

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

Ю.А. Воробйов, В.Г. Данченко

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ
У ВИРОБНИЦТВІ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Навчальний посібник для студентів факультету заочного навчання

Харків "ХАІ" 2005

УДК 629.735.33.002.72

Основи технології складально-монтажних робіт у виробництві авіаційно-космічної техніки / Ю.А. Воробйов, В.Г. Данченко. – Навч. посібник для студентів факультету заочного навчання. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2005. – 93 с.

Викладено основні теми програми навчальної дисципліни "Основи технології авіаційно-космічної техніки (АКТ)", пов'язані з описом процесів технологічної підготовки складально-монтажних циклів виробництва АКТ, аналізом й оптимальним вибором схем членування конструкцій літальних апаратів (ЛА), проектуванням схем складання і забезпеченням взаємозамінності об'єктів складання, обґрунтуванням раціональних параметрів їхнього складання. Наведено аналіз основних способів утворення з'єднань конструкцій ЛА, у тому числі й з полімерних композиційних матеріалів. Описано основні роботи при загальному складанні ЛА, їх наземних і літних випробуваннях.

Для студентів заочної та дистанційної форм навчання всіх спеціальностей, що вивчають технологію складально-монтажних робіт у виробництві авіаційно-космічної техніки.

Бібліогр.: 68 назв

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. М.Ф. Савченко,
канд. техн. наук, доц. Г.С. Олійник

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”, 2005 р.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АКТ – авіаційно-космічна техніка
БЕ – базовий еталон
БО – базовий отвір
БС – бортові системи
БФО – базовий фіксуєчий отвір
ВК – відбиток контрольний
ВЗМ – взаємозамінність
ВЧПК – верстати з числовим програмним керуванням
ДКБ – дослідне конструкторське бюро
ЕВ – еталон вузла
ЕОМ – електронно-обчислювальні машини
ЕП – еталон поверхні
ЕР – експлуатаційні рознімання
ЕРЗУ – електрорадіозв'язне устаткування
ЕРСО – електрорадіосвітлове обладнання
ЕСТПВ – єдина система технологічної підготовки виробництва
ЕШМ – еталонно-шаблонний метод
ЗЧК – знімна частина крила
ЗПП – злітно-посадочні пристрої
ЗПС – злітно-посадочні смуги
ЗУК – заклепка універсальна з компенсатором
ІС – інструментальний стенд
КВС – контрольньо-випробувальна станція
КДП – командно-диспетчерський пункт
КЕ – контретапон
КВС – контрольньо-випробувальні станції
КМ – композиційні матеріали
КП – конструкторський плаз
КТМ – конструкторсько-технологічні матеріали
КР – конструктивні рознімання
КРП – корзина розрахункових перерізів
КШМ – координатно-шаблонний метод
КФО – координатно-фіксуєчий отвір
КЦМ – координатно-цифровий метод
ЛА – літальний апарат
ЛВС – літно-випробувальна станція
НДІ – науково-дослідний інститут
НТП – нормалізовані технологічні процеси
НФО – настановно-фіксуєчий отвір
МЕ – монтажний еталон
МО – монтажні отвори
МКАУ – метод координатно-аналітичного узгодження
МОУ – метод об'ємного узгодження

МСР – механоскладальні роботи
МУ – механічне устаткування
ПЗК – піскозліпок
ПК – плаз-кондуктор
ПКМ – полімерні композиційні матеріали
ПШМ – плазово-шаблонний метод
ОП – об'ємний плаз
ОСБ – отвори під стикувальні болти
ОЧК – окрема частина крила
СЧК – серединна частина крила
САПР – система автоматизації проектування робіт
Скл.Од. – складальна одиниця
СМР – складально-монтажні роботи
СО – складальні отвори
СТО – стандартна технологічна операція
СУ – силові установки
РЕЗ – роликів електрозварювання
ТЕЗ – точкове електрозварювання
ТВ – технологічні вимоги
ТЗ – технічне завдання
ТК – технологічність конструкції
ТКВ – технологічність конструкції виробу
ТР – технологічні рознімання
ТП – технологічний процес
ТПл – теоретичний плаз
ТПВ – технологічна підготовка виробництва
ТО – технологічні отвори
ТТП – типовий технологічний процес
ТУ – технічні умови
ТПВСР – технологічна підготовка виробництва складальних робіт
ШВК – шаблон внутрішнього контуру
ШКК – шаблон контрольнo-контурний
ШП – шаблон пристрою
ШМФ – шаблон монтажно-фіксуєчий
ШФ – шаблон фрезерування
ШОК – шаблон обрізки контуру та кондуктор для свердлення
УБО – установочно-базові отвори
УФО – установочно-фіксуєчі отвори
ЧЕП – частковий еталон поверхні
ЧПК – числове програмне керування
ЦЗС – цех загального складання

ВСТУП

Сучасне виробництво АКТ, до якої відносяться літаки, вертольоти, ракети та інші літальні апарати, базується на науковій технологічній системі створення виробів машинобудівної галузі при широкій кооперації з галузями приладобудування, електроніки, металургії, радіопромисловості, хімічної й ряду інших.

Складальні роботи займають особливе місце у виробництві авіаційно-космічної техніки (АКТ). Підвищення якості складальних робіт істотно впливає на ефективність усього виробництва, оскільки трудомісткість складання становить 45...50% загальної трудомісткості виготовлення АКТ.

Складання відрізняється від інших технологічних процесів тим, що його складовими частинами є різноманітні, фізично різнорідні процеси установлення, клепаання, зварювання, склеювання та ін.

Специфічні умови виробництва АКТ ставлять особливі вимоги до устаткування складальних цехів, що має бути в достатньому ступені універсальним у зв'язку з частою зміною об'єктів виробництва й у той же час забезпечувати високу продуктивність праці. Різнманітність виробів, що збирають, потребує типізації устаткування й оптимізації його складу з урахуванням конкретних особливостей виробництва.

Вимоги до елементів конструкції, що надходять на складання, істотно впливають на зміст технологічних процесів виготовлення деталей АКТ заготівельно-штампувальними роботами, механічною обробкою та ін.

Зміст технологічних процесів складання, прийняті методи й засоби забезпечення взаємозамінності та точності складальних одиниць (Скл. Од.) впливають на склад і структуру технологічного оснащення. Тому проектування технологічних процесів і засобів оснащення складання при технологічній підготовці виробництва необхідно здійснювати з урахуванням комплексу факторів, що впливають майже на всю виробничу систему підприємства.

Технологічні системи організації серійного виробництва АКТ вивчають при викладанні ряду інженерних курсів:

1. Фізико-хімічні основи технологічних процесів.
2. Система технологій.
3. Основи технології та виробництва об'єктів аерокосмічної техніки.
4. Технологія виробництва літаків та вертольотів.
5. Технологія виробництва ЛА та енергодвигунових установок.
6. Технологія виробництва агрегатів ЛА.
7. Автоматизація технологічної підготовки виробництва об'єктів аерокосмічної техніки.
8. Механізація та автоматизація технологічних процесів.

9. Технологічна підготовка виробництва.
10. Технологія складально-монтажних робіт.
11. Приймально-здавальні випробування літаків і вертольотів.
12. Устаткування та оснащення авіавиробництва.

Перелічені спеціальні курси логічно пов'язані з дисципліною "Конструкція й проектування АКТ" і оснований на навчальних програмах загальноінженерних і загальнонаукових фундаментальних дисциплін, що передують розглянутим технологічним курсам. В заключному розділі технологічного циклу розглядається дисципліна курсу: "Складально-монтажні й випробувальні роботи при виробництві об'єктів АКТ".

1. МІСЦЕ Й РОЛЬ СКЛАДАЛЬНО-МОНТАЖНИХ І ВИПРОБНИХ РОБІТ У СТРУКТУРІ ПІДПРИЄМСТВ З ВИРОБНИЦТВА АКТ [1, 2, 4, 6, 8, 11, 16, 17, 31, 42, 43, 48, 52, 54, 55]

Проекти зі створення нової АКТ реалізують у спеціальних конструкторських бюро і на серійних заводах, що становлять спеціалізовані галузі виробництва, такі, як літако- і вертольотобудування та аерокосмічну. Проектуванням і виготовленням двигунів, приладів, бортового устаткування АКТ займаються інші спеціалізовані галузі: двигунобудування, приладобудування, електронна промисловість і т.п.

Літако- і вертольотобудування у галузі виробництва АКТ є основною ланкою, оскільки поряд з виготовленням і складанням планера виробів здійснюють монтаж і випробування двигунів, спеціальних приладів, устаткування й окремих їх агрегатів.

Літаки й вертольоти являють собою складні технічні системи, що складаються з окремих структурних елементів точного функціонального призначення, й складні зв'язки, що мають між собою чітку залежність. Така система в загальному випадку містить такі підсистеми: планер; силові установки (СУ); системи керування, що обслуговують планер, двигуни й шасі; механізми та агрегати, що забезпечують виконання спеціальних функцій; спеціальне устаткування й засоби зв'язку; злітно-посадочні пристрої (ЗПП). До складу підсистем входять окремі їх частини й елементи: агрегати, відсіки, секції, панелі, вузли, підвузли й деталі. Поява конкретного ряду підсистем й їхніх частин викликана процесом членування ЛА на окремі складальні одиниці за допомогою конструктивних, технологічних та експлуатаційних рознімань. Це забезпечує розширення фронту складальних робіт, розподіл праці при проектуванні й виробництві, підвищує якість виробів, дозволяє механізувати технологію складання, поліпшити умови праці та її продуктивність.

Отримані при членуванні АКТ підсистеми та їхні частини є об'єктами **складально-монтажних** та **контрольно-випробних робіт**. Ефективність складальних процесів багато в чому залежить від раціональності членування; рівня розвитку методів виробництва; технічних характеристик технологічного устаткування й оснащення; від зручностей підходу при складанні й поліпшення якості Скл. Од., а також від техніко-економічних показників складального виробництва. Дуже велика монолітність конструкції АКТ або дуже дрібне членування планера на частини можуть бути однаково не вигідні як з технологічної, так і організаційної точок зору. Тому членування має бути оптимальним для конкретних умов складального виробництва [11, 16, 17, 28, 32, 37, 39, 40, 41, 42, 47, 48, 52, 54, 58].

Нижче наведено характерні визначення типових Скл. Од., отриманих у результаті членування АКТ.

Агрегат – найбільш велика частина планера, закінчена в конс-

труктивному й технологічному відношенні, що складається з панелей, вузлів, відсіків, секцій і деталей конструкції АКТ, наприклад, крило, фюзеляж, елерон, стабілізатор, хвостова балка вертольота та ін.

Відсік – велика Скл. Од. агрегату, утворена в результаті перерізу агрегату площиною, перпендикулярною (або під кутом) до основних конструктивних базових осей агрегату і має в поперечному перерізі замкнений аеродинамічний контур, наприклад, носова частина фюзеляжу, середній відсік крила, центроплан, частина лопаті вертольота та ін.

Секція – частина відсіку або агрегату, утворена січними площинами, поздовжніми або поперечними відносно конструкторських базових ліній, і не має замкненого аеродинамічного контуру, наприклад, носова й хвостова секції крила, міжлонжеронна частина крила, нижня частина фюзеляжу.

Панель – частина агрегату, відсіку або секції, що складається з ділянки обшивки, підкріпленої розрізними елементами силового набору, каркаса, наприклад, панелі середньої частини фюзеляжу, панелі окремої частини крила (ОЧК), панелі мотогондולי двигуна.

Вузол – окрема Скл. Од., що входить до складу агрегату, відсіку, секції планера АКТ, або частина бортової системи, силової установки або ЗПП, складена із двох і більше деталей, наприклад, шпангоут, нервюра, лонжерон, тяга керування, штурвальна колонка пілота, камера згоряння двигуна, підкіс стояка шасі та ін.

Підвузол – невелика Скл. Од., що входить до складу великих вузлів літака, наприклад, стінка шпангоута, яка складена зі стояками й окантовками; пояс лонжерона, складений з фітингами.

Деталь – елемент конструкції, нерознімний при складальному процесі, або елементарна частина АКТ, виготовлена з однієї заготовки. Деталь – первинний елемент складання (наприклад, обшивка, профіль, труба, кронштейн та ін.).

При складанні вузлів, панелей, секцій, відсіків та агрегатів деталі й Скл. Од. з'єднують між собою у певному положенні й послідовності, зазначених у кресленнях, технічних умовах і технологічних процесах складально-монтажних робіт. Процес виготовлення АКТ умовно можна розділити на шість основних етапів.

1. **Виготовлення деталей** [11; 16; 31; 42; 48; 51] за допомогою різних методів: механічної обробки, листового й об'ємного штампування, лиття, електрохімічних, електрофізичних методів та ін. Основними групами деталей АКТ є зовнішні обшивки, обичайки, стрингери, деталі нервюр, шпангоутів, лонжеронів, монолітні панелі, фітинги й стикувальні елементи, деталі трубопроводів, шасі, систем керування та ін.

2. **Складання вузлів і панелей** [4, 6, 11, 13, 14, 16, 25, 27, 28, 29, 31, 40, 41, 42, 51, 53, 55, 64] з деталей: шпангоутів, нервюр, лонжеронів і т.п. Основними методами з'єднань деталей у вузли є клепання,

зварювання, склеювання, паяння, болтові та гвинтові з'єднання.

3. **Складання секцій, відсіків, агрегатів** [4, 5, 6, 7, 9, 54] згідно з констуктивно-технологічним членуванням: фюзеляжів, центропланів, крил (ЗЧК і СЧК), стабілізаторів, кілів, закрилків, елеронів, мотогондол, гондол шасі, лопатей несучого гвинта вертольота та ін. Вузли й панелі складають в агрегати за допомогою клепання, зварювання, болтових з'єднань.

4. **Загальне складання планера з агрегатів** [6, 13, 16, 20, 31, 32, 41, 42, 43]: Частини крила, відсіки фюзеляжу, хвостове оперення, хвостову й кінцеву балки вертольота з'єднують, як правило, за допомогою болтових з'єднань.

5. **Монтажні й стикувальні роботи** [6, 16, 31, 40, 41, 43, 46, 53, 58], до яких входять: установлення двигунів, ЗПП, органів керування, монтаж гідро-, пневмо-, газових систем, електро- і радіосистем, навігаційного й іншого устаткування, апаратури і приладів. Монтажні роботи виконують не тільки після заключного складання планера, але й на етапах агрегатного, секційного, панельного і навіть вузлового складання. Ці роботи характеризуються великою різноманітністю технологічних процесів: виконується багато болтових з'єднань (навішення двигунів, шасі, рулів й ін.), застосовуються паяння, зварювання. Значний обсяг складають слюсарні роботи (прокладка електроджгутів, трубопроводів, установлення устаткування, приладів).

6. Заключним етапом виготовлення АКТ є **випробування** [52, 58]. Контроль і випробування на функціонування різних систем виконують на контрольно-випробувальних стендах на аеродромах (**наземні випробування**). **Літні випробування** – це комплексні та завершальні випробування.

Протягом технологічного циклу виготовлення АКТ у складальних цехах виконують зазначені вище складальні, монтажні й контрольно-випробувальні роботи. Нижче наведено визначення основних операцій складальних, монтажних і контрольно-випробних робіт.

Технологічні операції складання – сукупність процедур, виконуваних робітником або автоматично, з послідовного установлення Скл. Од. і деталей у просторі, їхньої фіксації та з'єднання відповідно до креслення або умов технічної документації [4, 6, 11, 17, 40, 41, 42].

Технологічний процес монтажу [17, с. 5] – сукупність дій з установлення або розміщення на Скл. Од. (панелі, вузлі, відсіку, агрегаті) планера АКТ предметів устаткування, приладів, СУ, ЗПП, проводок управління, комунікацій ЕРЗУ, гідрогазових систем, систем контролю й інших функціонально автономних блоків з подальшою їхньою фіксацією до елементів силової схеми планера.

Регулювання – процес приведення окремих вихідних параметрів систем у відповідність до технічних вимог за рахунок зміни параметрів вхідних у систему ланок, наприклад, регулювання кутових відхилень закрилків, елеронів, рулів літака.

Випробування – комплекс робіт з приведення АКТ, її елементів, бортових систем у робочий стан з метою визначення їхньої якості, наприклад, випробування на герметичність кабіни пілотів.

Контроль – комплекс робіт з виміру, оцінки та реєстрації параметрів якості планера, бортових систем або літака в цілому, наприклад, контроль злітно-посадочних характеристик (довжини розбігу, пробігу, швидкості відриву та ін.).

Обсяг складально-монтажних робіт (СМР) залежить від кількості й конструкції вхідних у планер і бортові системи деталей і Скл. Од., механізмів, приладів, апаратури, довжини комунікацій, способів їхнього з'єднання між собою, оптимальності схеми **конструктивно-технологічного членування** АКТ, прийнятих **методів забезпечення взаємозамінності** вхідних у конструкцію Скл. Од., технічних умов на якість складання й монтажу.

Головними особливостями складально-монтажних робіт є:

1) велика різноманітність таких операцій, які суттєво залежать від кваліфікації виконавців;

2) висока трудомісткість операцій СМР, що досягає 60% загальної трудомісткості виготовлення ЛА (вузлове складання – до 25%; агрегатне складання – до 20%; загальне складання й випробування – до 15%);

3) визначальний вплив СМР на вихідні параметри якості АКТ у цілому; звідси підвищені вимоги до технологій контролю й випробувань об'єктів СМР на всіх стадіях виготовлення АКТ;

4) значний обсяг ручних операцій, що, у свою чергу, збільшує чисельність робітників і подовжує цикл СМР.

2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ [17, 37, 40, 41, 42, 50, 51, 52, 65]

2.1. Види технологічності конструкції та їх оцінок. Властивості виробу як фактор оцінок технологічності конструкції. Якісні показники технологічності [17, с. 17-25; 37, с. 9-27; 40, с. 15-27, с. 32-56; 41, с. 32-44; 50, с. 18-24]

АКТ, основними представниками якої є літаки, вертольоти, ракети, оцінюють як за рівнем льотно-тактичних характеристик, так і за рівнем виробничих показників. Останні залежать від технологічної досконалості основного виробництва серійного заводу і **технологічності конструкції виробу** (ТКВ). Для підвищення ефективності виробництва вирішальне значення має технологічність конструкції (ТК).

Технологічність конструкцій (ТК) [50, с. 12; с. 548-690; 65, с. 2] – це сукупність властивостей і характеристик конструкції, які виявляються при можливості оптимізації витрат праці, засобів, матеріалів і строків при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті виробу, при забезпеченні заданої якості та прийнятих умов виробництва й експлуатації.

ТК – закладена при проектуванні властивість конструкції, що дозволяє одержати виріб заданої якості й з високими техніко-економічними показниками виробництва.

ТК відповідно до області її виявлення можна підрозділити на **виробничу, експлуатаційну** та **ремонтну**. Виробнича ТК виявляється в скороченні витрат часу і засобів на технічну підготовку виробництва та витрат на виробництво, контроль і випробування АКТ, експлуатаційна технологічність – у скороченні витрат часу та засобів на технічне обслуговування і ремонт.

Основними факторами, що визначають вимоги до технологічності конструкції, є:

- 1) **вид виробу**: деталь, вузол, агрегат, планер, основні функціональні групи бортових систем, літак у цілому [50, с. 48-54; 52, с. 8-13];
- 2) **обсяг випуску і тип виробництва** (одиничне, серійне, масове).

Вимоги до технологічності деталей, вузлів, агрегатів АКТ можуть розрізнятися залежно від застосовуваних напівфабрикатів і методів обробки деталей, а також від видів з'єднання вузлів і агрегатів та ін. Вимоги до ТКВ, що виготовляють масовим або одиничним способом, можуть значно відрізнятися. Масове виробництво з технологічної точки зору має бути відпрацьоване більш ретельно. Технологічність можна оцінити як **якісним**, так і **кількісним** способом. Якісна оцінка має трохи загальний характер ("добре", "погано"), однак досвід авіабудівельної промисловості дає можливість сформулювати ряд

вимог до конструкції, які важко виразити кількісно; як правило, це порівняльна оцінка. При проектуванні нового виробу знаходять прототип, виготовлення якого вже виявило фактори, що не узгоджуються з вимогами виробництва і призводять до більших витрат праці й часу. На основі досвіду виробництва окремі варіанти конструкції можна вилучати з обговорення як неприйнятні, інші варіанти можна прийняти без перевірки, а в деяких випадках необхідно виконати кількісні розрахунки показників технологічності. Розглянемо якісні показники ТК.

1. Простота форм поверхонь агрегатів АКТ. Планер і його агрегати, утворені лінійчастими поверхнями, безумовно, простіші у виготовленні, ніж планер, у якого фюзеляж, крила, оперення утворені більш складними нелінійчастими поверхнями другого порядку. Ще краще, коли фюзеляж складений з відсіків, що мають форму тіл обертання й подовжену циліндричну частину. Круглі циліндричні й конічні поверхні забезпечують простоту розкреслювання плазів, складання математичних моделей форм і розмірів, збільшують уніфікацію конструкції по детальному комплекту.

2. Раціональне членування конструкції АКТ. Доцільне членування планера й агрегатів істотно впливає на трудомісткість і собівартість виробництва. Раціональне членування має обумовлювати мінімальний цикл СМР, малу трудомісткість робіт, мінімальну кількість робочих і виробничих площ. Оптимізація членування за цими параметрами є складним завданням, тому що при цьому треба враховувати обсяг і тип виробництва, а також прийняті методи складання й узгодження оснащення. Вибираючи схему членування, треба враховувати, що фланцеві стики більш технологічні, ніж гребінчасті, вушкоподібні, стрічкові; стик, розташований в одній площині, перпендикулярній до осі агрегату, має переваги перед східчастим або косим стиком.

Раціональне членування агрегатів і відсіків на панелі забезпечує "розкриття" конструкції, що поліпшує доступ до місць з'єднання й монтажу, а також можливість механізації та автоматизації операцій СМР.

Узагальненим показником ефективності раціональної схеми членування є **питома трудомісткість**, люд.год / кг:

$$\Theta = \frac{\sum T_u}{G},$$

де T_u – сумарна трудомісткість виготовлення,
 G – маса виробу.

Чим менше коефіцієнт Θ , тим більш технологічною є вибрана схема членування.

3. Максимальне використання в конструкції матеріалів з високими технологічними властивостями (зварюваність, оброблюваність різанням, штампованість та ін.). Дана обставина значно

знижує трудомісткість обробки й деформування деталей, а також СМР. При утворенні з'єднань клепанням, зварюванням, болтами підвищується продуктивність праці. При механічній обробці матеріали мають різний діапазон оброблюваності: наприклад, якщо оброблюваність різанням сталі 30ХГСА прийняти за одиницю, то оброблюваність магнієвих сплавів складе 7,5; алюмінієвих сплавів – 7,0; хромо-нікелевої сталі 1Х18Н9Т – 0,7; титанових сплавів – 0,2...0,4. До легко оброблюваних матеріалів традиційно відносять алюмінієві сплави (Д16, АК4-1, АМГ-2, Д19), добре деформується й зварюється титановий сплав ОТ4-1, гірше деформується ВТ-22. Щодо питомої міцності добре зарекомендували себе титанові сплави, але технологія обробки багатьох з них складна і трудомістка. Це ж можна сказати й про композиційні матеріали, які нині ще дорого коштують, але намічається тенденція до їхнього здешевлення.

4. Уніфікація елементів конструкції й обмеження кількості застосовуваних марок матеріалів. Уніфікація – це раціональне скорочення номенклатури деталей або матеріалів однакового функціонального призначення. Вона сприяє скороченню потрібного оснащення, інструментів, устаткування, дозволяє розширити серійність виготовлення, знизити витрати на виробництво. Зменшення номенклатури конструкційних матеріалів знижує обсяг робіт з організаційної підготовки виробництва, складання операційних технологій, визначення раціональних режимів і освоєння процесів обробки, зварювання, складання. Уніфікація є базою для стандартизації складових частин конструкції виробу.

5. Можливо більш широке застосування в конструкції стандартних вузлів і деталей. Звичайно параметри стандартних деталей і вузлів ретельно відпрацьовані, а їхнє виготовлення організоване найбільш прогресивним методом на спеціалізованих дільницях. Це визначає високу якість і низьку собівартість таких виробів і важливо з позицій експлуатаційної технологічності. Для конструктора урахування цієї вимоги є дуже важливим, на це повинен звертати увагу й технолог при аналізі конструкторської документації на технологічність. Особливо важливе використання деталей стандартного ряду кріплення й номенклатури деталей бортових систем АКТ, для яких розробляють спеціальні нормалі.

6. Можливо більша конструктивна наступність. Використання в одному виробі деталей і Скл.Од., застосованих в інших, освоєних виробництвом, виробках подібного типу, дозволяє значно скоротити витрати на всіх етапах технічної підготовки. Даний фактор приводить до значного скорочення строків освоєння нового серійного виробу, підвищення всіх техніко-економічних показників СМР. Наступність може значно розширити економічні зв'язки в системі кооперації й спеціалізації окремих заводів.

7. Відсутність надмірно високих вимог до точності роз-

мірів і чистоти обробки поверхонь елементів конструкції. Розрахунок розмірних ланцюгів визначає необхідну точність виготовлення деталей і Скл. Од., а також точність монтажу й регулювання систем, у тому числі й нівеліровочні параметри планера АКТ. Вихідні первинні допуски задають у технічній документації на виріб. Технологічні розмірні ланцюги розраховує технолог, що дає можливість оптимізувати вибрані методи складання, методи виготовлення деталей і Скл. Од., а також методи забезпечення взаємозамінності, які, у свою чергу, впливають на ТК. Таким чином, точність розмірів при виготовленні й складанні можна змінювати, досягаючи, проте, заданої якості об'єкта. Знижуючи точність, зменшуємо трудомісткість робіт, оскільки зниження на один квалітет точності зменшує вдвічі витрати на обробку. Витрати виробництва при обробці класу шорсткості поверхні деталей залежать від забезпеченої чистоти поверхні й способу обробки. Точіння, шліфування, полірування, розгортання, дорнування, хонінгування, обробка дробом та іншими операціями мають бути оптимально нормовані технічною документацією.

8. Наявність достатніх підходів до місць з'єднань, що забезпечують зручність їхнього виконання й застосування компенсаторів. Цю вимогу ТК перевіряють при ретельному вивченні конструкторської документації й при початковому складанні головного виробу серії. Її порушення призводить до погіршення якості виробу й зниженню техніко-економічних показників виробництва. Для поліпшення доступності зон СМР варто переглянути схему членування або ввести конструктивні доробки. Для зниження вимог щодо точності узгодження елементів конструкції, що сполучають, і забезпечення можливості здійснення складання по місцю без припасування призначають **конструктивні й технологічні компенсатори**. Такий прийом дозволяє знизити трудомісткість СМР і підвищити ТК. Крім наведених вище якісних показників при аналізі ТК існують й інші.

1. Проектуючи Скл.Од., конструктор повинен пристосовувати її до вибраного методу складання. Наприклад для можливості проводити складання по КФО агрегати й відсіки АКТ, що мають замкнену конструкцію, потрібно розчленувати на **"відкриті"** панелі й вузли, причому шпангоути мусять мати стики, що збігаються зі стиками панелей, а між окремими сегментами шпангоутів мають бути передбачені компенсуювальні зазори. У місцях розташування КФО в монолітних панелях і вузлах слід передбачати посилення.

2. Рекомендується стрингери циліндричних агрегатів розташовувати або паралельно (фюзеляжні відсіки), або по процентних лініях на відсіках крил й оперення, або в площинах, що проходять через вісь агрегатів конічної форми або агрегатів подвійної кривизни.

3. Рекомендується, щоб кроки стрингерів і шпангоутів були уніфіковані.

4. У герметичних відсіках передбачають мінімальну довжину

заклепувальних швів; тут раціонально застосовувати монолітні панелі і зварювальні з'єднання.

5. Для полегшення монтажних робіт і розосередження їх по агрегатних цехах необхідно:

- елементи систем монтувати на окремих панелях, платах, пультах і т.п.;
- для прокладки комунікацій (електроджгутів, трубопроводів) необхідно передбачати спеціальні ніші або жолоби;
- окремі системи треба розташовувати у відсіках або агрегатах з можливою закінченістю.

6. Якщо в конструкціях застосовують монолітні панелі, то не рекомендується використовувати їх у великих відсіках подвійної кривизни. У протилежному разі складальні роботи ускладнюються.

2.2. Показники кількісної оцінки технологічності конструкції (основні й додаткові). Вирішення завдань технологічності на різних стадіях проектування. Технологічність – передумова якості виробу й ефективності виробництва [50, с. 81-109, 127-202; 40, с. 24-26; 41, с. 44-56]

Кількісні показники технологічності відповідно до діючих стандартів підрозділяють на дві групи: основні й додаткові. Вони необхідні для кількісного порівняння варіантів ТК, а також для планування підвищення технологічності в часі.

До основних показників ТК відносяться **абсолютні значення трудомісткості T_e** й **технологічної собівартості $C_{m,e}$** виготовлення виробу й показники рівнів технологічності:

- 1) за трудомісткістю $K_m = T_e / T_{e,б}$;
- 2) за технологічною собівартістю $K_{cm} = C_{m,e} / C_{m,б}$,

де T_e й $T_{e,б}$ – очікувана трудомісткість виготовлення проектного та базового показників;

$C_{m,e}$ і $C_{m,б}$ – очікувана технологічна собівартість проектного виробу і собівартість базового показника.

До додаткових показників технологічності відноситься ціла низка окремих і комплексних, абсолютних і відносних показників, за допомогою яких можна оцінити конструкцію як з економічного, так і технічного боку. Додатковими виробничими показниками за трудомісткістю є:

1) **питома трудомісткість виготовлення виробу $t_e = T_e / G$** , де G – маса виробу; таким чином, t_e виражає трудові витрати на одиницю маси конструкції, люд./кг;

2) **відносна трудомісткість заготівельних робіт $t_{з,р} = T_{з,р} / T_e$** , де $T_{з,р}$ – сума трудомісткості процесів виготовлення всіх заготовок;

3) **відносна трудомісткість виду технологічних процесів**

(механічна обробка, штампування, зварювання й т.п.) $t_{e.m}=T_{e.m}/T_e$, де $T_{e.m}$ – трудомісткість даного виду технологічного процесу (складання, випробувань та ін.). Цей показник характеризує співвідношення різних видів робіт при виготовленні АКТ.

Додатковими виробничими показниками за собівартістю є:

1) **питома собівартість** $C_{пум}=C_e/G$, де G – маса виробу; $C_{пум}$ – вартість виготовлення одиниці маси; C_e – повна собівартість виготовлення виробу;

2) **питома технологічна собівартість** $C_{т.сб.пум}=C_{т.е}/G$, де $C_{т.сб.пум}$ – технологічна собівартість одиниці маси конструкції.

Чим нижче ці коефіцієнти, тим рівень технологічності конструкції вище.

У СМР використовують й інші додаткові показники ТК:

1) **коефіцієнти уніфікації й стандартизації складальних одиниць** $K_{у.с}=N_{у.с}/N_c$; $K_{с.с}=N_{с.с}/N_c$, де $N_{у.с}$ й $N_{с.с}$ – кількість уніфікованих та стандартних Скл. Од. відповідно; N_c – загальна кількість складальних одиниць;

2) **коефіцієнт застосування типових технологічних процесів** $K_{т.п}=N_{т.п}/N_p$, де $N_{т.п}$ – кількість типових технологічних процесів, N_p – загальна кількість технологічних процесів;

3) **коефіцієнт використання матеріалу** $K_{e.m}=m_e/m_3$, де m_e – маса виробу; m_3 – сума мас заготовок;

4) **коефіцієнт панелювання** $K_{пан}=F_p/F_{пл}$, де F_p – сума площ панелей, виділених в окремі Скл. Од; $F_{пл}$ – площа поверхні планера;

5) **коефіцієнт пресового клепа** $K_{п.к}=N_{п.к}/N_3$, де $N_{п.к}$ – кількість заклепок, що розклепують на пресах і автоматах; N_3 – загальна кількість заклепок на виробі;

6) **коефіцієнт наступності конструкції** $K_{наст.к}=G_{з.ел}/G_3$, де $G_{з.ел}$ – маса запозичених елементів з освоєних конструкцій; G_3 – загальна маса конструкції нового виробу.

Важливим є відпрацьовування на технологічність бортових систем АКТ. Тут застосовують такі показники:

1. **Коефіцієнт панелювання бортових систем** $K_{п.с}=N_{п.с}/N_c$, де $N_{п.с}$ – кількість блоків й агрегатів, попередньо монтованих на панелях; N_c – загальна кількість блоків й агрегатів бортових систем.

2. **Коефіцієнт монтажу комунікацій в агрегатах** $K_M=N_{м.к}/N_k$, де $N_{м.к}$ – кількість комунікацій, що мають конструктивні рознімання по стиках агрегатів; N_k – загальна кількість комунікацій на агрегаті.

При аналізі ТК різних варіантів виробу використовують два методи:

1. Як критерій оптимізації застосовують один найважливіший для даних умов показник технологічності; для інших показників установлюють обмеження; перевагу віддають варіанту з найкращим значенням основного критерію.

2. Для оцінки технологічності використовують комплексний показник K , що враховує ряд додаткових показників: K_1, K_2, K_3 і т.д. У комплексному критерії одержує відбиття різна значимість окремих додаткових показників: $K = K_1 \cdot K_{1n} + K_2 \cdot K_{2n} + \dots + K_n \cdot K_{n,n}$, де $K_{1n}, K_{2n}, \dots, K_{n,n}$ – коефіцієнти питомого впливу додаткових показників. Їхня сума дорівнює одиниці. Ці коефіцієнти визначають або експертно, або на основі статистики.

Незважаючи на відносну стрункність системи показників ТК, визначення їхніх кількісних значень для АКТ представляє певні труднощі. Основні абсолютні показники технологічності – трудомісткість і технологічна собівартість – мають цінність тільки у **відносному вираженні** порівняно з аналогами АКТ, трудомісткість і собівартість окремих частин яких або повну їхню трудомісткість і собівартість приймають у розрахунках як базові показники. При виборі базових показників слід враховувати стан і розвиток техніки, обсяг випуску виробів і тип виробництва. Для деяких зразків АКТ, створюваних знову, важко знайти аналог.

Для кваліфікованого вибору базових ТК використовують статистику по виробках авіаційної техніки, що були випущені раніше. Для розрахунку трудомісткості і технологічної собівартості знову проєктованої машини мають бути використані відомі емпіричні розрахункові формули, в яких враховані різні укрупнені показники по питомих трудомісткостях і собівартостях окремих об'єктів конструкцій АКТ.

Досягнення різного рівня ТК на різних стадіях освоєння АКТ у виробництві також свідчить про відносність поняття ТК. Зі збільшенням серійності виробництва підвищується рівень ТК. Конкретні умови виробництва АКТ значно впливають на рівень технологічності виробів. Роботи з додання конструкціям АКТ ознак технологічності проводять на всіх стадіях проєктування виробів. Якщо ефективність відпрацьовування на технологічність прийняти за 100%, то найвагоміші рішення щодо ТК реалізуються **на стадії технічного й ескізного проєктування**, коли визначають принципову й конструктивну схеми виробу, що істотно впливають на ТК. На стадії розробки **технічного завдання** вивчають технічні характеристики проєктованого виробу та зіставляють їх з аналогами, аналізують новітні досягнення, які можна використати в проєктованому виробі, визначають склад базових показників і розраховують їх величини.

На стадії **технічної пропозиції** одержують кілька схем нового виробу, проводять порівняльний аналіз ТК цих варіантів для виконання раціонального членування, використання стандартних й уніфікованих частин виробу, типових технологічних процесів.

В *ескізному проекті* приймають принципові конструкторські рішення для реалізації загальних видів виробу. При цьому розробляють *директивні технологічні матеріали* з розробкою *схем членування, обґрунтуванням вибору матеріалів, укрупнених схем складання*. Тут передбачають і можливий рівень ТК з урахуванням архітектурних форм виробу, основних видів з'єднань агрегатів і відсіків, габаритних розмірів окремих частин. Визначають основні методи складання й ураховують виробничі умови складального заводу.

Технічний проект містить остаточні конструкторські рішення, що дають повне уявлення про конструкцію виробу. У ньому має бути така інформація:

- обґрунтування вибору складальних баз при конструюванні частин АКТ;
- установлення розмірів і виду основних заготовок габаритних елементів конструкції;
- вибір методу забезпечення взаємозамінності;
- визначення місця для конструктивних і технологічних компенсаторів у виробі;
- результати розрахунків на точність розмірних ланцюгів, установлення допусків;
- визначення всієї номенклатури конструкційних матеріалів і видів з'єднань усіх елементів конструкції.

На цьому етапі ретельному технологічному контролю й коректуванню піддають креслення загальних видів, компонування частин виробу з урахуванням розміщення бортового устаткування, а також складальні креслення частин виробу. Виконують кількісну оцінку ТК за більшою, ніж при ескізному проектуванні, кількістю основних і допоміжних показників.

На стадії розробки *робочої конструкторської документації* виконують робочі креслення всіх вузлів і деталей великих частин виробу з урахуванням вимог виробництва й указують умови для ефективного проведення окремих операцій технології, для чого широко використовують КТМ і ТР. На цьому етапі для забезпечення ТК виконують технологічний контроль і коректування всієї робочої технічної документації з урахуванням вимог й оптимальності показників з виробу. При цьому аналізують процес виготовлення дослідницького літака і вносять зміни в його конструкцію.

Відпрацювання на ТК продовжують і на стадії дослідного виробництва АКТ, і протягом їхнього серійного виробництва, де вдосконалюється конструкція й поліпшуються показники технологічності через використання технічних рішень в області технології. Досягнутий рівень технологічності є передумовою високої якості виробів й ефективності виробництва.

У цілому *державна ефективність* АКТ визначається відношенням обсягу суспільно-корисної роботи (*W*), виконаної АКТ за

весь період експлуатації, до всіх видів витрат (S) при їхньому виготовленні: $E=W/S$, де E – ефективність виробництва.

Корисна робота вантажних і пасажирських літаків і вертольотів може бути подана як обсяг виконаних перевезень (у тонно-кілометрах) за весь строк їхньої служби. Витрати визначають за формулою

$$S = S_p + S_e + S_e,$$

де S_p – витрати на розробку конструкції, віднесені до кількості серійно випущених машин;

S_e – середні витрати на виробництво однієї серійної машини;

S_e – експлуатаційні витрати на одну машину за термін служби.

Витрати S_p і S_e характеризують виробничу й експлуатаційну технологічність. Для варіантів конструкції, рівноцінних за своїми тактико-технічними характеристиками, W може залишатися постійною, і підвищення технологічності означає підвищення ефективності. Однак у більшості випадків для одержання більш високих літних характеристик АКТ, тобто для збільшення значень W , доводиться застосовувати нові високоміцні й важкооброблювані матеріали й більш трудомісткі технологічні процеси. Все це призводить до зростання виробничих витрат S_e , а отже, до зниження виробничої технологічності. У міру ускладнення конструкції зростають і витрати, пов'язані з експлуатацією виробу. Але створюючи нову конструкцію, необхідно мінімізувати неминуче збільшення витрат S . При порівнянних варіантах машин треба вибирати той, де ефективність E вище, навіть у випадку деякого погіршення технологічності. Проте боротьба за високий рівень ТК приводить до зниження виробничих й експлуатаційних витрат, що за інших рівних умов обумовлює зростання виробничої, а у цілому і державної ефективності (комерційної ефективності).

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ВИПУСКУ АКТ [6, 11, 16, 17, 26, 31, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 49, 67]

3.1. Завдання, обсяг і етапи підготовки виробництва [17, с. 9-17; 26, с. 5-12, 45; 34, с. 17-19; 40, с. 28-37; 41, с. 207-211; 42, с. 585-587]

Однією з особливостей виробництва АКТ є часта зміна об'єктів виробництва. Це спричиняє часту повторюваність робіт з **технологічної підготовки виробництва складальних робіт (ТПВСР)**, частка яких у повному циклі створення, освоєння й серійного виробництва АКТ безупинно зростає. Особливо трудомісткою є ТПВСР для складально-монтажних і випробувальних робіт.

ТПВСР – комплекс підготовчих робіт конструкторсько-технологічно-го характеру, що забезпечує здійснення виробничого процесу на всіх етапах створення АКТ. ТПВСР має забезпечити повну технологічну готовність складального виробництва до випуску виробів вищої якості відповідно до заданих техніко-економічних показників, що встановлюють технічний рівень і мінімальні трудові й матеріальні витрати. Модель ТПВСР має бути орієнтована на оптимальний для даних умов рівень механізації та автоматизації передачі технічної інформації й самого виробництва.

Основним завданням ТПВСР є забезпечення:

- 1) технологічності конструкції виробу;
- 2) складального виробництва всіма видами технологічного оснащення й технологічної документації в заданий термін;
- 3) мінімального часу освоєння складання нового виробу на серійному заводі;
- 4) мінімальної матеріалоемності й трудомісткості складання;
- 5) підвищення технічного рівня підприємства.

Основою прискореного освоєння нової техніки є постійне вдосконалювання системи ТПВСР, впровадження прогресивних технологій, організація виробництва та управління ним.

ТПВСР залежно від розв'язуваних завдань можна розділити на три етапи: конструкторський, технологічний та організаційний.

На **конструкторському етапі** проектують нові конструкції або вдосконалюють уже існуючу АКТ. Тут вирішують **завдання технологічності й стандартизації** конструкцій, **вибору базової конструкції** для забезпечення наступності технічних рішень.

На **технологічному етапі** вдосконалюють технологічні процеси; проектують і виготовляють робоче й контрольне оснащення; розробляють технологічні нормативи. При розробці технологічних процесів, оснащення, устаткування вирішують питання їхньої номенклатури, стандартизації, впровадження ЕОМ і ВЧПК в основне виробництво.

На **організаційному етапі** вибирають найбільш раціональні форми організації виробництва, визначають структури служб ТПВСР, методи планування, кооперування, підготовки кадрів, розробляють методичні матеріали з механізації й автоматизації інженерних і управлінських робіт.

На кожному етапі ТПВСР вирішення технічних й організаційних завдань узгоджують з вирішенням питань зниження собівартості СМР, збільшення продуктивності праці, прискорення оборотності оборотних коштів.

Конкретний зміст й обсяг робіт з ТПВСР залежать від заданого обсягу й програми випуску виробів, ступеня складності та новизни їхньої конструкції, якості технологічного відпрацювання виробу при проектуванні, рівня кооперування виробництва й інших факторів. Календарний час виконання всіх робіт з ТПВСР складає **цикл підготовки виробництва**. Залежно від типу АКТ цей цикл може становити кілька років, а трудомісткість всієї ТПВСР – сотні тисяч нормо-годин.

3.2. Основні фактори, що впливають на зміст, обсяг, вартість і строки технологічної підготовки виробництва складальних робіт [17, с. 33-40; 41, с. 218-223]

Характер і зміст робіт із ТПВСР нового виробу залежать від великої кількості факторів:

- 1) складності й новизни створюваної АКТ;
- 2) масштабу майбутнього виробництва;
- 3) розподілу робіт між ДКБ, НДІ та заводом;
- 4) наявності експериментальної бази;
- 5) рівня автоматизації окремих видів робіт при ТПВСР, кваліфікації кадрів і виробничо-адміністративної структури заводу та ін.

На характер робіт з ТПВСР значно впливають прийнята **схема членування** й пов'язана з нею **схема забезпечення взаємозамінності** частин виробу.

Обсяг технологічної підготовки залежить від чотирьох основних факторів:

- 1) вагової категорії АКТ;
- 2) ступеня монолітності конструкції;
- 3) технологічності конструкції;
- 4) масштабу виробництва.

Якщо взяти транспортний літак вагової категорії до 42 тонн із дальністю польоту 3.000 км, то для його виробництва знадобиться: пристроїв для вузлового складання – до 2.000 шт.; стапелів для складання відсіків і агрегатів – до 15 шт. Трудомісткість виготовлення одиниці вузлового пристрою складе до 1.000 нормо-годин, а стапеля – до 10.000 нормо-годин. Середня вартість складального оснащення для вузлів – до 2.000 доларів США, для агрегатів – до 20.000 доларів

США. Для такого літака загальна трудомісткість виготовлення технологічного оснащення може скласти понад 2 млн нормо-годин, а її вартість – понад 3 млн доларів США.

Причому скорочувати обсяг і вартість ТПВСР простим скороченням кількості оснащення не можна, тому що зниження оснащеності серійного виробництва призводить до погіршення якості складання, зниженню продуктивності праці, зростанню витрат на заробітну плату робітників при загальному підвищенні собівартості продукції.

Обсяг ТПВСР визначає необхідну потужність цехів підготовки виробництва і кількість робітників, у них зайнятих. Однак при запуску серійного виробництва не меншу, а іноді навіть більшу роль відіграють і строки ТПВСР, обумовлені циклами окремих видів робіт з підготовки виробництва. Загальний цикл підготовки виробництва нового виробу містить три стадії: **проектування виробу; виготовлення й доведення дослідницького зразка; підготовка й освоєння серійного виробництва.**

Сам цикл ТПВСР містить роботи з освоєння випуску виробів установочної серії, освоєння серійного виробництва, а потім ритмічного багатосерійного випуску АКТ.

Залежно від можливостей поєднання різних робіт (їхньої паралельності) на зазначених трьох стадіях підготовки виробництва й від типу АКТ тривалість циклу їхнього створення становить від 3 до 5 років. Наприклад, загальний цикл створення 200 літаків Boeing-767 склав 4 роки.

Безпосередньо на строки ТПВСР впливає **трудомісткість робіт, кількість виконавців, тривалість і число робочих змін, коефіцієнт виконання норм.** Найбільшу тривалість у складі всього циклу ТПВСР має етап освоєння головної серії, а також роботи з розробки ТП і проектування та виготовлення оснащення серійного виробництва АКТ.

3.3. Автоматизована система технологічної підготовки виробництва складальних робіт [17, с. 90-95; 26, с. 12; 34, с. 27; 40, с. 34-38; 41, с. 218;]

Важливим напрямком удосконалювання ТПВСР є автоматизація її процесів. Найбільш ефективними з них є:

- 1) планові розрахунки обсягів, трудомісткості й строків виконання робіт, складання й оптимізація графіків ТПВСР;
- 2) оперативний облік виконання робіт, трудових і матеріальних витрат на підготовку виробництва;
- 3) розрахунок показників трудомісткості виробів, норм витрати матеріалів, облік матеріальних нормативів;
- 4) розкрій матеріалів;
- 5) проектування технологічних процесів й оснащення;

- 6) розрахунок керуючих програм для устаткування з ЧПК;
- 7) оперативне керування виробництвом технологічного оснащення.

Автоматизацію ТПВСР здійснюють шляхом створення:

- 1) автоматизованих інформаційно-пошукових систем;
- 2) автоматизації оформлення документів;
- 3) автоматизації логічних і розрахункових завдань;
- 4) створення інформаційно-довідкових систем для регулювання процесу ТПВСР.

Для одержання максимального ефекту від автоматизації процесів ТПВСР важливо спочатку виконати роботи зі стандартизації її елементів.

Застосування автоматизованих методів проектування технологічних процесів (ТП) дозволяє вирішити проблему їхньої оптимізації за допомогою ЕОМ, для чого необхідно:

- 1) групувати об'єкти й установлювати черговість їхнього запуску у виробництво;
- 2) визначати режими обробки й раціональні схеми складання;
- 3) розраховувати норми трудомісткості й витрати матеріалів;
- 4) урахувати всі економічні фактори для різних варіантів складання, монтажу або обробки.

Проміжним варіантом автоматизації проектування ТП є роздрук робочого ТП, для одержання якого технолог складає тільки карту-програму, в яку вносить змінну інформацію, а постійна її складова у вигляді типового технологічного процесу (ТПП) занесена в ЕОМ.

Методичною основою типізації техніко-економічної інформації, використовуваної при проектуванні ТП й інших завдань, є класифікація всіх видів інформації. Так, технологічний класифікатор Скл. Од. дозволяє групувати об'єкти за їхньою технологічною подібністю з метою автоматизованої розробки складальних ТП; користуючись технологічними ознаками, можна в автоматизованому режимі одержувати, наприклад, відомості про деталі або вузли за характером цих ознак. При застосуванні ЕОМ у розробці ТПВСР важливо встановлювати єдину термінологію й умовні позначення.

Автоматизована система ТПВСР дозволяє проводити процеси проектування заготівельного й складального оснащення, а також забезпечувати виготовлення елементів такого оснащення на ВЧПК.

Автоматизація процесів управління при виконанні ТПВСР дозволяє оптимально вирішувати такі завдання:

- 1) визначати строки освоєння виробу, що випускається;
- 2) аналізувати ступінь суміщення у часі етапів ТПВСР;
- 3) визначати потреби підприємства в інструменті й оснащенні;
- 4) оперативно планувати роботи цехів;
- 5) розраховувати можливі витрати при проведенні окремих видів робіт при ТПВСР і т.д.

3.4. Шляхи зниження витрат і скорочення строків технологічної підготовки виробництва складальних робіт [17, с. 95-107; 34, с. 21-27; 40, с. 34-37; 41, с. 218; 42, с. 593-594]

Скорочення строків і витрат при освоєнні нових зразків авіаційної техніки пов'язане з раціоналізацією всього процесу проведення ТПВСР на базі **єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЕСТПВ)**, прийнятої в машинобудуванні. Вона передбачає такі ефективні напрямки для зниження витрат і скорочення циклу ТПВСР:

1. Типізація технологічних процесів. Розглядаючи задану номенклатуру Скл. Од., за їхніми конструктивно-технологічними ознаками складають **класифікатор**, виділяючи **класи, групи, підгрупи, види й типи** Скл. Од. Сукупність об'єктів, що складають за одним ТП у складальних пристроях однієї схеми і за одним способом базування, називається типом. З цієї сукупності вузлів вибирають типового представника, на який розробляють типовий технологічний процес складання. Типізація технологічних процесів створює передумови для САПР ТП, що істотно скорочує трудомісткість і цикл ТПВСР.

2. Стандартизація технологічних процесів. При використанні стандартів усі процеси ТПВСР значно прискорюються, тому що стандарти є своєрідними "підготовчими рішеннями" для реалізації інженерних завдань. Стандартизація ТП потребує попередньої роботи з визначення термінів, класифікації об'єктів складання, уніфікації виробів та їхніх частин, стандартизації технічного нормування й методів контролю. Стандартний ТП, створений за методом технологічної послідовності, має містити склад і послідовність стандартних операцій; посилення на стандартне технологічне й контрольне оснащення; методи й стандартні засоби контролю.

Якщо розглядати декілька однорідних ТП складання, то можна виділити повторювані однотипні операції (наприклад, свердління, зенкування, вставка заклепок і т.п.). Вони є стандартними і на них розробляють окрему **карту стандартної технологічної операції (СТО)**. При розробці ТП операції описують коротко, зате вказують номер конкретної СТО. Такі стандартні операції можна використати для складання різних виробів.

3. Стандартизація технологічного оснащення. Проектування й виготовлення оснащення становить 70...80% загальної трудомісткості ТПВСР. Стандартизація, що дозволяє завчасно виготовляти стандартні елементи оснащення, а також використовувати значну кількість оснащення при переході на новий виріб, скорочує строки й витрати ТПВСР.

Стандартизація дозволяє створити систему **спеціалізованих пристроїв** для складання вузлів й агрегатів, що складаються зі стандартних вузлів, що дозволяють переналагоджувати їх на складання

декількох однотипних об'єктів.

4. Автоматизація процесів технологічного й техніко-економічного проектування значно прискорює проектні роботи при ТПВСР і звільняє кваліфікованих фахівців від трудомістких ручних операцій.

5. Розробка директивних технологічних матеріалів в ДКБ і раціональне їхнє використання на серійному заводі з метою значного скорочення строків ТПВСР.

6. Своєчасна підготовка до запуску нового виробу основних робітників й інженерно-технічного складу шляхом їхнього стажування й одержання потрібних кваліфікацій (в умовах ДКБ і передових заводів галузі).

7. Застосування паралельно-послідовного циклу ТПВСР, при якому за рахунок паралельності ведення проектних робіт і робіт з початку виготовлення оснащення значно скорочується період ТПВСР.

8. Перехід на безплазові методи узгодження оснащення й широке застосування автоматизованих способів її виготовлення.

4. МЕТОДИ СКЛАДАННЯ

[4, 6, 7, 11, 15, 19, 29, 39, 40, 41, 42, 43, 52, 53, 54]

4.1. Схема членування й схема складання АКТ. Типові схеми складання, їхній техніко-економічний аналіз [27, с. 3; 29, с. 3; 39, с. 54-56; 40, с. 8-11, 37-51; 41, с. 57-73; 42, с. 342-354; 52, с. 8-15]

Технологія складання й монтажу різноманітних конструкцій АКТ, включаючи вибір методу складання, схем складання, технологічної послідовності виконання операцій, складу складального оснащення, устаткування й інструменту, значною мірою залежить від конструкції АКТ і **ступеня членування** планера на конструктивно-технологічні самостійні частини. Раціональне членування виробу на Скл. Од. визначають на етапі ескізного проектування, коли приймають принципову схему членування. При цьому крім характерних особливостей конструкції АКТ беруть до уваги техніко-економічні показники очікуваного виробництва. На характер і ступінь членування конструкції на частини значно впливає **тип виробництва**.

Вибрана конкретна **схема членування** з урахуванням заданих критеріїв визначає рівень техніко-економічних показників, номенклатуру Скл. Од. і схему характерних рознімань, які можна поділити на групи:

1) конструктивних рознімань (КР) – викликаних різним функціональним призначенням окремих частин виробу, застосуванням різних конструкційних матеріалів або вимогами щодо рухомості (переміщення) виділених частин конструкції; наприклад, КР у крилі викликані необхідністю приєднання до нього рухомих закрилків й елеронів;

2) технологічних рознімань (ТР) – викликаних вимогами виробництва (великими габаритами агрегатів, труднощами підходу до місць з'єднань при виконанні СМР, зміною строків виконання цих робіт при зміні програми випуску виробів, умовами контролю й випробувань окремих систем і т.п.). Наприклад, ТР крила й фюзеляжу (центроплан, СЧК, ЗЧК, носовий, хвостовий і середній відсіки фюзеляжу) у свою чергу можуть бути технологічно розчленовані на ряд панелей;

3) експлуатаційних рознімань (ЕР) – викликаних вимогами експлуатації виробу, огляду, регулювання або заміни окремих частин або бортових систем АКТ; у деяких випадках ЕР призначають, виходячи з обмеження габаритних розмірів агрегатів відповідно до їх перевезення або зберігання.

Розробивши схему членування конструкції, можна починати розробку схем складання окремих Скл. Од. Технологічна схема складання-монтажу об'єкта, зображена графічно у вигляді структурної схеми складального виробу з окремих елементарних деталей і

Скл. Од., розташованих у певному порядку, наочно показує: 1) з яких самостійних Скл. Од. і деталей збирають виріб; 2) яка послідовність нашарування Скл. Од. і деталей у процесі складання; 3) яким технологічним оснащенням (складальним оснащенням) треба забезпечити виробництво при вибраному методі складання. Крім того, схема складання містить умови поставки Скл. Од. і деталей, а також технічні вимоги на ці елементи СМР.

Залежно від ступеня членування планера й бортових систем АКТ на Скл. Од. і ступеня диференціації складальних, монтажних і стикових робіт на об'єкті цикл СМР можна виконувати за **типовими схемами складання**: послідовною, паралельною й паралельно-послідовною.

1. Послідовна схема складання. Цю схему застосовують для складання конструкцій агрегатів АКТ в умовах дрібносерійного й одного виробництва, коли схема членування не виділяє панелі, деталі і дрібні Скл. Од. Складання виконують розміщенням на базовій деталі або базовому вузлі послідовно усіх деталей. Потім збирають послідовно секції, відсіки, агрегати, які стикують у єдиний планер, а потім на ньому проводять послідовно всі монтажні, стикують їх і на закінчення обробляють і випробують.

2. Паралельна схема складання. Використовують для агрегатів і відсіків АКТ, розчленованих на панелі, вузли й деталі. Складання окремих панелей і вузлів виконують незалежно одні від одних – паралельно в часі загального циклу складання відсіку або агрегату у своїх складальних пристроях. Монтажні роботи повністю або частково винесені на панелі або складальні вузли.

3. Паралельно-послідовна схема складання. Вона відповідає складанню відсіків й агрегатів, розчленованих на панелі, які збирають паралельно в часі, потім стикують у відсік (агрегат), послідовно подаючи на стикування деякі вузли каркаса, а монтажні роботи проводять в остаточно зібраному агрегаті. При такій схемі переваги панелювання використовують тільки для складання панелей, а більшу частину монтажу виконують у стиснених умовах зібраного агрегату. Ця схема порівняно з послідовною має перевагу за сумарною трудомісткістю СМР і тривалістю їхнього циклу, але істотно поступається паралельній схемі.

Варіюючи схему членування й послідовність складання й монтажу, можна значно скоротити трудомісткість і виробничий цикл СМР.

4.2. Поняття про методи складання, їхня класифікація за принципом базування й взаємозамінності підскладань [4, с. 5-6, 29; 39, с. 56-69; 41, с. 57-73; 42, с. 354-359]

Методи складання визначають, яким чином Скл. Од. однозначно встановлюють і фіксують у заданому технічною документацією

положенні в просторі відносно інших Скл. Од. Цим визначається характер настановних і фіксуючих операцій СМР, тому що складання являє собою сукупність технологічних операцій з установаження деталей і Скл. Од. у складальне положення, фіксації їх і з'єднання елементів у вузли, панелі, відсіки, агрегати й планер АКТ у цілому.

Методи складання класифікують за двома основними ознаками:

1. За принципом базування Скл. Од.:

- складання з базуванням по технологічних отворах (ТО);
- складання по базовій деталі або по розмітці;
- складання з базуванням по фіксаторах спеціального жорсткого пристрою;
- складання по візуально-оптичних базах.

2. Залежно від ступеня взаємозамінності з'єднувальних Скл. Од.:

- метод складання з повною взаємозамінністю;
- метод складання з обмеженою взаємозамінністю;
- метод групової взаємозамінності (селективне складання);
- складання за методом підгонки.

Застосування того або іншого методу складання залежить від характеру конструкції виробу, його габаритів і жорсткості, заданих технічних умов на Скл. Од. й очікуваних техніко-економічних показників СМР.

4.2.1. Складання конструкції з базуванням по ТО, базовій деталі, розмітці [39, с. 57-69; 40, с. 60-61; 41, с. 73-90; 42, с. 354-358; 52, с. 20-26]

Складання з базуванням по ТО полягає в установці Скл. Од. у правильне взаємне положення шляхом сполучення спеціальних технологічних отворів (СО, БФО, КФО, НФО) на базових деталях, вузлах, секціях або фіксаторах складальних пристроїв із наступним надійним скріпленням їх технологічним кріпленням. Носіями баз-отворів можуть бути як самі деталі, що входять у складальний комплект (складання по СО і БФО), так і базовофіксуючі елементи пристроїв (складання по КФО).

Метод складання по базовій поверхні деталі застосовують, коли деталі мають велику жорсткість, а розміри готового виробу забезпечують системою допусків і посадок. Базами в таких деталях призначають поверхні, відносно яких визначається більшість інших поверхонь, що входять у вузол деталей. При складанні безпосередньо **за кресленням** деталі, що входять у виріб, розділяють на декілька складальних груп, кожна з яких збирають за своєю базовою деталлю, а потім всі отримані підскладання нашаровують на основну базову деталь.

Метод складання по розмічальних базових лініях потребує

виділення в складі Скл. Од. основної деталі, на поверхні якої можна нанести лінії розмітки під інші деталі, які збирають разом із нею. На таку деталь (як правило, обшивку або листову деталь) наносять розмітку слюсарним або фотоконтактним способом.

4.2.2. Методи складання в пристрої **[34, с. 47-56; 40, с. 55-61; 41, с. 73-90; 42, с. 358-363]**

Існують такі методи складання в пристрої:

1. Складання в пристрої з базуванням по зовнішній поверхні виробу, що виходить на теоретичний контур АКТ (складання від зовнішньої поверхні обшивки). У цьому разі обшивку (або панель) притискають зовнішнім обводом за допомогою фіксаторів до опорних поверхонь пристрою на період з'єднання її з каркасом.

2. Складання в пристрої з базуванням по внутрішній поверхні обшивки. При цьому способі обшивку або панель притискають внутрішньою поверхнею до обводів опорних рубильників або до жорстких макетів нервюр або шпангоутів на період постановки заклепок. При даному способі складання можна спростити конструкцію стапеля й сам процес складання.

3. Складання в пристрої з базуванням по поверхні каркаса (складання від каркаса). При цьому способі панель або обшивку відсіку (секції) базують по попередньо зібраному в пристрої каркасу. Елементи каркаса базують по робочих контурах обводу складального пристрою. Складання від каркаса по точності залежить від точності контурів зібраного каркаса, жорсткості його конструкції й точності базування обшивок по каркасу.

4. Складання в пристрої з базуванням по отворах під стиковальні болти (ОСБ). Цей спосіб складання в пристрої використовують при базуванні стикових вузлів і вузлів кріплення устаткування до елементів планера АКТ.

Складання в пристрої має такі переваги:

- 1) досягається високий рівень взаємозамінності нежорстких виробів при складанні;
- 2) спрощуються розмітка й пригінка деталей при складанні;
- 3) прискорюється й полегшується процес складання;
- 4) можлива механізація процесу складання.

4.2.3. Метод складання по візуально-оптичних базах **[18, с. 156-166; 41, с. 91-105; 32, с. 204-214]**

Зі створенням широкофюзеляжних і надзвукових літаків і великих вертольотів зросли вимоги до точності та якості складання, виникли проблеми при застосуванні традиційних методів складання габаритних відсіків і агрегатів цих виробів. У зв'язку з цим одержали по-

ширення варіанти складання **за візуально-оптичними базами** з використанням оптичних приладів візирного типу (нівелірів, теодолітів, автоколіматорів, приладів типу ППС-11 та ін.) і лазерних вимірювальних систем на базі опорних видимих лазерних променів, що центрують. Ці методи дозволяють координувати в просторі окремі характерні точки, лінії й площини Скл. Од., візувати їх з великою точністю (до 0,01 мм) і виконувати складання й монтаж, реалізуючи принцип єдності конструкторських і технологічних баз.

4.3. Порівняльний аналіз і вибір методів складання. Економічна оцінка методів складання за укрупненими показниками [41, с. 93-97; 42, с. 69-93; 42, с. 366-367]

Розглянувши можливі методи складання конструкцій АКТ, зробимо їхній порівняльний аналіз. Можливість і доцільність застосування конкретного методу складання й складальної бази визначається точністю геометричних форм і розмірів, рівнем взаємозамінності окремих частин планера, обсягом і технічним рівнем виробництва.

Складання в пристрої з базуванням по зовнішній поверхні обшивки застосовують при складанні складних за конфігурацією обводів конструкції малої жорсткості й з високими вимогами до точності аеродинамічних форм. Особливо це стосується складання крил та їхніх частин, коли поперечний набір з'єднують із обшивкою через компенсатори, а крило розчленовують на панелі.

Складання в пристрої по поверхні каркаса застосовують для конструкцій планера ЛА, коли внутрішній набір відрізняється значною власною жорсткістю порівняно з обшивкою. Точність виробу в основному визначається точністю складання каркаса. Обсяг ручної роботи за цим методом більший, ніж за попереднім.

Складання в пристрої з базуванням по внутрішній поверхні обшивки забезпечує знижену порівняно з попередніми методами точність обводів виробів, але зменшує технологічну собівартість складання й виробничу площу для робіт. У цьому разі на точність зовнішніх обводів впливає похибка товщини обшивок.

Складання по СО значно поступається попереднім методам за точністю форм і розмірами, але за умови якісного узгодження робочого заготівельного оснащення для нанесення СО на деталі може застосовуватися як для плоских вузлів (типу лонжеронів, шпангоутів, нервюр), так і для об'ємних каркасних вузлів і панелей одинарної кривизни. Цей метод складання дозволяє знизити собівартість і трудомісткість СМР, відмовитися від пристроїв. Метод з успіхом застосовують для будь-яких типів виробництва.

Складання по КФО застосовують для секцій одинарної кривизни та подвійної однозначної й знаковміної кривизни, а також відсіків, утворених циліндричними, еліптичними і конічними поверхнями. Таке

складання спрощує конструкцію стапелів й істотно поліпшує економічні показники СМР, але може бути використане для агрегатів із заданою точністю по обводах не нижче 1,8...2,5 мм.

Складання по БФО використовують для відсіків і агрегатів типу фюзеляжу, гондол двигуна й шасі, у деяких випадках – для складання крил, центропланів, хвостового оперення. При цьому методі досягають точність по контурах 1,5...1,8 мм, але за умови хорошої жорсткості базової конструкції Скл. Од.

У цілому впровадження **складання по УФО** дозволяє порівняно зі складанням "від обшивки" й "від каркаса" знизити трудомісткість виготовлення оснащення на 30...50%; зменшити металоемність складального оснащення на 40...80%; зменшити трудомісткість СМР на 18...20%.

При складанні одного об'єкта конструкції для установки Скл. Од. у задане положення можна застосовувати різні методи. Наприклад, при складанні крила лонжерони встановлюють по УБО, макетні й літакові нервюри – по СО, а панелі – по внутрішній поверхні обшивки. У всіх випадках застосування при складанні одного виробу декількох складальних баз основним методом базування вважають той, при якому формується зовнішній обвід агрегату.

Відповідно до вимог щодо точності зовнішніх обводів АКТ і техніко-економічних показників в сферах підготовки виробництва й основного виробництва вибирають оптимальний варіант методу складання.

5. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ ПРИ СКЛАДАННІ АКТ [4, 11, 12, 15, 16, 19, 31, 39, 40, 41, 42]

Важливий напрямок поліпшення якості виробів – скорочення підгінних робіт, тому взаємозамінність (ВЗМ) елементів конструкції є важливою передумовою стабілізації якості авіаційної техніки.

Будь-який елемент конструкції взаємозамінний, якщо його геометричні, фізичні й функціональні параметри є у межах допусків, узгоджених з допусками взаємоскладальних Скл. Од., що нормовано технічною документацією на основі розрахунків і з урахуванням умов експлуатації.

Для забезпечення ВЗМ недостатньо жорстких Скл. Од., що забезпечують утворення зовнішніх аеродинамічних обводів літаків, застосовують систему, основу на використанні плазово-шаблонного методу виробництва (ПШМ). Характерна особливість цього методу – забезпечення ВЗМ Скл. Од., що з'єднуються за допомогою узгодження їхніх розмірів і форм із заготовельним і складальним оснащенням.

Таким чином, за допомогою ПШМ реалізують принцип геометричної ВЗМ, коли узгодження розмірів і форм Скл. Од. виконують за допомогою плоских і просторових жорстких носіїв конкретної геометрії, роль яких виконують взаємоузгоджені плази, шаблони, еталони поверхні, макети стиків і майстра-плити. З цих носіїв геометрію переносять на робоче технологічне оснащення, за допомогою якого виготовляють деталі й складають вузли, відсіки, агрегати літака.

5.1. Спрощений плазово-шаблонний метод узгодження [15, с. 8-14; 39, с. 72-81; 40, с. 75-77; 41, с. 105-117; 42, с. 31-50; 52, с. 15-16]

Згідно з цим методом припускається використання найбільш простого в конструктивному відношенні контрольно-вимірювального оснащення – плазів, шаблонів і калібрів рознімання. Першоджерелами розмірів є плази суміщених перерізів агрегатів і взаємно відстиківані калібри рознімань. При цьому узгоджені на плазі контури окремих плоских перерізів копіюють на конструктивні плази, на які у графічному вигляді наносять всю інформацію про конструкції агрегату в цих перерізах. Потім за отриманими робочими шаблонами методом копіювання виготовляють деталі, вузли й оснащення. Калібри вузлів використовують для виготовлення елементів конструкції рознімання (стиків), а також для координації стиків при монтажі фіксаторів рознімання в складальних пристроях.

Тут шаблон контрольно-контурний (ШКК) є першоджерелом узгодження форм всіх плоских шаблонів, за якими виготовляють заготовельне оснащення для профільних і плоских деталей каркаса літака. Для узгодження й виготовлення обшивок одинарної та подвійної кри-

визни застосовують обтяжні пуансони й макети поверхонь окремих зон планера літака, які будують по каркасах контршаблонів окремих перерізів зазначених зон (КРП, ШКК). Використання такої схеми призводить у ряді випадків до завищених порівняно з ТУ похибок форм і розмірів, що підлягають узгодженню. Підгінні роботи в цих випадках не виключаються.

Відповідно до схеми складальні пристрої монтують способом інструментальної побудови. При цьому необхідної точності координації обвідних, контурних і точечних фіксаторів (вильчатих і плоских стиків) досягають за допомогою "струн і схилів" або використанням оптичних і лазерних приладів. Плоскі складальні пристрої (для складання шпангоутів, нервюр, лонжеронів і т.д.) монтують заП, на яких по розмітці встановлені калібри стиків.

5.2. Еталонно-шаблонний метод узгодження оснащення **[11, с. 19, с. 33-38; 39, с. 81-88; 40, с. 77-84]**

При використанні еталонно-шаблонного методу (ЕШМ) узгодження вихідним елементом (першоджерелом узгодження) є еталон поверхні (ЕП), за допомогою якого одержують обводи робочого технологічного та контрольного оснащення для копіювання форм і розмірів на складальні пристрої.

При використанні ЕШМ припускається застосування широкої номенклатури вимірювального оснащення: плазів, шаблонів, еталонів поверхні агрегатів (відсіків), контретапонів, монтажних еталонів, калібрів стиків, майстрів-плит. При цьому ЕП повністю відтворює натурну поверхню агрегату літака, його форму й розміри, являючи собою своєрідний просторовий плаз, тому що ЕП несе необхідну графічну інформацію про конструктивні бази агрегату, а також розмітку елементів поперечного й поздовжнього наборів каркаса й розмітку стиків обшивок, контурів люків і т.д. За ЕП одержують копії обводів вузлів і деталей, що утворюють аеродинамічну поверхню літака, координують положення стикових вузлів, розмічаючи їх на ЕП і тим самим узгоджуючи вузли відносно обводів і конструктивних осей агрегату. Звичайно виготовляють ЕП для фюзеляжу, крила, хвостового оперення, мотогондол, гондол шасі методом побудови за кресленнями, з використанням контрольних приладів і контршаблонів. Потім ЕП окремих агрегатів (або їхніх зон) узгоджують (ув'язують) між собою, забезпечуючи задані точність і плавність у місцях з'єднання.

За допомогою ЕП методом копіювання (зліпка) виготовляють контретапон (КЕ) і монтажний еталон (МЕ) поверхні в базових перерізах агрегату, а за допомогою піскозліпків (ПЗК) окремих зон поверхні копіюванням виготовляють робоче заготівельне оснащення (обтяжні й гнучні пуансони) для обвідних деталей планера літака.

Складальне оснащення окремих вузлів і агрегатів (відсіків) мон-

тують за допомогою еталонів вузлів (ЕВ) і МЕ, забезпечуючи таким чином взаємозамінність усіх вихідних у потік Скл. Од. літака. При ЕШМ деталі, які не виходять у потік, виготовляють за звичайними шаблонами, ув'язаними за ШКК. Калібри рознімань, виготовлені за кресленнями й відстиковані між собою (калібри стикових вузлів, майстра-плити), попередньо встановлюють на жорсткий каркас КЕ за розміткою ЕП, а потім для узгодження з обводами остаточно фіксують після стикування між собою всіх монтажних еталонів.

Таким чином, при ЕШМ з великою точністю забезпечується узгодження контрольно-вимірального (або оснащення другого порядку – ЕП, КЕ, МЕ, ЕВ), робочого заготівельного й складального оснащення. Крім того, для забезпечення взаємозамінності виробів одного типу, що випускають на декількох заводах, використовують ЕШМ міжзаводського узгодження. При цьому МЕ для провідного і веденого заводів виготовляють за одним першоджерелом – КЕ, а комплекти обвідного заготівельного оснащення копіюють за ПЗК провідного заводу. Потім ведений завод виготовляє свої КЕ, ЕВ і своє складальне оснащення. Перші зібрані агрегати проходять контрольне стикування.

Розглянута схема ЕШМ є повною, її застосовують при багатосерійному виробництві агрегатів значної будівельної висоти. Однак така схема має недоліки:

- 1) більша трудомісткість виготовлення оснащення другого порядку (ЕП, КЕ, МЕ, ЕВ);

- 2) елементи складального оснащення узгоджують з ЕП через КЕ, МЕ, ЕВ, у результаті чого збільшується розмірний ланцюг від плазу до стапеля й вузлових складальних пристроїв.

Для зниження впливу таких наслідків у ряді випадків застосовують спрощені схеми узгодження ЕШМ:

- 1) для агрегатів малої будівельної висоти (наприклад, агрегатів хвостового оперення, тонкого аеродинамічного крила) і при дрібносерійному виробництві КЕ й МЕ не виготовляють, а складальні пристрої монтують за єдиним ЕП, на якому встановлені макети стиків;

- 2) якщо обшивки агрегатів мають одинарну кривизну (потреба в обтяжних пуансонах відсутня), то ЕП не виготовляють, а для монтажу стапелів використовують МЕ, виконаний за кресленням з застосуванням ШКК (для копіювання базових перерізів); після установлення на МЕ калібрів стикових вузлів методом копіювання виготовляють КЕ для одержання обвідних ЕВ, а монтажні еталони агрегатів узгоджують між собою звичайним способом;

- 3) при невеликих серіях виробництва агрегатів літаків застосовують рознімні МЕ, які використовують для монтажу стапелів і вузлових складальних пристроїв (за допомогою окремих частин рознімного МЕ); у цьому разі КЕ не потрібний і ЕП виготовляють тільки для окремих найбільш геометрично складних зон аеродинамічної поверхні агрегату.

5.3. Координатно-шаблонний метод (КШМ) забезпечення взаємозамінності [19, с. 39-45; 39, с. 88-93; 40, с. 84-88]

При виготовленні літаків важкого й середнього типів нераціонально застосовувати ЕШМ узгодження технологічного оснащення, тому що це пов'язано з більшими труднощами при виготовленні контрольного оснащення й забезпеченні його точності й жорсткості. У цьому разі узгодження оснащення виконують за допомогою інструментальних координатних стендів – плазу-кондуктора (ПК) та інструментального стенда (ІС).

Першоджерелами узгодження в цьому разі є основні шаблони ШКК і ОК, що містять координати центрів монтажних, базових і стикових отворів (МО, БО, ОСБ) відносно конструкторських баз виробу. Цей метод є простішим порівняно з ЕШМ, він забезпечує більш короткі строки підготовки виробництва й за точністю узгодження близький до ЕШМ. КШМ має такі особливості:

1) базово-інструментальне узгодження плазів і шаблонів (досягається розміткою плазів, шаблонів і виконанням у них БО за допомогою ПК);

2) перенос контурів плазів на заготовки шаблонів і дублювання плазів для ведених заводів (здійснюється застосуванням фото- або електронного копіювання);

3) застосування ПК та ІС для побудови й вимірів розмірів при виготовленні пристроїв;

4) використання для монтажу й контролю складальних пристроїв оптичних і лазерних приладів.

Для узгодження обводів і контурів застосовують робочі шаблони ШВК, ШКП і КРП, а також частковий еталон складної зони поверхні (ЧЕП), з якого методом зліпка одержують обводи рубильників. Стикові вузли по розніманнях агрегату узгоджують за допомогою відстиківаних калібрів і стапельних плит, скопійованих за ОСБ і БО з майстра-плити. Взаємне положення БО, МО й контурів рубильників точно визначають і фіксують на ПК, а координацію окремих плоских перерізів (рубильників та їх МО) забезпечують за допомогою ІС. Контури окремих плоских перерізів у вигляді шаблонів ШМФ копіюють із ТПл (КП), а потім використовують для координації МО рубильників, стапельних і монтажних плит.

Монтаж складальних пристроїв виконують або в системі ІС (для невеликих складальних пристроїв), або за допомогою монтажних плит та оптичних (лазерних) приладів, контролюючи при цьому горизонтальність і вертикальність, паралельність і співвісність окремих елементів і МО. При цьому застосовують прецизійний нівелір, автоколیمатор із дзеркалом, що відбиває, теодоліт, квадрант із дзеркальним диском, пентапризму, цільові знаки. При монтажі великогабаритних стапельів використовують оптико-телевізійні установки. При мон-

тажі й контролі стапельного оснащення залежно від поставленого завдання складають конкретні схеми застосування комбінацій зазначених приладів.

5.4. Міжзаводське узгодження оснастки при КШМ [39, с. 88-93; 40, с. 88]

Для узгодження оснастки між заводами, що виготовляють однотипні вироби, при використанні КШМ необхідно передати веденому заводу копії креслень виробу й технологічного оснащення, копії плазів і комплекти основних ШКК.

Контрольну оснастку веденого заводу відстикують з аналогами провідного заводу. Номенклатуру такої оснастки визначають при запуску літаків у виробництво й указують у схемах узгодження, а її креслення передають на ведений завод. Ведений і провідний заводи на своїх координатних ІС і ПК забезпечують паралельне виготовлення складальної та заготівельної оснастки за шаблонами, скопійованими за допомогою ШКК. Після виготовлення перших агрегатів на ведених заводах їх відстикують з парними агрегатами літака провідного заводу та вводять корекцію на оснащення.

5.5. Координатно-цифровий метод (КЦМ) узгодження оснастки або метод координатно-аналітичного узгодження (МКАУ) і забезпечення взаємозамінності об'єктів конструкцій [31, с. 715-716; 32, с. 144-154; 40, с. 95-98; 41, с. 152-164]

Розвиток обчислювальної техніки, поява досконалого устаткування з числовими системами програмного керування, досягнення в області прикладної математики створили умови для створення нових методів узгодження виробів складних форм і великих розмірів. З іншого боку, зросли вимоги щодо точності обводів літаків, виникла гостра потреба в скороченні строків і зниженні трудомісткості підготовки виробництва при запуску нових виробів. У зв'язку з цим все більшого застосування знаходять безплазові методи узгодження, основані на принципі незалежного утворення форм і розмірів сполучених елементів конструкції.

Алгоритми вирішення різних завдань ТПВ дозволяють аналітичними методами виконувати узгодження форм і розмірів, розробляти програми для ЕОМ й устаткування з ЧПУ, автоматизувати процес завдання, погодження й відтворення поверхонь.

Таким чином, при КЦМ контури зовнішніх обводів ЛА задають у вигляді математичних рівнянь, які за допомогою універсальних програм перетворюють у форму (у вигляді координат точок поверхні), зручну для обробки за допомогою ЕОМ.

Потім цю цифрову інформацію записують на програмоносії (на-

приклад, на магнітну стрічку) і далі за сигналами з яких виконують механічну обробку об'єктів на ВЧПУ.

Таким чином, цифрову інформацію про розміри й форму конструкції виробу переносять із креслення безпосередньо на оброблювані деталі.

Інформацію про взаємне розташування окремих плоских перерізів агрегатів і про координати стикових вузлів літака відносно конструкторських баз задають у кресленнях і записують як систему КФО в спеціальних таблицях.

Відповідно до цього методу виготовлення плазів не виключається – вони перетворюються в додатковий засіб візуального контролю аналітичних рішень (плазмами коректують координати контурів). Для зниження трудомісткості при кресленні плазів (ТПл або КП) застосовують креслярські автомати з програмним управлінням (координатографи), які за заданою програмою з великою точністю накреслюють лінії ТПл і КП. Координатограф створює плоску прямокутну координатну систему. Програми управління записуються ним на магнітну стрічку у вигляді сигналів, змодульованих по фазі. Для типових випадків розроблені стандартні програми.

Для зменшення трудомісткості й підвищення точності виготовлення шаблонів й обвідної оснастки використовують запис програм для їхньої обробки безпосередньо з графічної інформації плазу. Розроблено установки для такого запису.

Як конструкторські креслення застосовують виконані на напівпрозорому пластику в натуральну величину за допомогою координатографа креслення загального вигляду перерізів агрегату. Такі креслення (черлони) містять числову інформацію про геометрію кожного перерізу і у процесі проектування виробу забезпечують узгодження всіх конструктивних елементів. У такому вигляді вони виконують функцію КП.

Заготівельна обвідна оснастка, а також певна номенклатура деталей конструкції може бути виготовлена за програмами безпосередньо на ВЧПУ. Складальну оснастку монтують аналогічно технології КШМ із застосуванням ІС і ПК, а також оптичних приладів. Тут контур обвідних фіксаторів також обробляють за програмами на ВЧПУ.

При даному методі узгодження скорочується ланцюжок переносу розмірів, зменшуються витрати на підготовку виробництва, вирішується проблема недостатності кваліфікованих робітників, значно розширюється номенклатура деталей літака, оброблюваних на ВЧПК.

5.6. Метод об'ємного узгодження (МОУ) при виробництві АКТ [31, с. 712-715; 32, с. 138-144; 39, с. 95; 40, с. 88-92]

На основі розглянутих раніше ПШМ, ЕШМ і КШМ можна розв'язувати проблеми узгодження оснащення деталей каркаса, обшива-

льного набору та їхніх стиків у конструкціях АКТ, але важко вирішувати такі завдання технологічної підготовки виробництва:

- 1) узгодження елементів монтажів і бортових систем (БС) АКТ між собою;
- 2) узгодження БС з точками їхнього кріплення;
- 3) узгодження деталей обшивок і каркаса ЛА із БС;
- 4) відпрацьовування БС в умовах реальних навантажень від масових сил елементів монтажів;
- 5) створення оптимальних розмірних ланцюгів, просторово розташованих в обсязі агрегатів бортових систем АКТ;
- 6) створення об'єктивних засобів контролю бортових систем у сфері підготовки виробництва при постійних змінах у конструкції АКТ.

У зв'язку з цим одним із шляхів вирішення зазначених завдань є просторове узгодження розмірних ланцюгів БС АКТ в об'ємному спеціальному контрольному оснащенні, що привело до створення технічної й організаційної системи заходів – методу об'ємного узгодження (МОУ). Даний метод передбачає натурне еталонування практично всіх деталей, вузлів й елементів БС виробу й перенос усіх робіт з контрольного узгодження об'єктів конструкції в сферу підготовки виробництва.

Суть МОУ полягає в тому, що за допомогою спеціальних засобів базового еталона (БЕ) і об'ємного плазу (ОП) (об'ємного макета) при підготовці виробництва виконують узгодження розмірних ланцюгів деталей планера АКТ й створюють розмірні ланцюги елементів БС, що переносяться на технологічну оснастку за допомогою еталонування об'єктів.

У МОУ єдиним першоджерелом узгодження деталей планера АКТ й складальної оснастки є БЕ, що являє собою натурну за розмірами і формою поверхню агрегату, включаючи макети стиків і рознімань. Одночасно БЕ є джерелом для утворення базової поверхні ОП, що є просторовою натурною поверхнею внутрішнього об'єму агрегату, на якій зібрані еталони деталей і вузлів каркаса й змонтовані еталонні монтажні БС. На відміну від технологічної машини ОП містить не тільки деталі ЛА, але й основні настановні бази по обводах, стиках і контурах, які характеризуються жорсткістю й незмінністю координат. Це дає можливість забезпечити стабільність розмірних ланцюгів усіх об'єктів конструкції й незмінність системи при зніманні з ОП будь-якого елемента літака (наприклад, при проведенні модифікацій в окремих серіях). Таким чином, ОП є стабільним джерелом еталонних розмірів усіх деталей і систем агрегату. Технологічна машина (агрегат, літак) не характеризується стабільністю настановних баз, тому що їхні координати змінюються під впливом зосереджених мас окремих деталей або вузлів.

5.7. Порівняльний аналіз методів узгодження й області їхнього застосування [39, с. 93-95; 40, с. 88-98]

Кожний з розглянутих методів по-різному забезпечує точність виготовлення й узгодження оснастки, строки підготовки виробництва, собівартість виробів.

Використання ЕШМ дозволяє одержати найбільш високу точність узгодження об'єктів оснащення й конструкції по обводах і стиках. Однак цикл підготовки виробництва й витрати виявляються найбільшими. Метод застосовується для невеликих за габаритами АКТ з високими швидкостями польоту і складних аеродинамічних форм.

КШМ забезпечує високу точність оснастки по контурах, але менш точний при узгодженні обводів і стиків об'єктів конструкції АКТ. Цикл підготовки виробництва й витрати при цьому скорочуються. Контрольне оснащення у вигляді переналагоджуваних ІС і ПК є універсальним. КШМ використовують при ТПВ АКТ середніх і великих габаритів з дозвукowymi й білязвукowymi швидкостями польоту, в агрегатах яких поверхні подвійної кривизни складають відносно невелику частку.

Спрощений ПШМ простий і дорогий, однак найменш точний при виготовленні й узгодженні складальної оснастки секцій, відсіків, агрегатів ЛА. Його застосовують для узгодження плоских деталей і при монтажу складальних пристроїв плоских літакових вузлів типу шпангоут, лонжерон, нервюра та ін.

Найбільш високий ступінь узгодження деталей планера і бортових систем АКТ дозволяє одержати МОУ, але це пов'язано зі значними витратами на підготовку виробництва. Він застосовний при великих серіях і програмах випуску АКТ зі складними аеродинамічними обводами й високою щільністю монтажів.

КЦМ – найбільш перспективний з урахуванням розвитку методів математичного забезпечення програм і випуску (придбання) досконального устаткування з ЧПК. Його використання гарантує високу точність виготовлення та узгодження оснащення й об'єктів конструкції АКТ, значно поліпшує мобільність виробництва при зміні виготовлюваних виробів, скорочує номенклатуру заготівельного оснащення в цехах і може здешевлювати виробництво АКТ.

Перелічені методи узгодження застосовують у різних сполученнях між собою, що пов'язано з конструктивно-технологічними особливостями виробів, масштабами їхнього виробництва, заданою точністю агрегатів і вузлів і вимогами щодо точності узгодження по окремих параметрах об'єктів, а також рівнем собівартості вироблених АКТ.

6. ЕТАПИ СКЛАДАННЯ АКТ [11, 16, 17, 29, 42, 43, 52, 53, 54, 58]

6.1. Вузлове й панельне складання. Класифікація вузлів і панелей за конструктивно-технологічними ознаками. Вибір і аналіз методів складання вузлів і панелей [29, с. 17-37; 41, с. 164-206; 52, с. 14-43, с. 96-100]

6.1.1. Вузлове й панельне складання [29, с. 17-37; 41, с. 164-170]

Прийнята схема конструктивно-технологічного членування АКТ дозволяє розчленувати конструкцію на вузли, панелі, секції, відсіки, агрегати й установити послідовність робіт й їхній обсяг на кожному етапі СМР. На першому етапі заготівельного виробництва виготовляють і визначають всю необхідну номенклатуру деталей і нормалей, яка задовольняє поставленим технічним вимогам до експлуатації й складання. На другому етапі починають **вузлове й панельне складання**. Приступаючи до розробки вузлової й панельної технології, виконують технологічний аналіз конструкції об'єктів, формулюють **технічні умови (ТУ)** на їхнє складання, монтаж і контроль, а потім розробляють схеми складання вузлів і панелей та описують робочу технологію СМР. Вузли й панелі – **сама численна категорія Скл. Од.** Вузли збирають із окремих деталей і підвузлів, з'єднуючи їх клепанням, зварюванням, болтами, клеєм, паянням. Вузли плоскої й просторової конструкції можуть входити до складу силової схеми АКТ або бортового устаткування. До них відносять збірні лонжерони, шпангоути, нервюри, вузли трансмісії, вузли систем керування та ін.

Панелі як Скл. Од. являють собою з'єднання декількох деталей каркаса з ділянками обшивки АКТ. Окремі деталі з листами обшивок скріплюють клепанням, зварюванням, комбінованими з'єднаннями. У ряді випадків у конструкціях агрегатів передбачають монолітні панелі. Складання панелей дозволяє широко використовувати **засоби механізації й автоматизації** при виконанні клепальних і зварювальних операцій.

Для **вузлового й панельного складання**, як і на інших етапах складання, важливе значення має обґрунтований вибір схем базування деталей і підвузлів. У цьому разі при аналізі об'єкта складання встановлюють **конструктивні, технологічні (складальні й настановні)** і вимірнувальні бази, які будуть використані в складальному процесі з дотриманням **трьох принципів базування: єдності баз, незмінності баз і збігу баз**. При реалізації **принципу єдності баз** за технологічну базу приймають базу конструктивну. Це дозволяє відмовитися від складального пристрою, однак у ряді випадків зібраний вузол має низьку точність.

При використанні **принципу незмінності баз** один раз вибрані бази в процесі наступних етапів СМР не змінюються. Дотримання даного принципу забезпечує високу точність при складанні відповідальних вузлів і панелей, особливо при наявності в їхній конструкції стикових вузлів по розніманню агрегатів АКТ.

Принцип збігу баз полягає в тому, що як настановні бази використовують складальні. Дотримання цього принципу при СМР забезпечує високу точність сполучення поверхонь елементів конструкції, що збирають, вузла (панелі), особливо тих, які складають аеродинамічний обвід АКТ. При цьому складання виконують у спеціальних складальних пристроях. Вибір баз і дотримання зазначених принципів істотно впливає на вибір методу складання й характер настановних операцій при СМР. При цьому рекомендують дотримуватися такої послідовності установлення конструктивних елементів: першими встановлюють деталі й Скл. Од., в яких складальні бази є настановними; другими на складання надходять Скл. Од., поверхні яких забезпечують утворення аеродинамічних обводів; у третю чергу – всі інші деталі в порядку геометричного нашарування з урахуванням властивостей жорсткості й умов підходу для установлення і з'єднання.

6.1.2. Класифікація вузлів і панелей за конструктивно-технологічними ознаками [40, с. 133-134; 41, с. 165-167; 43, с. 96-100]

За конструктивною ознакою (призначенню) **технологічні вузли** об'єктів АКТ підрозділяють на два класи:

1) **перший клас** – вузли каркаса, що входять у силову схему планера АКТ;

2) **другий клас** – вузли внутрішнього устаткування АКТ.

Вузли першого класу підрозділяють на такі:

1. Каркасні вузли зовнішнього аеродинамічного обводу (нервюри, шпангоути, лонжерони, силові перегородки й їхні частини та ін.). До цих вузлів ставлять такі вимоги: а) дотримання розмірів по контуру перерізу згідно з ТУ; б) витримування величини малки по всьому контуру в межах допусків; в) у зібраних вузлах не повинно бути внутрішніх напружень, а вхідні деталі мають відповідати вимогам аеродинаміки й міцності.

2. Каркасні вузли, несучі елементи нерухомого з'єднання з іншими вузлами каркаса (лонжерони та шпангоути зі стиковими кронштейнами, фітингами, гребінками та ін.). До таких вузлів ставлять такі вимоги: а) деталі стикових вузлів мають щільно прилягати по всій привалковій поверхні; б) забезпечення площинності поверхонь фланцевих стикових вузлів і точної координації ОСБ відносно осей симетрії та між собою; в) стикові отвори по діаметру і перпендикулярності осі до площини стику слід виконувати в межах допусків.

3. Каркасні вузли з елементами рухомого з'єднання з іншими вузлами й Скл. Од. (лонжерони кіля з шарнірними вузлами підвіски рулів; силові балки з вузлами підвіски стояка шасі та ін.). До цих вузлів ставлять такі вимоги: а) точна координація шарнірних вузлів відносно конструкторських баз; б) висока точність узгодження парних шарнірних вузлів і Скл. Од., що взаємно збираються; в) аеродинамічна й загальна взаємозамінність по всіх складальних базах вузла; г) забезпечення параметрів у діапазоні кінематичних переміщень при випробуваннях рухомих з'єднань.

4. Каркасні вузли внутрішньої силової конструкції АКТ, що не беруть участь у формуванні зовнішньої аеродинамічної поверхні (жорсткості, внутрішні силові балки, перегородки, підлоги кабін тощо). Такі вузли в процесі складання й після нього мають відповідати вимогам загальної взаємозамінності по вхідних деталях, отворах і вузлу в цілому.

Вузли другого класу розділяють на такі види:

1. Предмети внутрішнього устаткування АКТ інвентарного характеру (крісла, столики, драбини, вузли внутрішнього інтер'єра й побутового устаткування). До цих вузлів ставлять вимоги загальної взаємозамінності. Труднощі при цьому полягають в узгодженні кріпильних отворів з відповідними отворами каркаса планера.

2. Механізми всіх родів на борту АКТ (силові циліндри, сидіння, що катапультуються, механізми дистанційного керування АКТ, механізми завантаження вантажів на борт та ін.). До таких вузлів ставлять такі вимоги: а) точне (у межах допусків) розташування приєднувальних поверхонь деталей; б) забезпечення характеру посадок рухомих і нерухомих елементів вузлів; в) забезпечення діапазону кінематичних переміщень частин механізмів; г) вимоги до умов випробувань і контролю механізмів.

3. Вузли комунікацій на борту АКТ (комплекти трубопроводів; електроджгутів із приєднувальними елементами; комплекти жорстких тяг і тросових проводок тощо). До цих об'єктів СМР ставлять вимоги загальної взаємозамінності, дотримання ТУ при монтажі до каркаса планера; жорсткості кріплення на борту АКТ; доступності при випробуваннях і заміні.

Панелі конструкцій ЛА класифікують за такими ознаками:

1. Панелі внутрішнього набору, не пов'язані з обводами АКТ (панелі підлоги, внутрішніх перегородок, багажного відділення та ін.). До всіх подібних панелей поряд із загальними міцнісними вимогами ставлять вимоги взаємозамінності по розмірах, формі й місцям приєднання до каркаса.

2. Панелі, що входять в аеродинамічний обвід АКТ. До таких панелей ставлять вимоги аеродинамічної й загальної взаємозамінності, що регламентують точність обводів і поперечних і поздовжніх перерізів, а також мінімального місцевого перекручування поверх-

ні панелей і геометрії стикових елементів по розніманнях панелей.

3. Панелі герметичні й негерметичні. Тут технологічні вимоги визначають якість герметизації, технологію використання герметиків, умови випробування таких панелей.

4. Панелі відокремлюваної та невідокремлюваної частин конструкції, утворені по лініях рознімного або нерознімного з'єднання самих панелей з агрегатами. При цьому невідокремлювані панелі використовують у разі технологічної необхідності.

5. Панелі подвійної або одинарної кривизни, плоскі панелі. Панелі подвійної кривизни мають вигнутий поздовжній і поперечний набори, а одинарної кривизни вигнуті тільки в одній площині.

6. Панелі з поздовжнім або з поздовжнім і поперечним наборами. Останні технологічно найбільш складні при подвійній кривизні обшивки.

7. Панелі монолітні (пресовані, штамповані, фрезеровані). Додаткову механічну обробку таких панелей звичайно виконують на верстатах з ЧПК, а для їхнього складання з поперечним набором агрегатів на ребра панелей установлюють книці або компенсатори.

За технологічними ознаками вузли й панелі розділяють:

1) за видом використовуваних у конструкції з'єднань (клепаного, звареного, клеєного або болтової конструкції);

2) за видом застосовуваних у конструкції матеріалів (з алюмінієвих, титанових сплавів, композиційних матеріалів, неметалів, комбінованих матеріалів і сплавів).

Технологія складання вузлів і панелей кожного типу наведеного класифікатора має свої особливості, виходячи з характеру конструкції й технічних вимог.

6.1.3. Вибір і аналіз методів складання вузлів і панелей [40, с. 134-145; 41, с. 167-170]

Розрізняють такі методи складання вузлів і панелей: за кресленням, складальними отворами (СО), у пристрої.

Складання за кресленням виконують тоді, коли деталі мають достатню жорсткість, їх виготовляють відповідно до системи допусків і посадок, забезпечуючи повну взаємозамінність вузла, що збирається. Крім того, складання за кресленням без оснастки застосовують у дрібносерійному виробництві, коли вимоги креслення можна забезпечити без спеціального оснащення.

Складання за СО застосовують при використанні ПШМ у серійному й масовому виробництвах. При цьому збирають деталі, що виготовляють за шаблонами і кондукторами з наступним їх установленням шляхом сполучення СО на парних деталях. Аналіз складання за СО показує, що цей спосіб має економічні переваги й забезпечує задану точність. Однак цей метод складання має такі недоліки: важко

забезпечувати задану точність ув'язування СО із деталями; є обмеження щодо жорсткості й структури конструкцій вузлів і панелей; в окремих випадках як СО доводиться призначати спеціальні технологічні отвори. Складання по СО виконують без складальних пристроїв або в спрощених пристроях.

Складання в пристрої проводять у випадках, коли до вузла або панелі ставлять підвищені вимоги щодо точності обводів, контурів або стиків, а також коли складальне оснащення сприяє значному скороченню трудомісткості й циклу випуску нежорстких виробів, особливо при серійному виробництві.

При розробці процесу складання вузла або панелі вибирають найбільш економічну схему складання, при якій забезпечується задана точність конструктивних параметрів. Для цього необхідно вибрати складальну базу, скласти схему складання за заданими критеріями оптимальності, розробити ТВ на вхідні деталі, визначити вимоги до конструкції складальних і контрольних пристроїв, підібрати устаткування й інструмент, визначити трудомісткість операцій.

Більша частина панелей пов'язана з аеродинамічними обводами. Це панелі фюзеляжу, крила, центроплана, оперення, мотогондоли. Залежно від характеру конструкції й вимог щодо точності застосовують два методи складання таких панелей:

1) метод складання з базою від каркаса, коли в складальний пристрій встановлюють деталі каркаса по різних фіксаторах і з'єднують їх відповідно до креслення, а потім розміщують їх на зібраному каркасі й прикріплюють до нього обшивки;

2) метод складання від обшивки, коли спочатку в пристрої закладають обшивки й фіксують їх по обводу, а потім на них встановлюють деталі каркаса. Цей метод найпоширеніший при складанні панелей, завдяки його використанню одержують високу точність зовнішніх обводів.

6.2. Секційне й агрегатне складання [27, с. 47-65; 40, с. 145-156; 41, с. 178-184]

Раціональне членування конструкції АКТ на окремі агрегати, відсіки, секції, панелі й вузли дозволяє значно спростити складання й знизити трудомісткість СМР. На основі схеми членування розробляють можливу схему складання АКТ.

За конструктивно-технологічними ознаками агрегати, відсіки й секції можна об'єднати в **три групи**:

1) відсіки, секції, агрегати непанельованої конструкції, які складають із окремих деталей і вузлів. Складання таких виробів потребує застосування складних стапелів і тривалого циклу складального процесу;

2) відсіки й агрегати панельованої конструкції, що скла-

дають із панелей, вузлів збірної й монолітної конструкції та деяких деталей. У цьому разі конструкцію складальних пристроїв спрощують і створюють умови для розширення фронту робіт і механізації складання;

3) **агрегати, розчленовані на відсіки** (або великі відсіки, розчленовані на секції). Тут відсіки й секції збирають із деталей і вузлів. У більшості випадків такі відсіки (секції) надходять на складання агрегату (відсіку) з повністю виконаними складальними й монтажними роботами. Після стикування таких частин у єдину конструкцію агрегату проводять регулювальні, випробувальні й деякі монтажні роботи.

Зміст технологічних процесів та обсяг робіт, виконуваних при складанні агрегатів, відсіків, секцій, визначаються **конструктивно-технологічними параметрами** виробів, що складають, **масштабом виробництва, прийнятим методом забезпечення взаємозамінності й точності розмірів конструкцій АКТ**. Міцність, аеродинамічні властивості й герметичність зібраних агрегатів мають задовольняти задані **технічні вимоги**.

Об'єктами СМР на етапі секційного й агрегатного складання є фюзеляж або корпус АКТ, крила, стабілізатори, кілі, рулі хвостового оперення, мотогондולי, гондולי шасі, закрилки, елерони, хвостові й кінцеві балки вертольотів, відсіки й секції крила або фюзеляжу, центроплани та ін.

6.2.1. Класифікація секцій за технологічними ознаками, технічні вимоги до них. Панелювання секції [40, с. 145-149; 41, с. 179-181]

Секції – наступні після панелей і вузлів Скл. Од. АКТ, які збирають із деталей, панелей і вузлів на основі прийнятої схеми складання, є складовою незалежною частиною агрегату або його відсіку. До секцій відносять носові й хвостові частини крила, стабілізаторів або кілів літака; бічні й нижні секції фюзеляжу; кесон крила або кіля та ін. Особливістю секцій є **незамкнутий аеродинамічний контур перерізу** їх форми. Виділення секції як Скл. Од. дозволяє виконувати її складання, монтаж, контроль і приймання незалежно від інших Скл. Од., що значно розширює фронт робіт.

Секції **за технологічними ознаками** класифікують у такий спосіб:

1. Відокремлювані секції, які з'єднують з іншими Скл. Од. за допомогою рознімних з'єднань (наприклад, носова частина крила устанавлюється на лонжерон за допомогою анкерних гайок).

2. Невідокремлювані секції, які з'єднують з іншими Скл. Од. нерознімними з'єднаннями (наприклад, нижню секцію фюзеляжу клепають по стиках з іншими секціями).

3. Секції зі значною кількістю рознімних і стиків, важливих з точки зору забезпечення точності (наприклад кесонна частина крила).

4. Секції різних груп габаритних розмірів і будівельної висоти конструкції, що впливають не тільки на трудомісткість і цикл складання, але і якісно змінюють технологічний процес СМР.

5. Секції герметичні, які значно ускладнюють технологію СМР порівняно зі складанням негерметичних секцій.

6. Секції з різним ступенем насиченості внутрішніми монтажами, що принципово можуть змінювати методи узгодження й забезпечення взаємозамінності конструктивних елементів.

Для класифікації секцій можуть бути застосовані й інші технологічні критерії: за видом кріплення, типом конструкційних матеріалів тощо.

Кожній класифікаційній групі ставлять різні технічні вимоги з урахуванням специфіки конструкції й призначення. Але виділяють деякі загальні категорії вимог для будь-яких секцій:

1. Вимоги укомплектованості секції відповідно до схеми складання (у тому числі елементами вузлів внутрішнього устаткування АКТ).

2. Вимоги геометричної точності й взаємозамінності (загальної й аеродинамічної) секції та її частин; при цьому визначають допуски на різні параметри.

3. Міцнісні й експлуатаційні вимоги, що забезпечуються особливостями технології (наприклад параметри герметичності).

4. Вимоги точності розташування місць кріплення бортових систем і місць рознімання, що досягається прийнятими схемами узгодження й членування.

Що стосується класифікації відсіків і характеру технічних вимог до їхнього складання, то вони в основному аналогічні підходам при технологічному аналізі секцій і відсіків, а також при оцінці їхнього рівня технологічності, коли фактор панелювання цих Скл. Од. є дуже важливим. Вичленування в конструкції секції й відсіку панелей робить складання й монтаж високопродуктивними й високоякісними процесами в серійному виробництві. Однак панелювання слід виконувати за оптимальною схемою членування секції, коли кількість окремих панелей має поліпшувати техніко-економічні показники СМР і не збільшувати масу конструкції за рахунок додаткових рознімань.

6.2.2. Методи складання секцій. Типові технологічні процеси складання відсіків, що панелюють [40, с. 149-152; 41, с. 181-182; 52, с. 18-26]

Складання секцій і відсіків ведуть у складальних стапелях з базуванням за методом "**від обшивки**" або "**від каркаса**" залежно від характеру конструкції й технічних вимог. Секції й відсіки крила, як правило, складають з базою "від обшивки", а відсіки й секції фюзеляжу – і "від каркаса", і "від обшивки". Це відноситься і до хвостового

оперення. Вибір методу в конкретному випадку залежить від заданої точності обводів і стиків.

Технологічні процеси складання панельованих і непанельованих конструкцій розрізняються за характером і обсягом робіт. У першому випадку на складання секції (відсіку) надходить менша кількість елементарних деталей і вузлів, тому що частина з них уже складена в панелі. При цьому збирання складається з установаження вузлів і панелей по фіксаторах стапеля в складальне положення та з'єднанні їх по стиках. На панелях можуть бути виконані деякі монтажні роботи. У другому випадку на складання відсіку надходять тільки деталі й вузли. Весь обсяг монтажних робіт при цьому виконують при складанні непанельованої конструкції відсіку (секції). В іншому варіанті технологічного процесу складання цього відсіку в першу чергу по обвідних фіксаторах стапеля базують панелі, що містять розрізні частини шпангоутів, а потім по стикових швах панелі клепають. У цьому випадку стиковий шпангоут попередньо базують на стапельній плиті. Якщо шпангоути нерозрізні, то їх з'єднують із попередньо встановленими "від обшивки" панелями через компенсатори.

При складанні панельованих виробів обсяг клепальних робіт у загальноскладальному стапелі зменшується набагато більше, ніж при складанні непанельованих конструкцій; знижується також загальна трудомісткість складальних робіт відсіків (секцій) та їхній цикл. Наприклад, складання відсіку непанельованої конструкції довжиною 2 м і діаметром 0,8 м триває 12 робочих змін, а складання його панельованого варіанту – усього 6 змін. Таке скорочення циклу досягнуто паралельним складанням панелей і вузлів і застосуванням механізованого клепавання. Трудомісткість складання відсіку крила масою 470 кг при панельованої конструкції становить 200 нормо-годин, а непанельованої – 845 нормо-годин. Переваги панельованої конструкції багато в чому залежать від загального обсягу виробництва виробів.

Після стапельного складання відсік (секцію) передають на доробки й монтаж для **позастапельних СМР**, де встановлюють і монтують елементи конструкції, яким не потрібна фіксація в стапелі. Цим скорочують цикл стапельних робіт.

6.2.3. Складання агрегатів при типовому членуванні на відсіки, панелі. Оброблення стиків секцій й агрегатів.

Контроль точності відсіків та агрегатів

[40, с. 152-157; 41, с. 182-184; 52, с. 223-230; 54, с. 6-46]

Агрегати – це великі конструктивні частини АКТ, завершені в конструктивному й технологічному відношеннях. Агрегати, як і відсіки, після складання являють собою досить жорсткі (порівняно із секціями й панелями) конструкції, що мають замкнутий поперечний контур, завдяки чому безпосередньо визначають льотно-технічні характери-

ки АКТ. Агрегати з'єднують рознімними з'єднаннями по узгоджених стиках.

Існує *три технологічні схеми складання агрегатів*:

1. Складання агрегатів, не розчленованих на відсіки, секції й панелі. Тут на складання подають великі технологічні вузли й деталі широкої номенклатури. Ця схема трудомістка й характерна для складання невеликих агрегатів (типу рулів, елеронів, закрилків тощо), а також в умовах одиничного виробництва. Складання ведуть у стапелях.

2. Складання агрегатів, розчленованих на відсіки. Тут на складання подають великі завершені в технологічному відношенні відсіки (фюзеляжу, крила, хвостового оперення), а також технологічні вузли внутрішнього устаткування й комплекти деяких деталей агрегату відповідно до схеми складання й ТУ на поставку деталей. Методи з'єднання відсіків при складанні їх в агрегат впливають на технологічний процес СМР. Такі роботи виконують на універсальних стикувальних стендах. Конструкція стенда має забезпечити установлення відсіків, що стикують, у правильне взаємне положення й точне сполучення базових поверхонь стиків. У випадку технологічного стику виконують клепання або зварювання.

3. Складання агрегатів, розчленованих на секції, панелі, вузли й відсіки. Тут на складання в стапель подають найбільш жорсткі відсіки й секції, фіксують їх, а потім по обвідних фіксаторах стапеля встановлюють панелі, реалізуючи метод складання "від обшивки". Характер і послідовність операцій складання залежить від конструкції й виду стикових рознімів. При цьому свердління, клепання, зварювання, болтові з'єднання виконують переносним інструментом у стапелі складання агрегату. Наявність панелей спрощує складання й скорочує складальний цикл. У деяких випадках складання панельованих агрегатів (фюзеляжу, хвостового оперення, закрилків) проводять за методом базування "від каркаса".

Після виймання зібраних агрегатів із стапеля виконують *позастапельні роботи*:

1) оброблення стикових поверхонь агрегату на обробних стендах, де фрезерують стикові площини, знімаючи розрахунковий припуск, обробляють ОСБ, цекують поверхні (такі ж операції виконують й у відсіках агрегатів після виймання їх із складальних пристроїв); такі обробні стенди оснащують спеціальними механічними головками для фрезерування й свердління, а для правильного позиціювання агрегату (або відсіку) стенди мають базові фіксатори;

2) монтаж вузлів внутрішнього устаткування АКТ;

3) обробку поверхонь агрегату (ґрунтовку, фарбування, нанесення трафаретів);

4) контрольні й випробувальні операції відповідно до технічної документації на виріб. При контролі точності агрегатів (або відсі-

ків) насамперед визначають похибки їхніх обводів. При цьому порівнюють отримані після складання обводи й контури перерізів агрегату (відсіку) з еталонними. Еталонним контуром може бути шаблон, теоретична таблиця координат лінії контуру перерізу або аналітична форма цієї лінії. Для визначення відхилень обводу існує кілька методів: виміри по обводах рубильників стапеля інструментальним способом, по еквідистантних контршаблонах у спеціальному контрольному пристрої, по реперних точках при нівелюванні. Точність вимірів такими способами – до 0,1 мм. Інші параметри агрегатів контролюють і вимірюють за допомогою універсальних вимірювальних приладів та оптичних (лазерних) систем.

6.3. Механоскладальні роботи АКТ [41, с. 193-206, 42, с. 413-419]

6.3.1. Механоскладальні роботи у виробництві АКТ. Конструктивно-технологічні ознаки механічного устаткування АКТ

Механоскладальні роботи (МСР) містять складання й випробування агрегатів і вузлів **механічного устаткування (МУ)** АКТ: органів зльоту й посадки, систем керування АКТ та їхніми двигунами, сидінь, що катапультуються, ліхтарів кабін пілотів; пультів і щитків керування механізмами. МУ за конструктивно-технологічними ознаками розділяють на чотири основні групи:

1. Силкові гідравлічні агрегати й агрегати гідрогазових систем: амортизаційні стояки шасі; гідроциліндри; гідродемпфери; гідроприводи; редукційні, запобіжні й розподільні крани; а також крани керування гідро- і пневмоагрегатами. Ці агрегати працюють при великих тисках, з високою герметичністю ущільнень у будь-яких умовах, установлених ТУ. Збирають агрегати з механооброблених високоточних деталей з поверхнями, що мають високі ступені чистоти. Повну взаємозамінність забезпечують системою допусків і посадок, прийнятої при виготовленні жорстких деталей. Складання виконують без спеціальних складальних пристроїв за кресленням. Усі агрегати першої групи перед установленням на АКТ проходять ретельні випробування на контрольних стендах.

2. Агрегати, що являють собою складні механізми: сидіння що катапультуються, ліхтарі кабін, передня й основна опори шасі, установки спецустаткування та ін. Характерною особливістю є багатодетальність і складність конструкції, а також вимоги високої точності складання й надійності їхніх механізмів у режимі швидкодії. Агрегати цієї групи збирають у спеціальних пристроях, вони потребують ретельного контролю при складанні та у процесі випробувань.

3. Механізми систем керування АКТ: ножні педалі, штурва-

льні колонки, гвинтові механізми керування закрилками, шестерінчасті редуктори, трансмісії вертольотів тощо. До цих конструкцій ставлять вимоги плавної роботи без люфтів, надійності й міцності в експлуатаційних умовах. У вузлах цих механізмів використовують штамповані й литі корпуси, зварені вузли; посадкові місця в них обробляють механічно. На такі вузли й деталі поширюються вимоги повної взаємозамінності, дотримання рухомих і нерухомих посадок, а також заданих кінематичних параметрів у межах ТУ.

У ряді випадків у цих механізмах використовують **рухомі й нерухомі компенсатори**, що забезпечують точність замикаючої ланки. Розрізняють **два класи компенсаторів: конструктивні**, що є елементами конструкції – нарізні з'єднання, телескопічні, гнучкі, сферичні, компенсаційні кутики, зазори; прокладки; **технологічні компенсатори** – технологічні припуски й прокладки. Істотними є вимоги взаємозамінності по контактних поверхнях і кріпильних отворах тих вузлів механізмів, по яких їх установлюють на АКТ.

4. Вузли комунікацій механічних систем керування: комплекти жорстких тяг; проміжні качалки; сектори, коробки роликів для тросів і напрямних роликів для тяг; комплекти тросів зі з'єднувальними елементами. Вузли комунікацій мають забезпечувати надійну передачу зусиль від центральних до периферійних органів керування АКТ, а також до силових установок (двигунів). Для виконання цих вимог проводять остаточне регулювання повністю змонтованих систем керування безпосередньо на АКТ за допомогою компенсаторів. У з'єднаннях вузлів систем керування широко використовують підшипники кочення. У технологічному відношенні складання цих вузлів характеризується великим обсягом слюсарних робіт.

Вузли МУ можна також класифікувати за методами і засобами досягнення точності їхнього взаємного положення й надійності функціонування: **підбором, пригінкою або регулюванням і налагодженням**.

6.3.2. Загальні вимоги до агрегатів механічного устаткування з точки зору складання

Поряд зі специфічними вимогами залежно від їхнього функціонального призначення до агрегатів МО висувають загальні вимоги:

1. Забезпечити при складанні **точність розташування приєднувальних елементів** щодо деталей конструкції АКТ.
2. Розташувати в межах заданих допусків **привалкові поверхні вузлів МУ** при їх з'єднанні з основною конструкцією АКТ.
3. Дотримати **характер посадок рухомих і нерухомих елементів**, виходячи з умов роботи конструкції.
4. Витримати **діапазони призначеної довжини ходів, переміщень, кутів повороту й інших кінематичних вимог**.

5. Дотримати призначені **зусилля затягувань гайок, болтів та їх контрування**.

6. Забезпечити можливий **доступ до з'єднань й агрегатів МУ** для їхнього обслуговування.

7. Розмістити вузли й агрегати в МУ так, щоб це не заважало знімати один з них без демонтажу інших.

Більшість цих вимог виконують завдяки точній обробці подаваних на складання механічно виготовлених вузлів. Елементи вузлів, одержуваних зварюванням, надходять на складання з обробленими привалковими поверхнями і отворами, що оброблені в пристроях.

Якщо точність деталей при обробці й складанні МУ недостатня, використовують **пригінку** у вигляді операцій сумісного свердління отворів, зняття технологічних припусків шляхом припилювання, шабрування, притирання. Пригінки можна уникнути **підбором деталей або застосуванням компенсаторів**. Кінематичні вимоги виконують, регулюючи елементи конструкції систем МУ.

Необхідно передбачати **максимальну технологічну завершеність вузлів МУ**, використовуючи найбільш можливу кількість комплектуючих деталей. Це забезпечує можливість випробувань вузлів як самостійних одиниць, а також скорочення обсягу робіт при загальному складанні АКТ.

Відмови пневматичних і гідравлічних агрегатів виникають через попадання у внутрішні порожнини забруднень, тому їхнє складання проводять на спеціальних ділянках, ізольованих від інших. Після складання такі агрегати зберігають і транспортують у спеціальній тарі, а технологією складання передбачені промивання й очищення робочих порожнин цих агрегатів.

Одержав поширення **метод зонального розташування систем МУ** на борту АКТ. При цьому виділяють зони гідравліки, енергетичного устаткування, жорстких або тросових систем керування та ін. Це дозволяє широко впроваджувати паралельний метод складання, монтажу й налагодження систем, використовуючи складально-монтажні панелі. Загальні вимоги передбачають можливість контролю й випробування систем МУ або їхніх ділянок в окремих відсіках й агрегатах АКТ.

Обов'язкове використання **принципу взаємозамінності при виробництві виробів МУ** передбачає: 1) розрахунок похибок параметрів частин виробів, що задовольняють необхідну точність виробу й складання його без доробок по місцю; 2) використання найбільш раціональних процесів складання й контролю з гарантією заданої точності й надійності роботи виробу.

Самі агрегати й вузли МУ слід встановлювати на борт АКТ без підгінки місць їхнього кріплення; для цього на різних етапах складання планера виконують роботи з підготовки місць кріплення кронштейнів під вузли й агрегати МО.

У заготівельних цехах у стінках шпангоутів, нервюр, балок і діафрагм під жорсткі тяги й тросові проводки виконують отвори за шаблонами, а при подальшому складанні цих вузлів отвори базують по фіксаторах складального пристрою відносно контурів вузлів. Отвори для кріплення фланцевих фітингів, кронштейнів під качалки й вузли МУ свердлять у силовому каркасі АКТ по кондукторах складальних пристроїв. Для установлення кронштейнів, вузлів й агрегатів МУ в ряді випадків використовують макети (калібри) цих об'єктів, які точно базують відносно основних конструкторських баз АКТ.

Зважаючи на велику кількість устаткування на сучасній АКТ, при її серійному виробництві всі системи бортового устаткування піддають конструктивно-технологічному відпрацюванню на плоских й об'ємних плазах, а також на технологічних агрегатах або відсіках АКТ. При цьому забезпечують їхнє геометричне узгодження, оптимальне компонування в просторі й функціональне відпрацювання систем МУ. Готові вироби систем МУ піддають 100%-му вхідному контролю.

7. ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ СКЛАДАННІ КОНСТРУКЦІЙ АКТ [1, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 16, 31, 42, 43, 52, 61, 62, 63, 68]

7.1. Характеристика застосовуваних у виробництві АКТ з'єднань [2; 3; 4; 6; 11; 31; 42, с. 367-368; 43, с. 28-29, 52]

З'єднання конструктивних елементів можуть бути розділені на нерухомі нерознімні, нерухомі рознімні й рухомі рознімні.

Нерухомі нерознімні з'єднання забезпечують незмінне положення деталей і вузлів, що збирають відносно одні одних. До таких видів з'єднань відносять клепаання, зварювання, склеювання, паяння й посадку з натягом. Розбирання цих з'єднань надто утруднене й супроводжується пошкодженням деталей, що з'єднують (при зварюванні), кріпильних деталей (при клепаанні) або руйнуванням скріплюючої речовини (при склеюванні та паянні).

Нерухомі рознімні з'єднання забезпечують незмінне взаємне положення деталей з можливим розбиранням вузла, відсіку або агрегату без пошкодження кріпильних деталей і деталей, що з'єднуються. До них відносяться болтові й гвинтові з'єднання.

Рухомі рознімні з'єднання допускають переміщення з'єднаних деталей відносно одні одних. Прикладом таких з'єднань є шарнірні болтові пари, підшипники ковзання, гвинтові передачі, зубчасті пари та ін.

Вибір виду з'єднання залежить від конструкції АКТ, матеріалів, з яких виготовлені її агрегати, відсіки й вузли. Так, наприклад, при виготовленні літака клепаної конструкції з алюмінієвих сплавів кількість нерухомих нерознімних з'єднань становить приблизно 80% (у тому числі з'єднань клепаанням – 60% і зварюванням – 20%), а нерухомих рознімних (болтових) – 20%.

При виготовленні виробів з нержавіючих і жароміцних сталей кількість зварених з'єднань становить 70...75%, клепааних – 5%, а болтових і гвинтових рознімних з'єднань – решта.

У зв'язку з широким впровадженням у конструкцію літаків монолітних панелей кількість клепааних і зварених з'єднань зменшується, а болтових збільшується. Болтові з'єднання застосовують для кріплення монолітних панелей по стиках, стикових гребінок з обшивками і відсіків й агрегатів по стиках.

Залежно від методу з'єднання створюють і технологічний процес складання, тому що цим визначаються конструкція складального пристрою, інструмент й устаткування, застосовувані при складанні.

Розглянемо технологічні процеси складання вузлів і панелей при застосуванні різних видів з'єднань.

7.2. Заклепувальні з'єднання [10, с. 11-74; 16, с. 377-392; 27, с. 108-115; 28, с. 33-56; 38, с. 42, с.368-389; 52, с. 184-214]

При складанні вузлів, відсіків й агрегатів з легких сплавів основним нероз'ємним з'єднанням є заклепувальне. Процес з'єднання деталей заклепками складається з таких операцій:

- 1) свердління або пробивання отвору під заклепку;
- 2) зенкування або штампування гнізда під закладну головку заклепки при потайному клепанні;
- 3) вставка заклепки в отвір;
- 4) клепання – стиск пакета деталей, що склепують (силами **Q**), і утворення замикаючої головки (силами **P**);
- 5) контроль якості з'єднань.

Заклепки виготовляють із легких сплавів і сталей з виступною і потайною закладними головками. Застосовувані в АКТ заклепки нормалізовані й мають шифр, що вказує форму закладної головки, марку матеріалу, діаметр і довжину стрижня. Щоб за зовнішнім виглядом розрізнити марку матеріалу, на головках заклепок проставляють умовні знаки у вигляді опуклих або поглиблених точок, хрестиків і т.д.

У з'єднаннях, обтічних повітряним потоком, звичайно застосовують заклепки з потайними головками. На сучасних літаках такі заклепки становлять приблизно 65...70% загальної їхньої кількості.

Залежно від товщини деталей, що склепують, гнізда для головок потайних заклепок можна виготовляти зенкуванням, штампуванням або зенкуванням і штампуванням. Порівнюючи різні методи потайного клепання, слід мати на увазі різну трудомісткість їхнього виконання. Так, якщо прийняти трудомісткість виконання з'єднання заклепками з виступаючими головками за 100%, то при потайних заклепках вона дорівнюватиме 120% при зенкуванні гнізд, 190% – при штампуванні гнізд, 210% – при зенкуванні гнізд у каркасі й штампуванні їх в обшивці.

Одним із шляхів підвищення ресурсу й герметичності з'єднань є застосування заклепок з компенсатором типу ЗУК й їхніх модифікацій. Призначення компенсатора – поліпшити заповнення зенківки, забезпечити при клепанні приплив додаткового матеріалу усередину пакета, у результаті чого підвищуються витривалість і герметичність з'єднання.

Отвори для заклепок у деталях, що з'єднують, свердлять або пробивають. Для підвищення міцності заклепувальних з'єднань необхідно пробивати отвір меншого діаметра, а потім розсвердловати або протягувати їх до необхідного розміру. При свердлінні отворів під заклепки діаметр свердла має бути на 0,1 мм (для діаметрів заклепок до 5 мм) і на 0,2 мм (для діаметрів заклепок від 5 мм і вище) більше номінального діаметра заклепки. Це дозволяє легко вставляти закле-

пку в отвір і добре заповнювати отвір стрижнем заклепки після клепа́ння. Отвори для заклепок залежно від зручності підходу до місця з'єднання, кількості отворів і габаритів агрегату можна свердлити, використовуючи універсальні й спеціальні свердлильні верстати, пневматичні або електричні дрилі.

Утворення замикальної головки відбувається методом пресування або ударом. При пресовій клепа́нці застосовують клепа́льні преси або автомати, а при ударній – пневматичні клепа́льні молотки.

Пресове клепа́ння характеризується тим, що замикальну головку заклепки формують при рівномірному стисканні стрижня. Розрізняють одиночне й групове пресове клепа́ння. При одиночному клепа́нні за один хід преса розклепує одну заклепку, а при груповому – декілька. Клепа́льні преси за експлуатаційною ознакою розділяють на стаціонарні й переносні. Можливість застосування того або іншого типу преса залежить від підходів до місця клепа́ння, діаметра заклепок, що розклепує, розмірів вузлів і панелей та інших конструктивних і технологічних факторів. У промисловості застосовують велику кількість різних пресів для групового й одиночного клепа́ння.

Клепа́ння тиском з розкочуванням. Створення й застосування спеціальних методів клепа́ння обумовлені в основному необхідністю зниження деформацій і забезпечення герметичності стикових з'єднань, а також підвищення ресурсу з'єднань в особливих умовах – при складній геометрії з'єднання, наявності матеріалів, властивості яких істотно відрізняються від металів, а також наявності ряду додаткових вимог до з'єднань.

Так, метод клепа́ння тиском з розкочуванням дає можливість керувати деформацією заклепки в процесі виконання з'єднання, забезпечує клепа́ння конструкції з металевих і полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), органічного скла. Виключаються вібрація й шум при клепа́нні, а також деформування деталей, що з'єднують.

При **ударному клепа́нні** замикальну головку заклепки утворюють за один або декілька ударів клепа́льного молотка. Пневматичні клепа́льні молотки завдяки незначним розмірам, вазі й можливості клепа́ння ними в будь-якому положенні молотка відносно виробу застосовують на вузловому, агрегатному і загальному складанні. Принцип дії молотка полягає у використанні енергії стисненого повітря для надання поршню в циліндрі зворотного-поступального руху, при якому він періодично наносить удари по обтискачу, встановленому на головку заклепки. Клепа́ння здійснюють пневмомолотком і підтримкою, при цьому зайнято два робітники. Клепа́ння називають прямим, коли підтримка підведена до закладної головки заклепки, а обтискач молотка наносить удари по стрижню й утворює замикальну головку. При зворотному клепа́нні обтискач молотка наносить удари по закладній головці заклепки, а підтримка співударяється зі стрижнем заклепки й утворює замикальну головку заклепки. Зворотний спосіб ефективний

для пакетів, що мають малу жорсткість.

Заклепку розклепують за 10 - 30 ударів поршня, причому момент вимикання молотка визначає робітник. Молотки працюють автоматично в будь-якому відносно виробу положенні (вертикальному, горизонтальному або похилому). Тип молотка вибирають з урахуванням властивостей матеріалу й діаметра заклепки. Маса підтримки, що значно впливає на якість шва й умови роботи клепальника, розраховують за емпіричними співвідношеннями. Залежно від діаметра заклепки d , що розклепується, потужності молотка й кількості ударів, необхідних для одержання замикальної головки, у виробництві АКТ рекомендують такі маси:

пряме клепання, легкі сплави	$m = 2d$;
пряме клепання, сталеві заклепки	$m = 4d$;
зворотне клепання, легкі сплави	$m = 0,5d$;
зворотне клепання, сталеві заклепки	$m = d$.

Для зменшення шкідливого впливу вібрації на руки робітників застосовують підтримки з віброгасильним пристроєм, обладнаним пружиною, що, стискуючись при ударі, частково зменшує силу удару при клепанні й віддачу на руку робітника.

При **імпульсному клепанні** з використанням спеціальних імпульсних клепальних молотків заклепки клепають за один удар. У цьому разі деформація стрижня заклепки забезпечується за рахунок збільшення:

- 1) пластичності, тому що швидкість деформації висока;
- 2) кінетичної енергії при збільшенні швидкості переміщення бойка.

Це клепання порівняно з багатоударним забезпечує ліпші умови роботи завдяки зниженню шуму й виключенню вібрацій.

Переваги клепання на пресах і автоматах у порівнянні з клепанням пневматичними молотками. Великий досвід застосування різних видів клепального устаткування й дослідження процесів клепання показали, що пресове клепання (одиначне, групове, автоматичне) має такі переваги порівняно з ударним:

- 1) більша продуктивність праці завдяки застосуванню групового клепання;
- 2) стабільність якості з'єднань у зв'язку з тим, що процес клепання не залежить від кваліфікації робітника;
- 3) ліпша якість поверхні клепаного шва, відсутність на ній забоїн і підсікань, а також місцевих пошкоджень на зовнішній і внутрішній поверхнях елементів, що з'єднують;
- 4) незначність місцевих і загальних деформацій виробу, що склепують, завдяки рівномірній і стабільній деформації заклепок у процесі клепання;
- 5) поліпшення умов праці через відсутність шуму й шкідливого впливу вібрації на організм клепальника і його підручного.

Поряд з поліпшенням якості заклепувального шва при пресово-

му клепанні знижуються витрати на клепальні роботи. Розрахунки показують, що вартість пресового одиночного клепання нижче багатударного пневматичними молотками на 20...25%, а групового – в 3-4 рази.

Автоматизація й механізація клепальних операцій прискорюють й здешевлюють технологічний процес клепання. Наприклад, застосування свердлильних верстатів і свердлильно-зенкувальних автоматів забезпечує порівняно з пневматичними дрелями ліпшу якість отворів для заклепок, підвищує продуктивність і поліпшує умови праці.

В авіаційній галузі безупинно ведуть роботи з механізації й автоматизації клепально-складальних робіт. Рівень механізації клепально-складальних робіт багато в чому залежить від способу й ступеня членування літака. При раціональному членуванні літака пресове автоматичне клепання може бути застосоване для постановки 70...80% всій кількості заклепок.

7.3. Складання зварених і паяних вузлів і панелей **[16, с. 190-222; 31, с. 424-583; 42, с. 389-426; 52, с. 53-179; 58, с. 4-60]**

7.3.1. Складання зварених вузлів і панелей **[16, с. 190-222; 31, с. 424-553; 42, с. 389-426]**

Зварювання – процес утворення нерознімного нерухомого з'єднання матеріалів за рахунок перетворення теплової й механічної енергії й речовини в стику.

Класифікацію процесів зварювання проводять за фізичними, технічними і технологічними ознаками. До фізичних ознак відносять вид енергії, що підводиться, наявність тиску, тип інструменту. За видом енергії, що підводиться, всі основні процеси зварювання розділяють на термічні, термомеханічні й механічні. У свою чергу, енергія, застосовувана для зварювання, може бути хімічною, електричною та ін., причому вона буде характеризувати не процес зварювання, а устаткування. Термічні процеси здійснюють без тиску (зварювання плавленням), решту – звичайно тільки з тиском (зварювання тиском). Відповідно до технічних ознак, що визначають методи й різновиди зварювання, можна назвати зварювання в середовищі захисних газів або під шаром флюсу. За механічними ознаками (ступеня механізації) можна виділити ручне, напівавтоматичне й автоматичне зварювання.

Нині у виробництві АКТ найбільш застосовуваними є зварювання плавленням (під шаром флюсу й у захисній атмосфері нейтрального газу, звичайно аргону), контактне зварювання, а також електронно-променево зварювання й зварювання світловим променем.

Підготовка деталей до зварювання. Як вже було відзначено, якість звареного з'єднання значною мірою залежить від якості під-

готовки деталей. Наприклад, обробку крайок деталей при зварюванні плавленням виконують на металорізальних верстатах або за допомогою слюсарних інструментів. Підготовка крайок на зміцнених деталях, отриманих штампуванням або з напівфабрикату, що мають нагортання, потребує зняття внутрішніх напружень і підвищення пластичності. З цією метою виконують відпал деталей. Після обробки крайок поверхні, що зварюють, знежирюють, очищають від корозії, лакофарбових покриттів, вологи й інших забруднень на ширині 50...60 мм по обидва боки майбутнього звареного шва. Ці поверхні обробляють за допомогою наждакових кругів, металевих щіток або хімічних речовин.

При підготовці деталей передбачають також припуски на компенсацію усадочних деформацій і припуски на подальшу механічну обробку зварених вузлів.

Види зварювання [56; 57; 59; 62; 63]

Дугове зварювання [59, с. 11-16] виконують металевими електродами з обмазками. Установка для автоматичного дугового електрозварювання під флюсом працює так. Електродний дріт автоматично подають у зону зварювальної ванночки. З бункера надходить зернистий флюс, що ізолює розплавлений метал від навколишнього середовища й поліпшує хімічний склад і структуру звареного шва. При утворенні шва зварювальний агрегат автоматично переміщується уздовж нього. Автоматичне дугове зварювання відрізняється високою продуктивністю.

Електронно-променеве зварювання [59, с. 17-18]. Суть процесу полягає в такому. У спеціальній камері створюється вакуум в $10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па. Нитка розжарення катода, що живиться від спеціального трансформатора, нагрівається до температури 2500 °С, у результаті чого створюється потужна термоелектронна емісія. Між катодом й анодом подають прискорювальну напругу, величина якої залежить від товщини матеріалу, що зварюють, і призначення установки. Під впливом високої напруги електрони набувають більшої швидкості і спрямовуються до анода. У центрі анода є отвір, через який проходить пучок електронів. Далі він проходить через електромагнітну фокусуючу лінзу, що може стиснути його до дуже малих розмірів. Потім пучок електронів попадає в систему, що може відхилити його. Це дозволяє спрямувати пучок по лінії зварювання деталей. Нарешті пучок електронів ударяється об зварні крайки, і всю свою кінетичну енергію електрони передають зварюваним кромкам. При цьому виділяється велика кількість тепла і крайки розплавляються. Особливістю електронно-променевого зварювання є те, що глибина проплавлення в кілька разів більше ширини шва. Шов виходить дуже вузьким.

Контактне зварювання [56; 59, с. 56-73] дозволяє одержувати нерознімне з'єднання при спільній дії нагрівання й пластичного

деформування. Найчастіше застосовують точкове (ТЕЗ) і роликоче (РЕЗ) (шовне) зварювання.

7.3.2. Загальна характеристика паяних з'єднань і область їхнього застосування [40, с. 234-238; 41, с. 553-582; 59, с. 148-199]

Паяння – процес утворення нерознімного з'єднання. У виробництві АКТ паяння широко застосовується при складанні трубопроводів, монтажі електроджгутів і виготовленні вузлів і панелей зі стільниковим заповнювачем. Паяння являє собою процес, при якому розплавлений припій дифундує в нагріті й добре очищені від бар'єрних домішок поверхні деталей, що з'єднують. Після остигання місце з'єднання являє собою шари металу деталей і припою й проміжний шар припою й металу, що мають, як правило, досить чіткі фазові й структурні переходи від хімічного складу деталей до хімічного складу припою.

За температурою розплавлення **припої** підрозділяють на особливолегкоплавкі (145 °С), легкоплавкі (145...450 °С), середньоплавкі (450...1100 °С), високоплавкі (1100...1850 °С) і тугоплавкі (>1850 °С). На практиці широко використовують також традиційний розподіл припоїв на низькотемпературні (до 450 °С) та високотемпературні (понад 450 °С).

Флюси, застосовувані при паянні, розділяють на низькотемпературні (<450 °С) та високотемпературні (>450 °С). Залежно від розчинника розрізняють флюси водні й неводні (звичайно спиртові). Залежно від речовини, що визначає дію флюсу, вони бувають каніфольні, кислотні, галогенідні, гідразинові, фторборатні, анілінові, стеаринові, боридні, боридно-вуглекислі. За основним механізмом дії флюси можуть бути пасивними (захисними) і активними. Флюси застосовують у вигляді порошку, пасти або розчину залежно від способу паяння, характеру виробництва, виду конструкції й розмірів виробу й з'єднання, а також їхніх властивостей. Розроблено спеціальні газоподібні флюси, що утворюються при кипінні рідини (54 °С). Перевага таких флюсів полягає в повній відсутності продуктів реакції паяння.

Контроль якості зварних і паяних з'єднань [59, с. 200-213]. При виготовленні зварних і паяних конструкцій контролю піддають усі операції технологічного процесу, а також об'єкт виробництва.

Залежно від впливу на матеріал або виріб розрізняють методи руйнівного й неруйнівного контролю. Руйнівний контроль проводять звичайно на зразках-свідках, на моделях. При неруйнівному контролі, здійснюваному звичайно на самих виробках, виділяють десять основних видів контролю, при цьому досить широко застосовуються тільки п'ять: радіаційний, акустичний (ультразвуковий), магнітний, капілярний і течовитікання.

7.4. Складання клеєвих вузлів і панелей [42, с. 426-446; 43, с. 176-187; 68]

Нині застосування клейових з'єднань обмежується порівняно малою теплостійкістю клеїв. Наприклад, міцність поліамідних клеїв, одних із самих теплостійких при температурах нагрівання 200...300 °С, а епоксидно-фенольних – при 150...200 °С, за час експлуатації зменшується у два рази. Як показують дослідження, допустимі температури експлуатації клеїв наближаються до температур, допустимих для алюмінієвих сплавів. Найбільш широке поширення процеси склеювання одержали при виготовленні неметалічних стільникових конструкцій. Зараз клейові з'єднання починають застосовувати у сполученні з заклепками, болтами, а також з точковими зварними з'єднаннями.

Однією з важливих особливостей клейових з'єднань є те, що їхня міцність залежить від ширини склейки та товщини клейової плівки. Останнє залежить від точності виготовлення деталей і зусилля притиснення при складанні. Іншою особливістю клейових з'єднань є їхня схильність до необоротної зміни властивостей у результаті дії як підвищених температур, так і температур у звичайних умовах експлуатації. Тому при розрахунках ураховують не вихідну міцність клею, а ту, яку він матиме в кінцевий період експлуатації.

Для забезпечення оптимального зазору при склеюванні істотно збільшують точність виготовлення й припасування деталей, іноді застосовують плівкові клеї на основі тонкої склосітки. Одним із способів є також підвищення тиску при склеюванні. Нежорсткі деталі стискають до товщини склосітки, що відіграє у цьому разі роль обмежувача зазору. Саме з цієї причини майже повністю виключається склеювання жорстких деталей. Для збільшення надійності кінці клейових швів замикають заклепками.

Раніше вважалося, що клейові з'єднання надійно захищені від корозії. Останнім часом спостерігається усе більше випадків, коли усередині цього з'єднання процеси корозії відбуваються більш активно, ніж поруч зі з'єднанням. Крім того, доведено, що плакований матеріал кородує усередині клейового шва значно швидше, ніж неплакований. Як міру боротьби з корозією можна запропонувати:

- 1) корозійну перевірку клеїв;
- 2) введення пасивувальних домішок у клей і підшар;
- 3) введення інгібіторів вологи в підшар;
- 4) відмова від склеювання плакованих матеріалів;
- 5) герметизацію крайок клейових з'єднань.

7.5. Рознімні з'єднання й методи їхнього виконання [32, с. 698-705; 42, с. 447-456; 52, с. 215-219; 61]

При складанні планера АКТ, установленні приладів, механізмів та устаткування рознімні з'єднання виконують на **болтах, гвинтах, шурупах, шпильках** і т.д. Ці з'єднання застосовують при складанні:

- 1) агрегатів і відсіків по стиках і розніманнях;
- 2) листів обшивок і монолітних панелей;
- 3) тяг керування й трубопровідних систем.

Обсяг робіт з виконання рознімних з'єднань в АКТ безупинно зростає, особливо з'єднань виробів з монолітних вузлів і панелей. У сучасних пасажирських і транспортних літаках використовують велику кількість болтів, гвинтів і шурупів. Наприклад, у конструкції літака Іл-62 є 104.000 болтів діаметром від 6 до 30 мм, а в літаку "Антей" – 108.000 "класних" болтів. У конструкції ж планера й несучих гвинтів вертольота кількість болтів становить 10...20% від загальної кількості силових точок. Досвід повторно-статичних випробувань й експлуатації ЛА показує, що 75...85% всіх утомних руйнувань планера ЛА починається в місцях з'єднання елементів конструкції.

Посадку "класних" болтів виконують за Н7, Н8, Н9 (основні) і N5, N6, N7 (для посадок з натягом) квалітетами точності. Для цього використовують спеціальне устаткування для утворення отворів, постановки самих болтів в отвори й затягування гайок. Характерною особливістю болтових з'єднань є їхня велика трудомісткість, яка в 10 - 15 разів перевищує трудомісткість виконання заклепувального з'єднання. Близько 30% усієї трудомісткості припадає на установку болта, шайби й затягування гайки.

Процес виконання рознімного з'єднання при складанні містить такі операції:

- 1) утворення отворів під болти;
- 2) посадку болтів в отвори;
- 3) затягування болтів, гвинтів і гайок.

Утворення отворів, постановка й затягування болтів

Від якості утворення отворів залежать ступінь взаємозамінності по стику (можливість постановки болтів), жорсткість з'єднання й тривалість його роботи при експлуатаційних навантаженнях. У виробництві АКТ в процесі складання широко використовують розгортання й протягання отворів. Звичайно при розгортанні знімають припуск 0,06...0,3 мм на діаметр, що залишився після свердління. При постановці болтів з натягом виникає необхідність в одержанні отворів з точністю Н7, Н8 (основні посадки) і N5, N6, N7 (для посадок з натягом).

До недоліків обробки отворів розгортанням слід віднести трудомісткість процесу, особливо при багаторазовому розгортанні (при за-

стосуванні змішаних пакетів, наприклад, алюмінієвий сплав – титановий сплав); необхідність високої кваліфікації виконавців. Для одержання високоточних отворів раціональніше використовувати протягання. Наприклад, якщо розгортання дозволяє одержати отвори Н7, Н8, Н9 квалітетів точності й 7-го класу шорсткості поверхні, то протяганням можна підвищити клас шорсткості поверхні до 8 - 10, що збільшує ресурс з'єднання. Стан поверхневого шару отвору впливає в основному на витривалість – ресурс роботи з'єднань при змінних навантаженнях. При випробуванні зразків болтових з'єднань повторно-статичними навантаженнями при однаковій напрузі в небезпечному перерізі конструкції отримано такі дані. При свердлінні отворів кількість циклів до руйнування з'єднань $N = 1$, при свердлінні й розгортанні – $N = 1,1$, при свердлінні, розгортанні й зміцненні стінок на 10% від діаметра отвору – $N = 1,7$, при свердлінні й протяганні циліндричною протяжкою – $N = 1,2$. Іншими способами зміцнення отворів є до рнування або розкочування отворів. Розкочування отворів виконують роликowymi або кульковими елементами інструменту. Величина натягу при цьому залежно від марки оброблюваного матеріалу становить 0,5...0,8%.

Посадка болтів в отвори. При роботі болтів на розтягання, як правило, застосовуються посадки з зазором, а при роботі на зріз – з натягом.

7.6. Застосування клеєклепаних, клеєнарізних і клеєзварених з'єднань [42, с. 445]

Чисто клейові з'єднання досить обмежено застосовуються в АКТ. Їх використовують головним чином для склеювання порівняно тонких матеріалів (до 1,0...1,5 мм) як підтримуючі з'єднання. Комбіновані з'єднання: клеєклепані й клеєнарізні – використовують для місцевого посилення обшивок, а також для збільшення надійності конструкцій за рахунок зменшення поширення тріщин. Клеєзварені конструкції використовують в основному для підтримуючих з'єднань деталей порівняно невеликої товщини (до 1,5...2,0 мм) у місцях, де немає небезпечних з точки зору корозії умов. При застосуванні клеєзварених конструкцій необхідний особливо ретельний лакофарбовий захист швів, а іноді й їхня торцева герметизація.

Клеєклепані і клеєнарізні з'єднання можна виконати двома способами:

- 1) постановкою заклепок, болтів по затверділому клейовому з'єднанню;
- 2) постановкою заклепок, болтів по незатверділому клейовому з'єднанню з наступним його затвердінням.

Точкові електрозварені з'єднання металів одночасно зі склеюванням можна виконувати такими основними способами:

1) точковим зварюванням по нанесеному на з'єднувальні поверхні рідкому шару клею;

2) попереднім точковим зварюванням без клею й наступним заливанням клею в зазори між звареними деталями.

При виконанні клеєзварених з'єднань поверхню металів підготовляють так само, як і при точковому електрозварюванні й склеюванні.

На закінчення слід зазначити, що, незважаючи на дуже велику кількість досліджень, оснований на досвіді експлуатації й виробництва, поки немає можливості дати комплексну оцінку з'єднанням.

8. МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ УМОВНО-ЗБІРНИХ ВИРОБІВ ІЗ КМ. СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ [1, 6, 8, 11, 16, 23, 31, 42, 43, 48, 51, 52, 68]

8.1. Виготовлення деталей методом намотування [31, с. 408-424; 51, с. 240-248; 52, с. 240-248]

Методом намотування створюють найбільш міцні конструкції при мінімальній масі, що досягається орієнтацією армуючого наповнювача в напрямку дії головних навантажень. Методом намотування виготовляють деталі, що являють собою тіла обертання (секції трансмісійного вала, балони високого тиску, корпуси двигунів, повітропроводи) і деталі складної геометричної форми (лопати, закрилки).

Намотувальний верстат так званого токарного типу складається з приводу, що обертає оправку й переміщує укладальний пристрій. Цей пристрій має кільце і здійснює зворотно-поступальний рух по напрямній. Крізь кільце укладальника проходить нитка зі шпулі, просочена зв'язуючим у ванночці й нагріта до необхідної температури в камері. Армуючий матеріал укладають на оправку під регульованою напругою за допомогою напрямних і віджимних валиків. Швидкість намотування залежить від швидкості обертання оправки. У свою чергу, обертання оправки й переміщення укладального пристрою синхронізують. Залежно від довжини виробу, розрахункового кута намотування встановлюють відповідні числа оборотів оправки та поздовжніх ходів укладального пристрою. Найбільш раціональним є програмування зв'язку між рухом пристрою й обертанням оправки. Звичайно для одержання матеріалу задовільної якості досить тиску від натягу стрічки або нитки. У деяких випадках для одержання більш щільного матеріалу рекомендують додаткове опресування при термічній обробці зв'язуючого під тиском 0,2...0,5 МПа.

Нині одержали поширення такі різновиди намотування: тканинне, поздовжньо-поперечне, спіральне (геодезичне).

Тканинне намотування характеризується тим, що на циліндричну або конічну оправку в певній послідовності намотують шари попередньо просоченої тканини. Процес характеризується високою продуктивністю й доброю герметичністю отриманого виробу, що зберігається до його руйнування при випробуванні внутрішнім тиском.

Поздовжньо-поперечне намотування характеризується орієнтацією просочених стрічок, джгутів по твірним (поздовжнє укладання) і в обводному напрямку під кутом 90° до осі оправки (поперечне укладання). Міцність конструкції підвищується порівняно з тканинним намотуванням і становить 700...800 МПа і більше.

Спіральне (геодезичне) намотування здійснюють шляхом укладання армуючого матеріалу, просоченого зв'язуючим, по траєк-

торіях геодезичних ліній. Геодезичне намотування використовують для виготовлення конічних відсіків посудин високого тиску сферичної і циліндричної форм із закритими торцями або полярними отворами. В останньому випадку для одержання рівномірної конструкції роблять додаткове намотування в кільцевому напрямку. Найбільш перспективним напрямком є механізоване намотування на верстатах з числовим програмним керуванням (ВЧПК). Як напівфабрикат використовують просочені термореактивним зв'язуючим стрічки, джгути, нитки, тканини. Намотування деталей, що являють собою тіла обертання, і деталей некруглого профілю здійснюють на ВЧПК типу НК-9ПУ, НК-10ПУ, НК-11ПУ, НЛ-3ПУ.

Основними правилами, які слід виконувати при проектуванні деталей, що виготовляють намотуванням, є такі:

1) необхідно уникати гострих крайок і гострих кутів, різких переходів від однієї частини деталі до іншої;

2) наявність піднутрення і виступів на внутрішній поверхні деталей ускладнює проектування й виготовлення оснастки, оскільки при цьому необхідно використовувати розбірні оправки;

3) наявність отворів у деталях значно послабляє конструкцію. При оформленні отворів, якщо це дозволяє конструкція, перевагу віддають ромбічній формі (геометрію ромба визначає кут намотування);

4) при оформленні круглих отворів необхідно підсилювати краї отворів окантовкою із просоченої склотканини, закладкою попередньо відформованої заготовки та ін.;

5) у ряді випадків у зонах з'єднань для збільшення міцності при зрізі можна застосовувати фольги з корозійностійкої сталі або титану.

Підготовчий процес містить складання програми для ВЧПК з урахуванням довжини оправки, діаметра полярних отворів і форми технологічних днищ на підставі вимог технічного завдання (ТЗ). У ТЗ указують кут укладання армуючого наповнювача на оправку, ширину використовуваної стрічки, схему намотування, припустиму величину зазору між стрічками наповнювача, припустиме відхилення від кута армування. Програма має забезпечувати укладання напівфабрикату без напусків, із зазором до 1 мм і швидкістю не більше 10 м/хв. Для деталей з товщиною стінки більше 3 мм програму складають із урахуванням змінення діаметра (периметра) при намотуванні через кожні 3 мм.

Для виготовлення деталей, що являють собою тіла обертання, застосовують оправки зі сферичними закінцівками, а для деталей складної геометрії – оправки з закінцівками, для яких форму визначають експериментально. Це забезпечує намотування на поверхні оправки по лініях, близьких до геодезичних. Для виготовлення деталей методом намотування застосовують оправки таких типів:

1) металеві нерозбірні й розбірні багаторазового застосування з конусністю зовнішньої поверхні 0,25 мм на довжину оправки 1000 мм;

2) багаторазового застосування, нерозбірні без конусності, виготовлені з матеріалів з коефіцієнтом лінійного термічного розширення $\alpha \leq 13 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для переробки композиційних матеріалів з відносним подовженням при розриві $\varepsilon \leq 1$;

3) одноразового застосування (надувні, такі, що вимиваються, руйнуються або залишаються у виробі).

8.2. Виготовлення деталей методом викладення [51, с. 38-53]

Метод викладення застосовують для виготовлення деталей із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) плоскої форми, одинарної й подвійної кривизни. Викладення роблять із попередньо просоченого напівфабрикату ("сухий" метод). Типовими представниками деталей для викладення є обшивки, панелі, накладки рівної й різної товщини з різною орієнтацією армуючого наповнювача, що задається залежно від характеру, величини й напрямку діючих зусиль. Залежно від геометрії деталей і можливостей виробництва розділяють ручне, автоматизоване й механізоване викладення.

Ручне викладення застосовують для малогабаритних деталей. Воно полягає в пошаровому наборі пакета із заздалегідь розкросних заготовок відповідно до схеми викладення. Розкрій заготовок виконують за шаблонами з використанням засобів малої механізації з попередньо просочених стрічок і тканин після витримки їх при температурі цеху протягом 2...2,5 ч (у разі зберігання матеріалів у холодильнику). Заготовки викладають встик вручну на форму або лист із обробленою поверхнею або прокладеною розділовою плівкою. Для складних за конфігурацією деталей дозволяються напустки або зазори 1,5...2 мм, при цьому в схемі викладення передбачено зсув напусток у шарах. Після викладення кожного шару роблять ущільнення пакета роликком, що обігрівають, через розділову плівку для видалення повітряних включень і посилення зчеплення шарів.

Автоматизоване викладення застосовують для виготовлення деталей плоскої форми й одинарної кривизни з кутом нахилу до 5° на ВЧПК. Воно полягає в наборі на оброблену форму за програмою пакета із просочених стрічок. Режими викладення (швидкість протягання, температура й тиск накочення) залежать від марки, характеристик застосовуваного препрега й деталі та змінюються в таких діапазонах: швидкість протягання – 1...10 м/хв, температура – 20...120 $^\circ\text{C}$, тиск – 5...15 Н на 1 мм ширини.

Механізоване викладення застосовують для виготовлення деталей одинарної і подвійної кривизни з кутом нахилу більше 5° . Воно полягає в автоматизованому виготовленні окремих заготовок (шарів), переносі, викладенні й накоченні на формі вручну.

Розміри та геометрію форм оснастки беруть з плазу. Базовою поверхнею форм для деталей з аеродинамічним контуром служить

зовнішня поверхня, для всіх інших – внутрішня або зовнішня, залежно від вимог креслення. Форми для викладення виготовляють із матеріалів, що довгостроково працюють при температурі 250 °С и тиску 1 МПа – титану, дюралюмінію, сталі. Поверхні металевих форм, що оформляють деталь, виготовляють із шорсткістю **Rz** від 0,32 до 0,53 мкм залежно від вимог до деталей. При проектуванні форм крім припуску на обрізку передбачають технологічні припуски для виготовлення зразків-свідків з односпрямованого матеріалу для контролю на відповідність паспорту. Для полегшення викладення, розмітки й механічної обробки на формі звичайно передбачають ризику по габаритних розмірах стверділої заготовки.

Шаблони для розкрою виготовляють із металевих і неметалевих матеріалів, таких, як текстоліт, склотекстоліт, товщиною 1,5...2 мм. Їхня кількість має відповідати кількості заготовок, що відрізняються за конфігурацією, зазначених у схемі викладення або в технічних вимогах креслення. Ролик, що накочують та нагрівають, виготовляють із металу з шорсткістю поверхні **Rz** = 0,32 мкм. Він має такі габаритні розміри: діаметр 75...150 мм, довжина 50...270 мм, маса 205 кг. Температуру ролика підтримують у межах 40...120 °С с точністю 5 °С. Пристрій-знімач являє собою поворотні захвати з дюралюмінію. Перед початком роботи форми, очищені від натеків зв'язуючого, знежирюють і покривають мастилом, наприклад К-21 (10%-ним розчином у бензині), що потім піддають термообробці при відповідній температурі. Для К-21, наприклад, термообробка ведеться при 200...220 °С протягом двох годин.

Основні матеріали, що надходять для виготовлення деталей з ПМК, піддають обов'язковому вхідному контролю на відповідність ГОСТ і ТР. Просочені напівфабрикати контролюють на наявність зв'язуючого, летких і розчинних речовин, ширину й товщину для кожної партії матеріалу. При невідповідності результатів аналізу до пропонованих вимог проводять додатковий аналіз. Контроль автоматизованого процесу викладення роблять у кожному шарі за такими показниками: швидкість викладення, тиск і температура накочення, зусилля натягу, кут орієнтації, величина й кількість зазорів.

Для збільшення міцності в зонах з'єднання ПКМ (наприклад, при передачі зусилля невеликою кількістю силових точок) застосовують фольгу з корозійностійкої сталі або титану. Основними матеріалами для фольгування є фольга типу ВТ-1 ОСТ 1.90027-71, ОСТ 1.90145-74 і клеї ВК-3, ВК-13, ВК-32-200.

8.3. Автоклавне формування [51, с. 132-142]

Методом автоклавного формування виготовляють переважно великогабаритні деталі складної конфігурації на основі ПКМ. Максимальні габаритні розміри виробів, що формують, обмежують розмі-

рами робочої зони автоклава, який використовують.

Форму (оправку) для автоклавного формування виготовляють із жорстких матеріалів (неметалевих і металевих), здатних до тривалої роботи при температурі 250 °С и тиску 1,6 МПа. Вона забезпечує викладення пакета виробу й одержання технологічних припусків, що дозволяють виготовляти зразки-свідки зі структурою виробу, можливість монтажу обмежувальної рамки й вакуумної діафрагми при складанні технологічного пакета для формування обшивок типу панелей.

Для оформлення зовнішньої поверхні деталі застосовують цулаги, що виконуються з металу товщиною 0,3...5 мм (перфоровані й неперфоровані) або склотекстолітові товщиною 0,8...2,5 мм (перфоровані й неперфоровані). Перфоровані цулаги використовують при формуванні деталей товщиною більше 2 мм, неперфоровані – менше 2 мм. Перфораційні отвори виконують діаметром 0,8...1 мм і розташовують з кроком і зсувом між рядами на 10...15 мм. Форми (оправки) виготовляють за точністю приблизно на два квалітети вище, ніж деталі. Їх поверхні мають шорсткість від Rz 20 до Rz 0,08 мкм, цулаги – не більше Rz 20 мкм.

Для формування плоских деталей або деталей з малою кривизною розмірами більше 500×500 мм використовують обмежувальні рамки для зниження витікання зв'язуючого. Вони бувають металевими (алюмінієвими, сталевими) або склотекстолітовими. Конфігурацію й висоту обмежувальної рамки вибирають відповідно до конструктивних розмірів деталі.

Для створення вакууму (складання технологічних пакетів) використовують вакуумні трубки з м'яких металів (алюмінію, міді), при формуванні великогабаритних деталей – вакуумні штуцери. Довжина трубки залежить від периметра пакета, що збирають, і забезпечення можливості виводу трубки з мішка й підключення її до вакуумної системи. Вакуумна трубка має на одному кінці заглушку та перфорацію по всій довжині (крім ділянки довжиною 300...350 мм із боку підключення до вакуумної системи). Вакуумний мішок виготовляють або попередньо, або безпосередньо на зібраному технологічному пакеті. Розміри готового мішка забезпечують можливість вільного розміщення в ньому одного або декількох технологічних пакетів в один ряд, а також установлення штуцерів або дренажної трубки поза зоною технологічних пакетів. Далі виконують розкрій тканини або плівки, її склеювання.

Технологічний процес автоклавного формування і його особливості. Підготовка до формування технологічної оснастки полягає в очищенні її від забруднень ножами або скребачками, які виготовлені з м'яких матеріалів, знежирені бензином й ацетоном під витяжкою. На поверхню оснастки наносять антиадгезійну суміш К-21 (у вигляді 10%-ного розчину в бензині) у два шари у взаємно перпендикулярних напрямках із сушінням на повітрі кожного шару не менш

15 хв. Термообробка суміші відбувається при температурі 220 ± 5 °С протягом двох годин.

При формуванні деталей товщиною більше 2 мм для регулювання рівномірного відбору зв'язуючого і летких речовин застосовують вбираючі дренажні шари. Як антиадгезійний шар між формою й пакетом заготовок прокладають поліпропіленову плівку. Складання технологічного пакета здійснюють у такий послідовності: форма \Rightarrow пропіленова плівка \Rightarrow пакет заготовок \Rightarrow поліпропіленова плівка \Rightarrow цулага \Rightarrow два-три дренажних шари склотканини (вбираючі шари) \Rightarrow вакуумний мішок (діафрагма).

Перед початком автоклавного формування технологічний пакет поміщають на автоклавний візок, з'єднують за допомогою вакуумних трубок з вакуумною системою установки й перевіряють герметичність за зниженням вакууму. Потім автоклавний візок зі Скл. Од. поміщають в автоклав і здійснюють формування в середовищі стисненого повітря й інертного газу (азоту) відповідно до технологічного режиму автоклавного формування на конкретний матеріал. Наприклад, технологічний процес автоклавного формування вуглепластику КМУ-4 і зв'язуючого марки ЭНФБ полягає в такому:

1) у вакуумній системі створюють вакуум 0,075...0,085 МПа, включають нагрів й починають збільшувати тиск;

2) температуру збільшують до 80 °С протягом 20...30 хв, тиск – до $0,3 \pm 0,05$ МПа;

3) при досягненні температури 80...100 °С вакуумний насос включають, а систему вакуумування мішків (діафрагм) з'єднують із атмосферою;

4) продовжують нагрівання до температури 110 °С протягом 10...15 хв; при досягненні температури 110 ± 7 °С забезпечують тиск формування 0,6 МПа;

5) продовжують збільшувати температуру до 165 °С протягом 20...30 хв, матеріал, що формують, витримують при тиску 0,6 МПа та температурі 165 °С протягом 6 годин;

6) формовку охолоджують до температури 40...50 °С зі швидкістю 0,5...1 °С у хвилину під тиском не менш 0,25 МПа;

7) відформовану деталь поміщають на стелажі, столи з м'яким покриттям або спеціально виготовлені ложементи.

При автоклавному формуванні деталей **контролюють**:

1) стан препрегу й складання технологічного пакета на герметичність;

2) швидкість зростання температури в автоклаві, яку реєструють потенціометром;

3) час вакуумування й час початку зростання тиску в автоклаві;

4) величину й стабільність температури формування;

5) величину й стабільність тиску;

6) час витримки при температурі формування й тиску (за запи-

сом на діаграмах);

7) швидкість охолодження формовок.

Відформовану деталь піддають:

1) візуальному контролю для виявлення наявності раковин, відшарувань, сторонніх включень тощо;

2) контролю геометричних розмірів виробу за допомогою шаблонів, калібрів, штангенциркуля, товщиноміра та ін.;

3) контролю суцільності матеріалу деталі неруйнівними методами; контролю фізико-механічних характеристик матеріалу.

8.4. Пресування [51, с. 142-149]

Методом прямого пресування виготовляють деталі нескладної форми (обшивки, панелі, накладки люків, стулки та ін.) із заготовок, отриманих викладенням односпрямованого або тканого матеріалу. Цим методом можуть бути виготовлені також деталі складної форми (кришки, кронштейни та ін.), якщо заготовки отримані з вуглепрес-матеріалу типу ВПМУ-1. При конструюванні деталей, виготовлених методом пресування, слід уникати підсікань, різких змін товщини деталі, різнотовщинності, отворів. Наявність піднутрень і виступів на поверхні деталей ускладнює проектування й виготовлення оснастки для пресування. Наявність же отворів, різкі змінення товщини деталі призводять до зниження міцності деталі через концентрацію напруг у матеріалі.

Пресування деталей проводять у прес-формах на гідравлічних пресах з плитами, що обігрівають. Контроль і регулювання температури й тиску здійснюються при цьому автоматично. При пресуванні вуглепрес-матеріалу ВПМУ-1 спочатку роблять попередній підігрів матеріалу, у результаті чого збільшується в'язкість зв'язуючого, зменшується його віджимання і поліпшується пресованість матеріалу. Для вуглепрес-матеріалу ВПМУ-1 температура пресування становить 160 ± 5 °С, час витримки в прес-формі – 1,5...2 хв на 1 мм товщини деталі (але не менш 20 хв), питомий тиск пресування – 35 ± 5 МПа для прямого пресування та 120 МПа для литтєвого пресування. Підпресування роблять 3-5 разів після подачі тиску. Додаткову термічну обробку виконують при температурі 120 °С протягом двох годин поза прес-формою, завантаження деталей у термічну шафу і їхнє вивантаження роблять при температурі 20 °С. Швидкість нагрівання становить не більше 5 °/хв.

Підготовка оснастки для пресування:

1) робочі поверхні форми й цулаг оглядають на предмет відсутності забоїн і рисок;

2) робочі поверхні форми очищають від забруднень і залишків затверділого зв'язуючого, знежирюють бензином "Калоша", після чого просушують на повітрі (15 хв);

3) на поверхню наносять без пропусків два шари 7...10%-ного

розчину антиадгезійної суміші К-21 у бензині у взаємно перпендикулярних напрямках. Після нанесення кожного шару виконують сушіння при кімнатній температурі протягом 30 хв; форму витримують при температурі 220 °С протягом 2 ч.

8.5. Складання конструкцій із КМ [52, с. 254-307]

8.5.1. Технологічна класифікація КМ

Композиційні матеріали – широкий клас матеріалів, що складаються з армуючого наповнювача на основі вуглецевих, борних, скляних та інших волокон і полімерної матриці. Застосування високоміцних і високомодульних ПКМ (вугле-, боро-, органо-, склопластиків та ін.) у конструкціях ЛА дозволяє знизити їхню масу й підвищити ресурс. До складу ПКМ входять високоміцні й високомодульні волокна й полімерні зв'язуючі.

Розробка конструкції деталей із ПКМ має ряд особливостей:

1) КМ анізотропні; орієнтацію волокон і конструкцію виробу задає конструктор відповідно до діючих навантажень;

2) виготовлення матеріалу й формоутворення деталі відбуваються одночасно, тому розкид фізико-механічних характеристик матеріалу деталі більший, ніж для металевих сплавів.

Для стабілізації режимів технологічного процесу й фізико-механічних характеристик матеріалів слід ширше застосовувати попередньо просочені матеріали ("сухий" спосіб виготовлення), що дозволяють механізувати й автоматизувати технологічні процеси намотування та викладення, з наступним автоклавним і пресовим формуванням, а також вести поопераційний контроль технологічних процесів.

Для виготовлення деталей та агрегатів із ПКМ застосовують таке спеціалізоване устаткування: для виготовлення напівфабрикатів; для виготовлення деталей методом викладення; для виготовлення деталей методом намотування; для формування деталей.

Односпрямовану вуглецеву стрічку одержують на установках типу УЛК-2, УЛС-2М и УЛС-3 методом формування пасма із джгутів з наступним просоченням, сушінням і намотуванням стрічки на котушку приймального пристрою. На установках УЛК-2 й УЛС-3 можна одержувати стрічку на паперовій підкладці. Паперова підкладка необхідна для забезпечення точності викладення стрічок із КМ. Вона є транспортером, за допомогою якого стрічку поставляють у зону викладення.

Просочення тканих стрічок і тканин з вуглецевих і борних волокон здійснюють на установках типу УПСТ-1000 й УПСТ-300 з наступним сушінням і намотуванням на котушку вузла прийому тканини.

Верстати для викладення типу ВКЛ-1×2,5ПУ, ВКЛ-2×8ПУ, ВКЛ-2×12ПУ, ВКЛ-4×12ПУ призначені для виготовлення деталей одинар-

ної кривизни й плоских панелей. Вони оснащені пристроєм програмного керування НЗЗ-2М або Н-55 і вакуумним столом для кріплення деталей. На верстатах для викладення застосовано принцип машинного викладення, який полягає в тому, що стрічку із КМ на паперовій перфорованій підкладці укладають на виріб і накочують рухом розкладальної головки по необхідній траєкторії відносно виробу, а паперову підкладку змотують на спеціальну катушку.

Агрегати АКТ, які виготовляють із застосуванням ПКМ, можна класифікувати за конструктивними і технологічними особливостями.

До першої групи входять агрегати ЛА, цілком виготовлені із ПКМ: кіль, горизонтальне оперення, закрилки, передкрилки, вертикальні закінцівки крила, рулі напрямку, стулки, кесони крила, канали та ін.

Як приклад можна розглянути стулку гондоли літака, що працює під складною системою навантажень. Стулка утворює нижню поверхню у хвостовій частині фюзеляжу й шарнірно закріплена по верхній крайці, забезпечуючи доступ до двигунів. Для підкріплення обшивок використовують стільниковий заповнювач зі склотканини з фенольною основою. Стійкість зовнішньої обшивки за шпангоутом забезпечують за допомогою вуглепластикових діафрагм, установлюваних за допомогою механічного кріплення. Зосереджені навантаження від шарнірних вузлів навішення й кріплення передаються на стулку через титанові накладки, приклеєні до крайок. Використання титану, що має близький до вуглепластиків коефіцієнт лінійного розширення, дозволило мінімізувати температурні напруги, що виникають при склеюванні й у процесі експлуатації.

Вуглепластиковий кесон крила літака "Ягуар" є однією з самих складних і великогабаритних конструкцій із ПКМ. Кесон виконано за багатолонжеронною схемою з нервюрами й гвинтовими з'єднаннями. Вуглепластикові передній і задній лонжерони мають С-подібний переріз, а п'ять проміжних лонжеронів – квадратний переріз і гофровані стінки. Схема укладання шарів в обшивках дорівнює $\pm 45^\circ$ з додатковим підкріпленням у вигляді накладок з односпрямованим укладанням у зоні шарів лонжеронів. Отже, згинальний момент сприймають накладки з односпрямованим укладанням, а дотичні сили – лонжерони й обшивка.

До другої групи відносять вузли й деталі, що входять у конструкцію агрегатів і виготовлені з металу й ПКМ. Це лонжерони, панелі, шпангоути, нервюри, носові частини агрегатів, закінцівки агрегатів, люки та ін.

До третьої групи відносять інтегральні конструкції, в яких ПКМ виконують функцію підсилювальних елементів агрегатів АКТ, а також окремих деталей. Основою таких конструкцій є деталі зі сплавів алюмінію, а деталі із ПКМ або приклеєні, або встановлені на болти або заклепки. У третю групу входять панелі, що працюють на стиск, з підсилювальними вуглепластиковими накладками з односпрямова-

ним укладанням. Зниження маси панелей при таких накладках значне. Вуглепластикові накладки сприймають до 50% навантаження. Однак досягають лише 10% зниження маси через наявність деталей кріплення й необхідності підвищити крутильну жорсткість. Жорсткість зменшується за рахунок зниження товщини алюмінієвої обшивки при використанні вуглепластикової накладки. Через наклейку підкріплювальних накладок клеями гарячого ствердіння виникає проблема зняття залишкових напруг, що потребує розробки спеціальної оснастки.

До четвертої групи відносять модульні конструкції, в яких вузли із ПКМ являють собою вбудовані конструкції, що виконують функції силових елементів, наприклад передні, середні, задній відсіки фюзеляжу літака AV-8B, виконані у варіанті модулів. У модульних конструкціях застосовують алюмінієві сплави, титанові сплави в комбінації з ПКМ, а також ПКМ з органоволокнистами, вуглецевими, борними волокнами. Застосування ПКМ у конструкції фюзеляжу при створенні модульних конструкцій пов'язано з рядом труднощів, обумовлених наявністю повітрязабірників, двигунів, кріпленням крила та ін. Модульні конструкції мають такі особливості:

1) шари стінок силових шпангоутів мають схему укладання $0/90^\circ/\pm 45^\circ$; підкріплювальні елементи можуть бути відформовані монолітно з обшивкою стінки або виконані у вигляді профілів закритого перерізу, з'єднаних з обшивкою методом полімеризації;

2) проміжні шпангоути й підкріплювальні елементи мають С- або І-подібний переріз, їх виготовляють із вуглепластику на основі тканини;

3) лонжерони мають С- або І-подібний переріз. Основні шари мають схему укладання $\pm 45^\circ$. Крім основних є додаткові поздовжні шари, розташовані уздовж лапок і полиць. Лонжерони можуть бути виготовлені монолітно з обшивкою або методом спільної полімеризації зі стінками;

4) обшивки виготовляють зі стрингерами при схемі укладання $0/90^\circ/\pm 45^\circ$ або з лонжеронами за схемою укладання $\pm 45^\circ$;

5) стулки й експлуатаційні люки мають тришарову конструкцію. Вони мають стільниковий заповнювач й вуглепластикові обшивки.

Аналіз конструкцій показав, що якщо обсяг елементів фюзеляжу з вуглепластиків становить 40% від обсягу елементів з металів, то можливе зниження маси конструкції фюзеляжів літаків на 12%.

Шляхом монолітного формування модульних конструкцій і спільної полімеризації зменшено кількість елементів конструкції літака AV-8B з 237 до 88, а кількість кріпильних деталей – з 6460 до 2450.

Намотувальні верстати типу НК-9ПУ, НК-10ПУ, НК-11ПУ, НК-11У використовують для виготовлення із ПКМ виробів типу корпусів, лопат, ємностей з укладанням стрічки під кутом $5\dots 90^\circ$ до осі оправки. Верстати – п'ятикоординатні, оснащені програмним керуванням. Намотувальні верстати являють собою двошпиндельні станки з гори-

зонтальним розташуванням осей шпинделів. Передня й задня бабки мають по два шпинделі для намотування деталей малого й великого діаметрів на обертовій оправці.

Автоклави типу АЭ-1,2×4, АЭ-1,8×6, АЭ-2,5×10, АЭ-3,15×16, АЭ-4,5×26 призначені для формування й ствердження деталей із КМ, склеювання відформованих деталей і стільникових конструкцій. Автоклав являє собою горизонтальну циліндричну посудину, встановлену на опорах, із привареним еліпсоїдальним днищем і поворотною кришкою. Усередині автоклава на опорному візку встановлені трубчастий холодильник й електричний нагрівач. Як нагрівальний елемент в ньому застосовано ніхромову стрічку. Нагрівач забезпечує необхідну потужність теплового потоку. Охолодження установки – водяне. Вакуумування деталі, яку формують, здійснює вакуум-насос.

8.5.2. Виготовлення напівфабрикатів – препрегів [51, с. 26-36]

Якість деталей із ПКМ залежить від технологічного процесу одержання напівфабрикату (препрегу) і формування з нього виробу. Найпоширенішим є метод виготовлення деталей з односпрямованих і тканих стрічок, попередньо просочених зв'язуючим. Односпрямовані стрічки виготовляють на установках типу УЛК. При готуванні зв'язуючого керуються технологічними рекомендаціями ВІАМ. Приготовлене зв'язуюче має задовольняти вимоги щодо концентрації, густини та в'язкості. Типовий технологічний процес складається з таких операцій:

- 1) установлення необхідної кількості шпуль у шпулярник;
- 2) установлення необхідного натягу джгутів і температурного режиму сушильної камери;
- 3) заливання зв'язуючого в просочувальну ванну;
- 4) протягання стрічки відповідно до заданих режимів;
- 5) намотування просоченої стрічки на приймальну катушку.

У процесі виготовлення стрічок контролюють:

- обрив волокон (візуально);
- температуру сушіння (за потенціометром);
- рівень зв'язуючого (за рівнеміром);
- зазор у віджимному пристрої (за допомогою щупа);
- швидкість процесу протягання (за мікроамперметром);
- метраж стрічки (за лічильником метражу).

Ширину й товщину стрічки вимірюють за допомогою стандартного вимірювального інструменту. Контроль вмісту зв'язуючого в стрічці здійснюють на зразках, відрізаних на початку й кінці формованого препрегу, що формується. Процес просочення тканих стрічок типу ЛУ-2, ЛУ-3 і ЛУ-П аналогічний процесу виготовлення односпрямованих стрічок. Його виконують на машинах типу УПСТ з автоматичним регулюванням температури й швидкості в камері.

9. МОНТАЖНІ РОБОТИ ПРИ СКЛАДАННІ ВІДСІКІВ Й АГРЕГАТІВ [6, 8, 11, 31, 40, 41, 42, 43, 52, 58]

Технологічний процес монтажу передбачає установлення, кріплення й відпрацювання елементів бортових систем літака на зібрані відсіки й агрегати. Бортове устаткування літака містить комплекти приладів, джерела енергії на борту, паливну апаратуру, посадкові пристрої, устаткування гідрогазових систем, блоки електро-, радіо- і світлообладнання (ЕРСО) ЛА; спеціальне устаткування для різних призначень; вузли трубо- і електропровідних комунікацій; устаткування й комунікації систем керування ЛА і двигунами.

Насиченість сучасної АКТ монтажами дуже висока й досягає 80% площі поперечного перерізу агрегату. Обсяг монтажних робіт залежить також від рівня **конструкторсько-технологічного відпрацювання монтажів** у період технічної підготовки виробництва.

Усе устаткування й вузли комунікацій розділяють на конструктивно-функціональні групи, кожна з яких має свої принципи й монтажні схеми, складальні й настановні креслення.

При складанні агрегатів, відсіків, секцій згідно з ТУ на їхню поставку виконують такі роботи:

- монтаж систем керування літаком і силовою установкою;
- монтаж гідрогазових систем устаткування літака;
- монтаж електричних, освітлювальних і радіосистем;
- установлення паливних баків і систем паливної апаратури двигуна;
- навішення елеронів, закрилків, рулів хвостового оперення, їхнє балансування.

Складальні й монтажні роботи закінчують виконанням випробувальних, регулювальних і контрольних операцій і процесів (наприклад, контроль і регулювання вузлів відхилення елеронів, рулів висоти, тримерів, гальмових щитків та ін.)

Монтаж, відпрацювання, регулювання систем внутрішнього устаткування ЛА виконують на спеціальних стендах та установках, оснащених пультами й контрольно-випробувальними станціями, що імітують умови експлуатації бортових систем.

9.1. Монтаж систем керування ЛА й двигунів [31, с. 765-768; 32, с. 299-301; 40, с. 157; 41, с. 280-285; 42, с. 541-544; 52, с. 16-17]

В агрегатно-складальних цехах на складальні об'єкти монтують такі елементи систем керування: вузли кріплення проводок керування до каркаса, для виконання свердлильних робіт і завдання координат ОСБ використовують калібри вузлів, кондуктори й шаблони, установлюють і кріплять качалки, тяги керування, тросові проводки та їхні конструктивні вузли (ролики, напрямні, пристрої для натягу, сектори

та ін.); важелі, штурвали й педалі ножного керування літаком; передавні й підсилювальні механізми; приводи дистанційного керування. Усі деталі, вузли й агрегати системи керування подають на монтаж з остаточно виконаними ОСБ, які узгоджені з посадковими отворами під кріплення.

При монтажі вузлів систем керування слід забезпечити щільність їхнього прилягання до складальних баз, необхідні зазори між рухомими елементами й каркасом агрегату, допуски на кінематичні параметри переміщень елементів системи, необхідний рівень натягу тросів, заданий рівень зтягування й фіксування нарізного кріплення усіх вузлів і деталей.

Перед монтажем перевіряють кондиційність і комплектність усіх елементів систем керування згідно з ТУ й комплектувальними відомостями. Ці операції вхідного контролю описують у робочих технологічних картах монтажу. Для окремих завдань на монтаж систем керування широко використовують типові технологічні процеси.

По закінченні монтажних операцій виконують контроль і регулювання параметрів змонтованих ділянок системи керування, зазначених у виробничих інструкціях.

9.2. Монтаж гідрогазових систем літака [31, с. 738-757; 32, с. 254-299; 40, с. 157-158; 41, с. 280-285; 42, с. 544-551]

При монтажі на відсіках й агрегатах установлюють силові механізми гідрогазових систем (гідроциліндри, пневмоциліндри, насоси та ін.), ємності для робочих рідин, гідропневмоакумулятори, балони, баки, вузли контрольно-регулюючої апаратури, вузли кріплення магістралей труб; прокладають і з'єднують усі трубопроводи, що монтуються на даному об'єкті. Для точного узгодження всіх елементів гідрогазових систем по точках кріплення й стикування по розніманнях використовують технологічні еталони всіх об'єктів монтажу.

Перед монтажем здійснюють вхідний контроль усіх трубопроводів і агрегатів на комплектність, працездатність, міцність, герметичність тощо, а труби продувають стисненим повітрям.

При монтажі у заданих межах забезпечують :

- співвісність внутрішніх каналів труб;
- відсутність напруг при кріпленні або з'єднанні елементів систем;
- зазори між трубами й каркасом агрегату;
- міцність і щільність у місцях з'єднання труб;
- рівень зтягування гайок і болтів у місцях кріплення всіх елементів системи (для цього застосовують спеціальні таровані ключі).

Монтують трубопроводи, спочатку закріплюючи їх на штуцерах агрегатів і механізмів, а потім на проміжних вузлах кріплення до кар-

каса (на хомутах, кронштейнах). Агрегати, механізми та ємності встановлюють в агрегаті АКТ за допомогою спеціальних пристроїв. Зібрані при монтажі пневмосистему, протипожежну, протиобліднювальну, масляну продувають стисненим повітрям. Кисневу систему продувають чистим азотом. Гідросистеми промивають рідиною спеціального складу. Продувку й промивання виконують на спеціальних стендах. Після монтажу трубопроводні системи перевіряють на герметичність пневматичним або гідростатичним методом.

9.3. Монтаж електричних систем **[32, с. 216-254; 42, с. 551-559; 58, с. 281-300, 307-309]**

Процес монтажу ЕРСО літака полягає в установленні на заздалегідь підготовлених на каркасі АКТ місцях кріплення апаратури цих систем, розподільних органів, джерел і споживачів електроенергії, джгутів, кабелів і проводів. Усі елементи ЕРСО, що надходять на монтаж, проходять вхідний контроль.

При монтажі необхідно забезпечити міцне кріплення джгутів до каркаса, необхідні зазори між проводами і каркасом агрегату, відсутність переплетень проводів і можливість прочитування їхнього маркування, надійний контакт у місцях стиків електричних ланцюгів і збереження ізоляційних шарів у провідниках струму.

Електроджгути виготовляють за конструкторськими кресленнями на електродільницях цехів на **спеціальних електроплазах**, використовуючи різні засоби механізації й автоматизації окремих операцій. Для розкладки проводів, їхнього різання, закладення наконечників або штепсельних рознімачів, бандажування і в'язання джгутів, розпаювання й обтиснення контактних поверхонь застосовують нормалізовані технологічні процеси (НТП) або операції. До якості джгутів висувають вимоги високої міцності, мінімального перехідного електричного опору в місцях контакту, виключення короткого замикання. Для контролю параметрів джгутів використовують автоматичні пульти із заданим програмним забезпеченням. Готові електроджгути по кріпильних вузлах встановлюють на борт агрегату й підмикають до джерел і споживачів електроенергії, а також до комутаційної апаратури. Узгодження місць кріплення й рознімання джгутів і всього устаткування ЕРСО забезпечують попереднім еталонуванням усіх елементів цих систем. На закінчення процесу монтажу проводять відпрацювання системи ЕРСО агрегату (відсіку) під напругою і регулювання окремих її параметрів.

9.4. Конструктивно-технологічне відпрацювання монтажів і надійність бортового устаткування АКТ [42, с. 559-562; 58, с. 128-190]

Конструктивно-технологічне відпрацювання проводять із метою підвищення технологічності всіх систем АКТ. Для цього при технологічній підготовці виробництва виконують плазово-шаблонне узгодження елементів бортових систем, тобто визначають оптимальне розміщення агрегатів, механізмів, приладів, мінімальну довжину трас усіх комунікацій і мінімальну кількість їхніх рознімань. На плоских плазах накреслюють теоретичні контури агрегату ЛА, його каркасні деталі й конструкторські бази, а потім на основі конструкторських креслень і монтажних схем наносять місця установлення бортового устаткування й траси комунікацій.

Монтажі відпрацьовують на технологічних агрегатах АКТ або в об'ємних плазах, що забезпечує просторове узгодження бортового устаткування у вигляді **еталонних об'єктів систем** або **зразкових деталей**, які служать для доробки конструкторських креслень і технологічного оснащення. Важливо, що при об'ємному еталонуванні забезпечується узгодження об'єктів не тільки бортового устаткування між собою, але й просторовий взаємозв'язок їх з деталями каркаса літака. Таким чином, досягається високий рівень взаємозамінності при складанні й монтажі агрегатів, відсіків, секцій.

У ряді випадків відпрацьовування монтажів та їх еталонування продовжують і на перших літаках серійного виробництва. Отримані еталони укладання джгутів, трубопроводів, вузлів, систем керування ЛА використовують для установлення фіксаторів по розніманнях цих систем у технологічних пристосуваннях і для розміщення вузлів кріплення комунікацій на каркасі агрегату. Після відпрацювання еталонного монтажу стають можливими безпідгінні роботи й виключаються монтажні напруги в бортових системах, що безпосередньо впливає на **надійність** бортового устаткування.

Надійність систем або виробів – це властивість об'єктів виконувати необхідні функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу.

При експлуатації можливі відмови в роботі бортових систем: в **елементах виробів** (трубопровід, компресор, електроприлад); **за місцем виявлення** (при зльоті, у польоті, при посадці, на землі), а також **внаслідок різноманітних аварій** (катастроф, поломок, змушених посадок). Показники надійності розраховують на основі статистичних даних.

Весь період експлуатації бортової системи розбивають на такі періоди:

- початковий етап функціонування системи, коли відбувається інтенсивний потік відмов (виявляються приховані дефекти складально-монтажних робіт, здійснюється припрацювання механізмів);

- постійний потік відмов під час нормальної експлуатації виробу (внаслідок недосконалості конструкції й неякісного обслуговування системи);
- етап, протягом якого інтенсивність відмов знову зростає – відбувається процес старіння виробу або його частин.

Практикою доведено, що 40% всіх відмов на АКТ стосується бортового устаткування, а на частку трубопровідних систем припадає 30%. Основні дефекти трубопровідних систем: розгерметизація, руйнування труб, заклинювання гідроагрегатів через забруднення. Причинами цього є недосконалість технологій виготовлення, монтажу й контролю цих систем. Для підвищення надійності трубопровідних систем необхідно:

- забезпечувати чистоту внутрішніх і зовнішніх поверхонь деталей у процесі монтажу (застосовувати багаторазове промивання змонтованих ділянок систем);
- не допускати ненормованих перекручувань профілю труб при гнутті й монтажу;
- знижувати внутрішні напруження в трубах системах (залишкові, динамічні, вібраційні), що багато в чому залежить від розвальцьовування труб і якості монтажних робіт (неспіввісність, перекося, розбіжність торців труб і штуцерів).

Надійність трубах систем підвищується, якщо труби виготовляють у спеціальних пристроях, що забезпечують точність їхньої конфігурації, якщо застосовують ніпельні сферичні з'єднання (для компенсацій відхилень розмірів і температурних деформацій), а окремі блоки трубах систем монтуєть на **спеціальних панелях**, що забезпечують належний рівень взаємозамінності й високу якість монтажу із проведенням місцевих випробувань блока.

Основними дефектами ЕРСО є **короткі замикання й обрив проводів**. Для виключення коротких замикань внутрішні поверхні розподільних коробок, щитків, панелей покривають якісною ізоляцією, а ізоляцію проводів ретельно контролюють. Міцність з'єднання проводів залежить від способів закладення наконечників і контактів, що виконують обпресуванням (обтисненням) або паянням. Практикою доведено, що при вібрації паяні контакти працюють гірше, а при розриві – ліпше. Надійність підвищується при автоматичному регулюванні температури в процесі паяння проводів, при поліпшенні рівномірності їхнього обтиснення, використанні стандартних елементів у конструкції джгутів і кабелів, при реалізації типових технологічних процесів й операцій монтажу, забезпеченні контролю об'єктивними засобами.

Для підвищення надійності всіх систем АКТ велике значення має **аналіз усіх випадків відмови й рекламацій** при експлуатації бортових систем і розробка оперативних технологічних і конструктивних заходів щодо усунення причин відмов.

10. ЗАГАЛЬНЕ СКЛАДАННЯ АКТ, АЕРОДРОМНІ РОБОТИ [11, 16, 31, 32, 40, 41, 42, 43, 52, 58]

10.1. Загальне складання АКТ [31, с. 650-667; 40, с. 165-169; 41, с. 266-299; 42, с. 562-579; 52, с. 308-335; 58, с. 259-280]

Загальне складання – завершальний етап виробництва АКТ, у процесі якого стикують агрегати планера, закінчують монтажні роботи з установаження вузлів внутрішнього устаткування, з'єднують комунікації різних агрегатів, регулюють і випробовують у дії механізми й системи. Трудомісткість робіт на цьому етапі становить 12...30% загальної трудомісткості виготовлення АКТ. Процес загального складання має забезпечувати найменший виробничий цикл, оскільки це пов'язано із собівартістю виробу, оборотністю обігових коштів, а також ефективність використання виробничих площ і самого будинку цеху загального складання (ЦЗС).

Розрахунок часу циклу $C = \frac{T_{\phi}}{p}$ (де T_{ϕ} – фактична трудомісткість) слід виконувати при мінімальній фактичній трудомісткості СМР, що становлять загальне складання, і при широкому фронті робіт на всіх робочих стендах, що дозволяє значно збільшити кількість робітників (p).

Скорочення трудомісткості й циклу СМР у ЦЗС досягають такими заходами:

- 1) підвищенням ступеня завершеності подаваних на стикування готових агрегатів;
- 2) підвищенням рівня взаємозамінності елементів конструкції, що з'єднують, і зниженням при цьому обсягів підгінних робіт;
- 3) використанням засобів механізації й автоматизації окремих операцій (у тому числі випробувальних і контрольних);
- 4) реалізацією в ЦЗС потокової форми проведення СМР.

У загальному технологічному ланцюгу виготовлення АКТ загальне складання містить такі роботи:

- 1) з'єднання поданих у ЦЗС агрегатів між собою; у ряді випадків такі процеси виконують у цеху попереднього складання планера;
- 2) з'єднання між собою усіх проводок і комунікацій, розташованих на агрегатах при їх установаженні;
- 3) монтаж складних і дорогих приладів і систем устаткування АКТ;
- 4) монтаж шасі та силових установок;
- 5) регулювання, нівелювання агрегатів, випробування й контроль усіх механізмів і систем.

Технологічний процес остаточного складання в ЦЗС розділяють на такі етапи: **попередні стикування агрегатів і нівелювання**

АКТ. Попереднє стикування агрегатів і нівелювання АКТ виконують відповідно до параметрів нівеліровочного паспорта з невзаємозамінними по розніманнях агрегатами. Метою цих робіт є перевірка положення агрегатів відносно один одного та конструкторських баз. При цьому фіксують положення агрегатів у заданому ТУ положенні, спільно обробляють стикові поверхні, всі роз'єднують, видаляють стружку, ґрунтують оброблені поверхні, потім остаточно стикують. У ЦЗС з'єднують фюзеляж, центроплан, киль, стояки шасі, крила, хвостове оперення, мотогондолі, гондоли шасі. Схеми складання-стикування планера літака залежать від його конструкції й умов виробництва.

10.2. Монтажні роботи [31, с. 769-774; 40, с. 156-161; 41, с. 280-299; 42, с. 532-562; 52, с. 16-17; 58, с. 273-277]

При виконанні монтажних робіт установлюють ті бортові системи та їхні частини, які не були змонтовані при агрегатному складанні. Це системи керування рулями, елеронами, щитками та ін.; паливна й мастильна системи, система кондиціонування, системи ЕРСО АКТ; побутове й спеціальне устаткування; приладові дошки, панелі, щитки. Перед монтажем двигуни й шасі попередньо встановлюють на комплектувальні стенди, де на них монтують необхідні агрегати, вузли й прилади, а шасі попередньо перевіряють на працездатність за кінематичними параметрами. Монтаж двигунів у мотогодолоі або на борт ЛА зводиться до їхньої технічного устанавлення, регулювання в горизонтальній і вертикальній площинах та остаточної фіксації, а також приєднання до двигунів бортових систем (паливної, електричної, керування тощо). Монтаж шасі зводять до їхнього стикування по вильчатих з'єднаннях на борту ЛА (фюзеляжі, крилі, гондолах шасі) і приєднання до механізмів керування й збирання. При цьому в нішах шасі монтують деякі елементи проводок керування й сигналізації. При устанавленні виконують операції регулювання об'єктів монтажу (наприклад, натяг тросових проводок, величини тертя в системах керування, жорсткість цієї системи та ін.) і проводять випробування (наприклад, перевірку роботи кінематичної системи керування рулями, електричної й механічної сигналізації, перевірку якості металізації електричних ланцюгів, герметичність кабін, роботу гідравліки тощо).

На закінчення монтажних робіт проводять комбіновані випробування бортових систем АКТ на функціонування під напругою, використовуючи при цьому спеціальні контрольно-випробувальні автономні стенди. Після цього представляють і здають усі системи замовникові.

Організація робіт у ЦЗС передбачає поточно-стендову форму роботи із забезпеченням заданого **такту й технологічного циклу** виконання СМР. Після аналізу технічної документації на АКТ у технологічних службах цеху визначають обсяг складально-стикувальних і монтажних робіт, які підлягають виконанню безпосередньо в ЦЗС, і

розробляють **робочі технології на всі об'єкти й процеси**, раніше включені в обсяг СМР. На основі отриманих операційних технологічних процесів і розрахованої трудомісткості їхнього виконання **компонують стендові завдання потокової лінії** ЦЗС із забезпеченням кратності часу їхнього виконання розрахунковому такту. При цьому в стендових завданнях виділяють обсяги СМР, закріплених за окремими зонами АКТ, й виконують на даному стенді (наприклад, зони робіт у кабіні екіпажа, у ніші основного стояка шасі, вантажному відсіку та ін.). Компонування стендових завдань та об'єднань завершують створенням циклового графіка потокового складання в ЦЗС й визначенням тривалості технологічного циклу СМР.

Цикловий графік є джерелом усього операційного планування, обліку й коректування виробничого процесу в цеху загального складання АКТ. Техніку на потоковій лінії ЦЗС розташовують у поздовжньому і поперечному напрямках, можливо розміщення у кутовому позиціюванні. Використання того або іншого варіанта розташування у потоці залежить від розмірів виробу, програми випуску, виробничих умов. АКТ на лінії переміщують за допомогою конвеєрних візків, тягачів або платформ на повітряній подушці.

Роботи при загальному складанні виконують за допомогою різноманітних інструментів й оснащення стендових робочих місць та устаткування цеху. Застосовують ручний і механізований інструменти: для загвинчування гайок, болтів, гвинтів (ключі гайкові звичайні, пневматичні й електричні гайковерти, викрутки), слюсарно-монтажних операцій (молотки, напилки, гострозубці, плоскогубці й т.д.), свердління, зенкування, розгортання й протягання отворів і фрезерування поверхонь, виготовлення електроджгутів і проведення електромонтажних робіт, контрольно-вимірвальних операцій (індикатори, нівеліри, лазерні випромінювачі, манометри, вольтметри та ін.).

При виконанні робіт у ЦЗС використовують транспортно-піднімальні засоби, стенди для стикування й оброблення агрегатів, випробування й регулювання систем АКТ, комплектування двигунів і шасі, а також для комплектування й відпрацьовування шасі. Крім того, у цеху широко використовують різноманітне організаційне оснащення (драбини, стелажі, верстати, підйомники, спеціальне оснащення).

Складену у ЦЗС АКТ покривають лаками й фарбами в малярському цеху (або на дільниці) і передають в аеродромний цех або космодром.

10.3. Аеродромні роботи, літні випробування АКТ [31, с. 769-774; 40, с. 169-172; 41, с. 299-311; 42, с. 583-585; 52, с. 470-477]

Підготовка літака або вертольота до літних випробувань, випробування на землі й у повітрі, здача готового виробу його замовни-

кам – останній етап виробничого процесу на авіабудівному заводі. Трудомісткість цього етапу становить 6...10% загальної трудомісткості виробництва. Останній етап містить такі види робіт:

1. Приймання літака від ЦЗС й транспортування його на літно-випробувальну станцію (ЛВС). При цьому виконують зовнішній огляд АКТ за певним маршрутом відповідно до інструкції, перевірку комплектності бортового устаткування й документації, що додається. Потім виріб буксирують на робочий стенд ЛВС. Робочі стенди являють собою відпрацьовувальні площадки, бокси або криті ангари з необхідним оснащенням.

2. Перевірка, випробування й відпрацьовування бортових систем АКТ. Все бортове устаткування перевіряють на комплексне функціонування й взаємодію за допомогою діагностичних контрольно-випробувальних станцій (КВС). Відпрацьовування й контроль бортових систем виконують за заздалегідь підготовленими, моделюючими умови експлуатації програмами. У цьому процесі відпрацьовують електричні системи ЛА, шасі, перевіряють роботу радіолокаційного устаткування, контролюють роботу комплексу керування ЛА, комплексу гідрогазових систем, а також контролюють і коректують показання магнітних приладів і радіокомпасів на спеціальній девіаційній площадці з поворотним кругом (тут фіксують можливі відхилення показників показань курсу ЛА від істинних напрямків).

3. Випробування двигуна на землі й відпрацьовування паливної системи. ЛА заправляють паливом і перевіряють (відповідно до інструкції) герметичність паливної системи після 12 годин відстою в заправленому стані. Потім виконують контрольний злив палива для перевірки показників рівня палива й сигналізатора критичного залишку палива. При гарячій прогонці двигунів на землі (у спеціальному боксі) їх відпрацьовують на різних режимах, перевіряючи прийомісткість за оборотами, синхронність роботи двигунів, роботу джерел живлення, насосів, температурний режим, тиск палива й масла.

4. Підготовка літака до літних випробувань. Передполітний огляд також виконують за певним маршрутом зовні й усередині ЛА; заправляють системи паливом, стисненим повітрям, гідросумішшю й киснем; перевіряють аварійні люки та сидіння, що катапультуються. Перед злітом перевіряють роботу двигунів, справність радіозв'язку.

5. Літні випробування. Тут перевіряють злітно-посадочні характеристики, швидкопідйомність, горизонтальні й вертикальні швидкості, стійкість і керованість ЛА, дальність польоту, роботу систем бортового устаткування. Випробування проводить заводський екіпаж за графіком профілю польоту, при якому на висотних площадках зазначені види випробувань для даного контрольного польоту.

6. Післяполітне відпрацьовування. Проводять його з метою усунення виявлених при випробувальних польотах відмов, дефектів.

При цьому зауваження екіпажу й об'єктивні дані телеметрії (на електромагнітному носії запису інформації про параметри польоту) аналізують і виявляють причини відмов систем. Після усунення дефектів політ повторюють. Потім ЛА передають замовникові, оформивши здавальний акт.

Для скорочення циклу аеродромного відпрацьовування на ЛВС організують **поточно-стендову форму робіт**. На окремих стендах відпрацьовування широко використовують сучасні об'єктивні засоби діагностики бортових систем у вигляді контрольно-випробувальних станцій, а також інші засоби механізації й автоматизації контрольно-випробувальних операцій. Для скорочення всього циклу робіт реалізують максимально можливе паралельне виконання робіт з окремих завдань на стенді, а також бригадне закріплення виконавців за окремими ЛА. Ритмічній роботі в аеродромному цеху сприяє затверджений цикловий графік із заданим тактом здачі об'єкта виробництва.

10.4. Структура аеродромного цеху [40, с. 172-173; 52, с. 470-473]

Основними виробничими дільницями тут є:

- 1) дільниця загального відпрацьовування й підготовки до польотів (ангари, бокси, відпрацьовувальні площадки);
- 2) дільниця спеціальних робіт (девіаційний круг, бокс гарячої прогонки двигунів і т.п.);
- 3) різні майстерні й лабораторії (з виготовлення оснащення, його ремонту; дослідження причин відмов і дефектів на ЛА, аналізу палива, масла, інших застосовуваних на ЛА матеріалів і контролю приладів).

Ці дільниці є **виробничою зоною ЛВС**. До неї примикає **літне поле зі злітно-посадочними смугами (ЗПС), руліжними доріжками і якірними стоянками ЛА**. Аеродроми обладнані радіомаяками й передавачами для випробувань радіолокаційних приладів і пристроями "сліпої посадки", також оснащуються освітлювальною технікою. В адміністративному будинку ЛВС розташовані служби керування цехом, метеослужба, командно-диспетчерський пункт (КДП). До складу ЛВС входять склади, транспортні засоби (тягачі, санітарні й пожежні машини), контрольні пересувні станції, підйомники, буксирувальні пристрої й інше організаційне оснащення, автономні заправні засоби (паливо- і маслозаправники та ін.), пересувні джерела енергії.

На ЛВС використовують слюсарно-монтажний та електровимірювальний інструмент, оптичні прилади, устаткування для зважування ЛА, широку номенклатуру спеціальних приладів для оцінки працездатності систем і запису-розшифровки польотної інформації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Авиационные материалы на рубеже XX-XXI веков: Науч.-техн. сб. / Под ред. Р.Е. Шалина. М.: ВИАМ, 1994. – 137 с.
2. Автоматизация сверлильно-клепальных работ в самолетостроении: Учеб. пособие / Ю.М. Букин, В.И. Котельников. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1983. – 56 с.
3. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением: Учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
4. Бабушкин А.И. Методы сборки самолетных конструкций. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
5. Бабушкин А.И. Устройства для базирования и фиксации деталей в сборочных приспособлениях: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1978. – 90 с.
6. Белянин П.Н. Производство широкофюзеляжных самолетов. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.
7. Боборыкин Ю.А., Салашенко И.А. Объемная увязка при производстве самолетов: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1973. – 67 с.
8. Большая энциклопедия транспорта: В 3 т. / Гл. редактор А.Г. Бра-тухин, зам. редактора Л.А. Гильберг. – М.: Машиностроение, 1995. – Т. 2. – 400 с.
9. Бойцов В.В. Нормализованные приспособления для сборки агрегатов самолета. – М.: Оборонгиз, 1955. – 235 с.
10. Букин Ю.М., Кушнаренко С.Г. Инструмент и оборудование, применяемые при производстве клепально-сборочных работ в самолетостроении: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1981. – 86 с.
11. Горбунов М.Н. Основы технологии производства самолетов. – М.: Машиностроение, 1976. – 206 с.
12. Григорьев В.П. Взаимозаменяемость агрегатов в самолетостроении. – М.: Машиностроение, 1969. – 56 с.
13. Григорьев В.П. Сборка клепаных агрегатов самолетов и вертолетов. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
14. Григорьев В.П., Ганиханов Ш.Ф. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов: Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1979. – 140 с.
15. Зайцев А.Н., Карпин В.Л. Плазово-шаблонный метод и средства обеспечения взаимозаменяемости деталей в самолетостроении: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1975. – 68 с.
16. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства. – К.: КВІЦ, 1997. – 460 с.
17. Крысин В.Н. Технологическая подготовка авиационного производства. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.

18. Вагнер Е.Т. Лазеры в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1982. – 148 с.
19. Боборыкин Ю.А. Методы обеспечения взаимозаменяемости при сборке самолетных конструкций: Учеб. пособие.– Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 116 с.
20. Митрофанов А.А. Контроль сборки летательных аппаратов.– М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.
21. Неразрушающие методы контроля сварных соединений / С.В. Румянцев, В.А. Добромысов, О.И. Борисов, Н.Т. Азаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 335 с.
22. Боборикин Ю.О., Сікульський В.Т., П'янков А.В. Основи технології літакобудування: Навч. посібник: В 2 кн. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авиац. ін-т", 2000. – 64 с.
23. Павлов И.В. Полимерные композиционные материалы: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 30 с.
24. Бабушкин А.И., Букин Ю.М. Проектирование и изготовление сборочной оснастки: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1983. – 92 с.
25. Федорченко Б.Д. Расчеты точности сборки и увязки в самолетостроении: Учеб. пособие.– Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1986. – 68 с.
26. Федорченко Б.Д., Павлов И.В., Бычков С.А. Решение задач технологической подготовки производства самолетов на основе ЕСТПВ: Учеб. пособие.– Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 102 с.
27. Сборочно-монтажные работы в самолетостроении: Учеб. пособие / Боборыкин Ю.А., Федорченко Б.Д., Сокруто В.В., Горлов А.К., Букин Ю.М., Кушнарченко С.Г., Лепетюха В.С., Чистяк В.Г. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1983. – 121 с.
28. Сборочно-монтажные работы в самолетостроении: Учеб. пособие: В 2 ч. / Боборыкин Ю.А., Федорченко Б.Д., Сокруто В.В., Горлов А.К., Букин Ю.М., Кушнарченко С.Г., Воробьев Ю.А. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1990. – 103 с.
29. Сборочно-монтажные работы в самолетостроении: Учеб. пособие / Боборыкин Ю.А., Федорченко Б.Д., Сокруто В.В., Горлов А.К., Букин Ю.М., Кушнарченко С.Г., Чистяк В.Г. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 92 с.
30. Сварка в самолетостроении / Под ред. акад. Б.Е. Патона. – К.: МИИВЦ, 1998. – 695 с.
31. Современные технологии авиастроения / Коллектив авторов; Под ред. А.Г. Братухина, Ю.В. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.
32. Современные технологические процессы сборки планера самолета / Коллектив авторов; Под ред. Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 304 с.
33. Существующие и перспективные методы выполнения высоко-ресурсных и герметичных заклепочных соединений в конструк-

- циях планера летательных аппаратов / Н.Н. Абин, В.Ф. Громов, С.Л. Васильев и др. // Сб. тр. НИАТ. Развитие идей А.К. Гастева в институте на современном этапе / Под ред. П.Н. Селянина.– М.: Машиностроение, 1983. – С. 99-100.
34. Федорченко Б.Д. , Бабушкин А.И. Технологическая подготовка и технология производства сборочно-монтажных работ в самолетостроении: Учеб. пособие: В 3 ч. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. – Ч.1. – 104 с.
 35. Федорченко Б.Д., Бабушкин А.И. Технологическая подготовка и технология производства сборочно-монтажных работ в самолетостроении: Учеб. пособие: В 3 ч. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1990. – Ч.2. – 101 с.
 36. Федорченко Б.Д., Бабушкин А.И. Технологическая подготовка и технология производства сборочно-монтажных работ в самолетостроении: Учеб. пособие: В 3 ч. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1992. – Ч.3. – 94 с.
 37. Технологичность конструкций планера самолета: Руководство по технологичности самолетных конструкций / М.Е. Уланов, В.В. Булычев, Д.М. Ветрова и др. – М.: НИАТ, 1983. – С. 9-27.
 38. Технология выполнения высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений в конструкциях самолетов / А.И. Ярковец, О.С. Сироткин, В.А. Фирсов, Н.М. Киселев. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
 39. Технология производства летательных аппаратов (курсовое проектирование) / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. В.Г. Кононенко. – Х.: Вища школа, 1974.– 224 с.
 40. Букин Ю.М., Воробьев Ю.А. Технология производства самолетов и вертолетов. Сборочно-монтажные и испытательные работы в самолето- и вертолетостроении: Консп. лекций. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 178 с.
 41. Букин Ю.М., Воробьев Ю.А. Технология производства самолетов и вертолетов. Сборочно-монтажные и испытательные работы в самолето- и вертолетостроении: Консп. лекций на англ. и рус. языках. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 331 с.
 42. Технология самолетостроения: Учебник для авиационных вузов / А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов и др./ Под ред. А.Л. Абибова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
 43. Технология сборки самолетов: Учебник для студентов авиационных специальностей вузов / В.И. Ершов, В.В. Павлов, М.Ф. Каширин, В.С. Хухорев. – М.: Машиностроение, 1986. – 456 с.
 44. Федорченко Б.Д., Павлов И.В., Бычков С.А. Решение задач технологической подготовки производства самолетов на основе ЕСТПВ: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 102 с.

45. Федорченко Б.Д., Павлов И.В., Бычков С.А. Расчеты точности сборки и увязки в самолетостроении: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 67 с.
46. Чернышев А.В. Технология монтажа и испытаний бортовых систем летательных аппаратов: Учеб. пособие для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 336 с.
47. Шекунов Е.П. Основы технологического членения конструкций самолетов. – М.: Машиностроение, 1988. – 167 с.
48. Камалов В.С. Производство космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.
49. Единая система технологической подготовки производства: Справочник. – М.: Изд-во стандартов. 1984. – 176 с.
50. Технологичность конструкций изделия: Справочник /Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферов, П.Н. Волков и др.; Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
51. Технология производства ЛА из композиционных материалов: Учеб. пособие / В.Е. Гайдачук, В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин, Г.А. Молодцов. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 332 с.
52. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: Учебник для студентов высших технических учебных заведений / В.А.Барвинок, В.И. Богданович, П.А. Бор-даков и др.; Под ред. проф. В.А. Барвинка. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
53. Барвинок В.А., Пытьев П.Я., Корнев Е.П. Основы технологии в производстве летательных аппаратов: Учебник. – М.: Машиностроение, 1995. – 398 с.
54. Бойцов В.В., Ганиханов Ш.Ф., Крысин В.Н. Сборка агрегатов самолета: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Самолетостроение". – М.: Машиностроение, 1988. – 152 с.
55. Технология производства космических ракет: Учебник/ Е.А. Джур, С.И. Вдовин, Л.Д. Кучма и др.- Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. – 184 с.
56. Кочергин К.А. Контактная сварка. – Л.: Машиностроение, 1987. – 210 с.
57. Новокрещенов В.В. Сварка металлов / Под ред. В.М. Качанова. – М.: МЭИ, 1993. – 100 с.
58. Технология сборки и испытаний космических аппаратов: Учебник для высших технических учебных заведений / И.Т. Беляков, И.А. Зернов, Е.Г. Антонов и др.; Под общ. ред. И.Г. Белякова и И.А. Зернова. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
59. Фетисов Г.П. Сварка и пайка в авиационной промышленности: Учеб. пособие для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1983. – 216 с.

60. Братухин А.Г., Колачев Б.А., Талалаев В.Д. Прогрессивные технологии изготовления титановых самолетных конструкций сверхзвуковой авиации // Титан. – 1993. – №3.- С. 14-17.
61. Выполнения болтовых соединений с натягом ТР.1.4.515-78. – М.: НИИАТ, 1978. – 20 с.
62. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением: Учебник для машиностроительных техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп.– Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1987. – 461 с.
63. Сварка высокопрочных титановых сплавов / С.М. Гуревич, Ф.Р. Куликов, В.Н. Замков и др.– М.: Машиностроение, 1975. – 150 с.
64. Технология производства титановых самолетных конструкций / А.Г. Братухин, Б.А. Колачев, В.В. Садков и др.– М.: Машиностроение, 1995. – 448 с.
65. ГОСТ 14.205-83. ЕСТПП. Технологичность конструкций изделий. Термины и определения. – Введ.01.07.83 – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
66. ГОСТ 14.206-73. ЕСТПП. Технологический контроль конструкторской документации. – Введ. 01.01.75 – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 5 с.
67. ГОСТ 14.004-83. ЕСТПП. Термины и определения основных понятий. – Введ. 01.07.83. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
68. Капелюшник И.И., Михалев И.И. Технология склеивания деталей в самолетостроении. – М.: Машиностроение, 1979. – 159 с.

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	3
ВСТУП.....	5
1. МІСЦЕ Й РОЛЬ СКЛАДАЛЬНО-МОНТАЖНИХ І ВИПРОБНИХ РОБІТ У СТРУКТУРІ ПІДПРИЄМСТВ З ВИРОБНИЦТВА АКТ.....	7
2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ.....	11
2.1. Види технологічності конструкції та їх оцінок. Властивості виробу як фактор оцінок технологічності конструкції. Якісні показники технологічності.....	11
2.2. Показники кількісної оцінки технологічності конструкції (основні й додаткові). Вирішення завдань технологічності на різних стадіях проектування. Технологічність – передумова якості виробу й ефективності виробництва.....	15
3. ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ВИПУСКУ АКТ.....	20
3.1. Завдання, обсяг і етапи підготовки виробництва.....	20
3.2. Основні фактори, що впливають на зміст, обсяг, вартість і строки технологічної підготовки виробництва складальних робіт.....	21
3.3. Автоматизована система технологічної підготовки виробництва складальних робіт.....	22
3.4. Шляхи зниження витрат і скорочення строків технологічної підготовки виробництва складальних робіт.....	24
4. МЕТОДИ СКЛАДАННЯ.....	26
4.1. Схема членування й схема складання АКТ. Типові схеми складання, їхній техніко-економічний аналіз.....	26
4.2. Поняття про методи складання, їхня класифікація за принципом базування й взаємозамінності підскладань.....	27
4.2.1. Складання конструкції з базуванням по ТО, базовій деталі, розмітці.....	28
4.2.2. Методи складання в пристрої.....	29
4.2.3. Метод складання по візуально-оптичних базах.....	29
4.3. Порівняльний аналіз і вибір методів складання. Економічна оцінка методів складання за укрупненими показниками.....	30
5. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ ПРИ СКЛАДАННІ АКТ.....	32
5.1. Спрощений плазово-шаблонний метод узгодження.....	32
5.2. Еталонно-шаблонний метод узгодження оснащення.....	33
5.3. Координатно-шаблонний метод (КШМ) забезпечення взаємозамінності.....	35
5.4. Міжзаводське узгодження оснастки при КШМ.....	36
5.5. Координатно-цифровий метод (КЦМ) узгодження оснастки.....	

або метод координатно-аналітичного узгодження (МКАУ) і забезпечення взаємозамінності об'єктів конструкцій	36
5.6. Метод об'ємного узгодження (МОУ) при виробництві АКТ	37
5.7. Порівняльний аналіз методів узгодження й області їхнього застосування.....	39
6. ЕТАПИ СКЛАДАННЯ АКТ	40
6.1. Вузлове й панельне складання. Класифікація вузлів і панелей за конструктивно-технологічними ознаками. Вибір і аналіз методів складання вузлів і панелей	40
6.1.1. Вузлове й панельне складання.....	40
6.1.2. Класифікація вузлів і панелей за конструктивно- технологічними ознаками	41
6.1.3. Вибір і аналіз методів складання вузлів і панелей....	43
6.2. Секційне й агрегатне складання	44
6.2.1. Класифікація секцій за технологічними ознаками, технічні вимоги до них. Панелювання секції.....	45
6.2.2. Методи складання секцій. Типові технологічні процеси складання відсіків, що панелюють	46
6.2.3. Складання агрегатів при типовому членуванні на відсіки, панелі. Оброблення стиків секцій й агрегатів. Контроль точності відсіків та агрегатів	47
6.3. Механоскладальні роботи АКТ.....	49
6.3.1. Механоскладальні роботи у виробництві АКТ. Конструктивно-технологічні ознаки механічного устаткування АКТ	49
6.3.2. Загальні вимоги до агрегатів механічного устаткування з точки зору складання	50
7. ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ СКЛАДАННІ КОНСТРУКЦІЙ АКТ	53
7.1. Характеристика застосовуваних у виробництві АКТ з'єднань	53
7.2. Заклепувальні з'єднання.....	54
7.3. Складання зварених і паяних вузлів і панелей	57
7.3.1. Складання зварених вузлів і панелей	57
7.3.2. Загальна характеристика паяних з'єднань і область їхнього застосування	59
7.4. Складання клеєних вузлів і панелей.....	60
7.5. Рознімні з'єднання й методи їхнього виконання	61
7.6. Застосування клеєсклепаних, клеєнарізних і клеєзварених з'єднань	62
8. МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ УМОВНО-ЗБІРНИХ ВИРОБІВ ІЗ КМ. СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ	64

8.1. Виготовлення деталей методом намотування.....	64
8.2. Виготовлення деталей методом викладення.....	66
8.3. Автоклавне формування	67
8.4. Пресування	70
8.5. Складання конструкцій із КМ	71
8.5.1. Технологічна класифікація КМ	71
8.5.2. Виготовлення напівфабрикатів – препрегів	74
9. МОНТАЖНІ РОБОТИ ПРИ СКЛАДАННІ ВІДСІКІВ Й АГРЕГАТІВ....	75
9.1. Монтаж систем керування ЛА й двигунів.....	75
9.2. Монтаж гідрогазових систем літака	76
9.3. Монтаж електричних систем	77
9.4. Конструктивно-технологічне відпрацювання монтажів і надійність бортового устаткування АКТ	78
10. ЗАГАЛЬНЕ СКЛАДАННЯ АКТ, АЕРОДРОМНІ РОБОТИ	80
10.1. Загальне складання АКТ	80
10.2. Монтажні роботи.....	81
10.3. Аеродромні роботи, літні випробування АКТ	82
10.4. Структура аеродромного цеху.....	84
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	85

Воробйов Юрій Анатолійович
Данченко В'ячеслав Григорович

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ
У ВИРОБНИЦТВІ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Редактор Н.М. Сікульська

Зв. план, 2005

Підписано до друку 31.08.2005

Формат 60×84 1/16. Папір офс. №2. Офс. друк.

Ум. друк. арк. 5,3. Обл.-вид. арк. 5,94. Наклад 300 прим.

Замовлення 365. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
„Харківський авіаційний інститут”
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр „ХАІ”
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu