки може бути детермінованою й випадковою величиною, містити вироби одного або декількох найменувань, що залежить від характеру організації процесу транспортування виробів між ГВМ, видів ГВМ і деяких інших факторів.

Потоки продукції, що мають місце в ГВС, можна підрозділити на потоки придатної й дефектної продукції.

Подібне розмежування необхідно при аналізі функціонування ГВМ контролю, які виявляють дефектну продукцію, проріджуючи тим самим потоки з дефектною продукцією. Виділення потоків придатної продукції дозволяє оцінювати потенційну продуктивність її випуску. І, нарешті, виробу в потоці можуть містити один або кілька видів дефектів. Подібна ознака класифікації й відповідно опис потоків необхідні для оцінки показників ефективності функціонування ГВМ діагностики. Аналіз реальних технологічних систем виробництва продукції дозволяє визначити характер руху матеріальних потоків

(об'єктів виробництва) між ГВМ: послідовні, збіжні, розбіжні й зі зворотним зв'язком. Кожний із зазначених видів потоків характерний для відповідних видів з'єднань між ГВМ: перший - для послідовного з'єднання ГВМ (рис. 3, а); другий - для групи паралельно працюючих ГВМ (рис. 3, б); третій - для ГВМ і допоміжного устаткування, включених послідовно з ним (рис. 3, в); четвертий - для групи ГВМ, що виконують технологічні операції з наступним їх повторенням на наступних ГВМ (рис. 3, г). Звичайно останній вид з'єднань між ГВМ характерний для випадків виявлення дефектних виробів або для багаторазових повторень деяких технологічних операцій, наприклад лакування, нанесення шарів матеріалу й т.д.

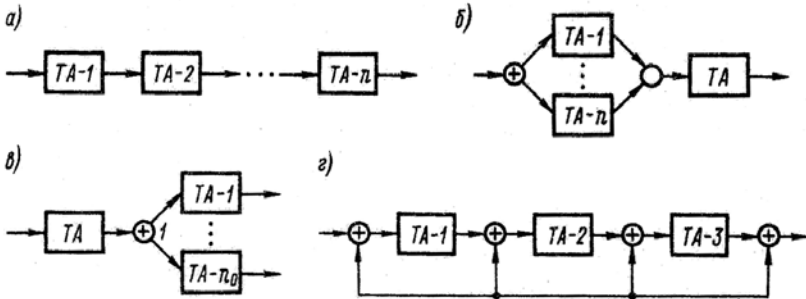


Рис. 3 - Види з'єднань між елементами виробничої системи:

а - послідовне; б - паралельне; в - послідовно-паралельне; г - зі зворотним зв'язком.

Класифікація ГВМ, матеріальних потоків (зв'язків), дисципліни й процесу виконання операцій є основою побудови моделей функціонування ГВМ і ГВС.

Класифікація ГВМ по дисципліні обслуговування включає дві ознаки: пріоритет і відмови в обробці виробів, що роблять на ГВМ. Відзначимо що ГВС, як правило, є системами без відмов в обробці. Час обробки виробів у ГВМ визначає технологічний операційний час (норму часу), необхідне для виконання робіт при проведенні технологічної операції. Час обробки залежить від ряду факторів: виду й номенклатури виконуваних технологічних переходів, як основних, так і допоміжних; числа одночасно оброблюваних виробів і проведених операцій й у зв'язку із цим може бути класифіковане по ряду конструкторсько-технологічних ознак. Залежно від виду ГВМ, на якому виконується обробка виробу, час обробки може бути детермінованою або випадковою величиною.

Можна виділити чотири типи математичних моделей, на основі яких, можна описати роботу ГВМ всіх класів. До останнього ставляться наступні типи умовних блоків ГВМ: блоки ГВМ технологічний модуль (ГМ) обробки (ТМО), що визначає виконання основних і допоміжних технологічних операцій (або елементів технологічних операцій); блоки-ГВМ, що визначають формування складального комплексу (БФСК) і транспортних пачок виробів (БФТП); блоки ГВМ, що характеризують процес прийняття рішень у ході

контролю або пошуку несправностей (БПР), а також ГВМ зберігання (ТМЗ) або нагромадження (ТМН) виробів між операціями.

Для ГВМ всіх типів можна виділити загальні оператори опису їхнього функціонування (рис.4). Аналіз показує, що у всіх зазначених ГВМ є ТМО, відповідальний за виконання відповідних технологічних або допоміжних операцій: у технологічному модулі складання (ТМС) - за проведення операцій складання, у технологічному модулі контролю (ТМК) - за проведення операцій контролю, у технологічному модулі формування транспортного комплекту - за формування транспортного комплекту виробі, у технологічному модулі транспортування - за транспортування комплекту виробів, у технологічному модулі зберігання (ТМЗ) - за видачу виробу. З функціонуванням ТМО в ГВМ різних видів зв'язані всі тимчасові характеристики й показники надійності їхнього використання.

Блоки ФСК (ФТК) (рис. 4, а, б), БПР (рис.4, в) і ТМН (ТМЗ) (рис.4, г) відображають специфічні сторони функціонування ТМС, ТМК і ТМН відповідно.

Допоміжний модуль зберігання виробів може включатися до складу ТМ будь-яких типів як їхній власний елемент (ТМЗ), а також використовуватися як самостійний елемент для між операційного нагромадження виробів (ТМН), тому далі ТМО в моделях може бути представлений у вигляді структурних схем, наведених на (рис. 4, д-ж). Наведене структурне представлення ТМ дозволяє спростити й уніфікувати їхній опис.

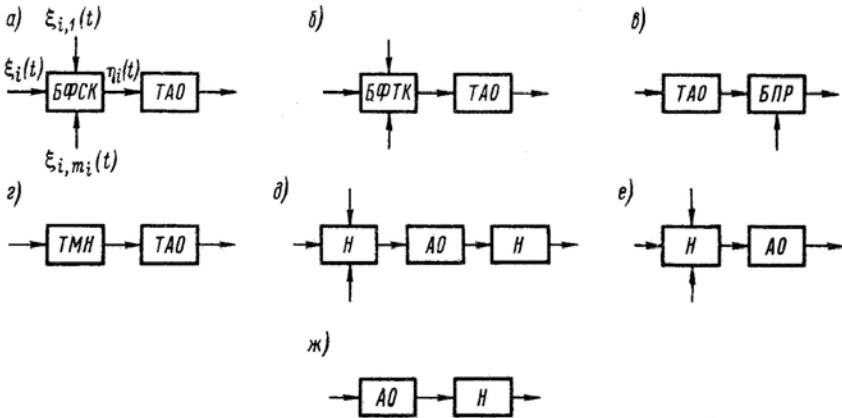


Рис. 4 - Структурне представлення моделей технологічних модулів:

а - складання; б - контролю; в - транспортування; г - зберігання; д, е, ж – обробки.

Час виконання технологічних операцій у ГВМ залежить від ряду факторів, пов'язаних з універсальністю ГВМ, тобто здатністю обробки сукупності виробів одного або декількох найменувань, складом виконуваних операцій (або елементів операцій), наявністю в ГВМ накопичувачів; зі структурою технологічних операцій, використовуваної при обробці в ГВМ; з особливістю

виробів, що надходять на обробку, і характеризуємо необхідною послідовністю й сукупністю операцій (переходів), виконуваних при їхній обробці, і ін. Зазначені фактори визначають тривалість тимчасового циклу обробки одного виробу і їхніх пачок і повинні враховуватися при аналізі надійності функціонування ГВС.

Імітаційне моделювання є одним з методів, що дозволяють оцінити систему і її реакцію на збурення по ряду показників. За допомогою моделювання при створенні АСК цехом можуть вирішуватися наступні завдання: визначення шляхів удосконалювання системи на основі моделювання різних варіантів технічної, технологічної, а також організаційної перебудови й дослідження наслідків ухвалених рішень. Імітаційне моделювання дозволяє робити відпрацьовування не тільки різних варіантів структур і режимів функціонування технічних засобів програмного забезпечення (у тому числі операційних систем, і промислових варіантів програм користувача), але й різних форм функціонування АСК.

Висновки. Таким чином, метою дослідження є підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва складальних процесів, а також:

- розробка моделі системи імітаційного моделювання складальних процесів;
- опис математичної моделі побудови імітаційного моделювання складальних процесів, структури функціонування моделей у системі, структури взаємодій елементів складання вузлів;
- розробка програмного і методичного забезпечення системи 3D моделювання складальних процесів;
- розробка програмного забезпечення на основі 3D моделювання з використанням програмного комплекту набору процедур і функцій OpenGL;
- розробка методичного забезпечення побудови імітаційних моделей моделювання складальних процесів на основі платформи HTML;
- розробка методів синтезу структури й параметрів технологічних процесів складання на основі 3D-моделювання;
- розробка моделі побудови формування звітності роботи системи імітаційного моделювання складальних процесів на основі платформи HTML.

Список літератури: 1. Гибкие производственные системы сборки /П.И. Алексеев, А.Г. Герасимов, Э.П. Давыденко и др.; Под общ. Ред. А.И. Федотова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989. – 349 с.; 2. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машино- и приборостроения: Справочник – М.: Машиностроение, 1995. – 608 с.; 3. Захаров М.В., Тимофеев Ю.В. Розробка технологічних процесів складання: Навч. Посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 152 с.; 4. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник. В 2-х т. Т2 /Ред. совет: В.С. Корсаков и др.. – М: Машиностроение, 1983. – 360 с.

Поступила в редколлегию 16.04.2010