

629.7

512

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

"Харківський авіаційний інститут"

ПЕРЕОБЛІК 2006р.

ПЕРЕОБЛІК 2014р.

А.І. Бабушкін, Г.О. Кривов, О.А. Бабушкін

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА НОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Научно-техническая библиотека "ХАИ"



mt0052592

52 592 м

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Харків "ХАИ" 2001

УДК 629.735.33.002

Економічне обґрунтування розробки технологічної документації при підготовці серійного виробництва нових літальних апаратів / А.І. Бабушкін, Г.А. Кривов, О.А. Бабушкін. – Навч. посібник. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2001. – 101 с.

ISBN 966-95763-5-0

Гриф надано Міністерством освіти і науки України (лист №2/1608 від 12.10.2000)

Описано методичні основи розробки технологічної документації та економічного обґрунтування технології при виконанні дипломних проектів з економічних спеціальностей 7.050107 і 7.050201. Наведено характеристику інженерних рішень і зміст робіт при технологічній підготовці виробництва нових літальних апаратів. Викладено склад робіт і основні принципи розробки робочої технологічної документації, необхідної для техніко-економічних розрахунків заново проєктованих виробничих підприємств.

Для студентів економічних та інших спеціальностей. Може бути також корисним для інженерів і науковців, що займаються постановкою на виробництво нової авіаційної техніки.

Іл. 15. Табл. 14. Бібліогр.: 10 назв.

Рецензенти: член-кор. Інженерної академії України В.С. Кладченко,
д-р. техн. наук Б.В. Лупкін

ISBN 966-95763-5-0

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", 2001 р.

© УкрНДІ авіаційної технології, 2001 р.

ПЕРЕДМОВА

У кваліфікаційній характеристиці фахівця в галузі економіки і менеджменту в авіаційно-космічній сфері виробництва підкреслюється, що він (фахівець) повинен бути компетентним у широкому колі не тільки економічних, але й технічних питань, пов'язаних з конструюванням і технологією створення нової авіаційної техніки. При виконанні дипломного проекту на задану тему, основним змістом якої є розробка проекту підприємства з випуску і збуту нової авіаційної техніки, майбутній фахівець зобов'язаний добре розбиратися в особливостях конструкції авіаційної техніки і технології її виробництва. Без знання технології та її специфічних особливостей для виробництва літальних апаратів практично неможливо правильно оцінити економічну доцільність цієї техніки, одержати продукцію заданої якості, забезпечити високі економічні результати – прибутковість і рентабельність підприємства.

Навчальний посібник з розробки технологічної й організаційної документації при підготовці до серійного виробництва нових виробів авіаційної техніки побудовано таким чином, що викладені матеріали націлюють студента-дипломника на вирішення основних питань технології й організації виробництва нових ЛА, тобто розробки директивних технологічних процесів у тісному зв'язку з економічною доцільністю їхнього застосування для різних типів підприємств-виготовлювачів. При цьому найважливішими характеристиками прийнятих технологічних процесів є якість виготовлення ЛА, оптимізація організації виконання технологічних процесів і мінімізація витрат на виробництво.

Пропонований посібник за стилем викладення носить рекомендаційний характер, що надає великі можливості для творчості як студентам-дипломникам, так і науковцям у галузі створення нових літальних апаратів за рахунок поглиблення, розширення викладених питань, їх нової інтерпретації, поліпшення моделей і алгоритмів розв'язання поставлених завдань.

ВСТУП

Виготовлення будь-якого машинобудівного виробу, в тому числі й літальних апаратів (ЛА), відбувається в результаті реалізації комплексу виробничих процесів. У цей комплекс включають завдання: розробки і впровадження технологічних процесів виготовлення виробів (у виробничих умовах); матеріально-технічного й енергетичного постачання виробництва; проектування, виготовлення і використання засобів технологічного оснащення (пристроїв, інструментів, контрольно-випробувальних стендів та ін.); організації, планування й керування виробництвом і якістю продукції; підготовки і навчання кадрів. Основною частиною всього виробничого процесу є технологічний процес.

Під технологічним процесом виробництва продукції розуміють сукупність технологічних операцій, у результаті яких одержують готові вироби з напівфабрикатів, сировини, матеріалів, комплектуючих готових деталей, вузлів, механізмів, приладів та ін., що надходять у виробництво.

Технологічний процес повинен забезпечити необхідну (задану конструкторською документацією) якість готового виробу, високу продуктивність праці, виготовлення продукції у встановлений термін і в заданій кількості при мінімальних витратах на виробництво. У зв'язку з цим прогресивність технологічного процесу визначається рівнем використання при його проектуванні заздалегідь експериментально відпрацьованих у лабораторних умовах реального виробництва типових технологічних операцій і, якщо це можливо, типових технологічних процесів. Типізація технологічних процесів базується на конструктивно-технологічній спільності характеристик виробів, що виготовляються (деталей, частин виробу чи виробів у цілому), і застосовуваних засобів виробництва. Кожна типова операція розробляється на базі прогресивних технологічних рішень з урахуванням передового виробничого досвіду і описується окремою операційною картою. Систематизація найбільш досконалих і поширених у виробництві типових операцій забезпечує прогресивність усього технологічного процесу. У тому випадку, коли основою побудови типових процесів є спільність засобів виробництва, можна використовувати груповий метод виробництва, при якому для груп виробів (деталей, частин виробів), однорідних за конструктивно-технологічними ознаками, призначають однотипні високопродуктивні методи виготовлення з використанням швидконалагоджуваних технологічних пристроїв (фрезерних, свердильних, токарських та ін.), а також пристроїв для складання і контролю виробів.

Розробка технологічного процесу – творчий інженерний процес, що потребує від інженера-технолога великих теоретичних знань в галузі механіки,

матеріалознавства, розуміння ролі кожного елемента в конструкції виробу. Йому мають бути також добре відомі різноманітні технологічні методи, способи, прийоми і засоби, що забезпечують якісне і високопродуктивне виготовлення виробів.

Будь-який технологічний процес – багатоваріантний. І завдання вибору найбільш раціонального, оптимального варіанта є дуже складним. Для його вирішення все частіше вдаються до послуг автоматизованих систем проектування технологічних процесів (САПР-ТП).

Розробка технологічних процесів виробництва виробів відбувається на етапі технологічної підготовки виробництва (ТПВ), що містить у собі широке коло технічних, інженерних і організаційних робіт. Під технологічною підготовкою виробництва варто розуміти весь комплекс робіт: з технічної реконструкції виробництва, розробки технологічних процесів, проектування і виготовлення необхідного технологічного оснащення й інструмента, монтажу й освоєння стандартного і нестандартного устаткування, налагодження всіх операцій технологічного процесу й організації його виконання в усьому виробничому циклі. У результаті технологічної й організаційної підготовки виробництва стає можливим приступити до серійного виготовлення продукції.

Технологічна підготовка виробництва потребує великих матеріальних і фінансових витрат, а також тривалих і трудомістких процесів відпрацьовування конструкцій виробів на технологічність, проектування технологічних процесів, оснащення й інструмента, засобів механізації й автоматизації виробничих процесів.

Істотно зменшити строки ТПВ дозволяють методи вирішення технологічних питань у ході проектування виробу в конструкторських підрозділах на етапі розробки директивних технологічних матеріалів, тому що обсяги і трудомісткість робіт з ТПВ можуть бути визначені з досить високою точністю тільки при розробці директивної технологічної документації. Скорочення тривалості робіт при ТПВ і витрат на їх здійснення може бути також досягнуто завдяки зовнішній і внутрішній спеціалізації виробництва, механізації й автоматизації процесів розробки технологічної документації, типізації технологічних процесів.

При розробці типових, а також використанні вдосконалених технологічних операцій і процесів необхідно переслідувати мету – одержання виробів високої якості, що відповідають заданим характеристикам і вимогам світових стандартів. Застосування прогресивних технологій повинно забезпечити зниження ресурсомісткості виробництва, його екологічну чистоту і безпеку, а також можливість ефективної реалізації технології на автоматизованому програмно-керованому устаткуванні.

СКЛАД І ЗМІСТ РОБІТ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА НОВИХ ЛА

1.1. Роль і місце підготовки виробництва у життєвому циклі ЛА

Створення ЛА, який перевищує за своєю ефективністю відомі прототипи або виводить авіаційну техніку на новий, більш високий рівень, залежить від організації робіт і керування процесами розробки проекту, виготовлення й експлуатації ЛА на всіх етапах його життєвого циклу.

Життєвий цикл ЛА умовно можна поділити на шість великих етапів. Кожний етап характеризується вирішенням визначеного кола завдань для досягнення поставленої мети (рис. 1.1).

На етапі вивчення кон'юнктури і формування технічного завдання на виріб установлюють:

- завдання, які повинні вирішуватись за допомогою заново створюваного виробу;
- технічний рівень аналогічних виробів;
- технічні вимоги до виробу;
- технічні можливості виготовлювача і його суміжників;
- ймовірну вартість виробу з урахуванням усіх вхідних (покупних) частин.

На етапі проектування розробляють:

- принципову схему виробу;
- конструкцію виробу;
- номенклатуру комплектуючих виробів, приладів та ін., їхні габарити і посадкові місця;
- номенклатуру матеріалів, що використовуються у конструкції виробу;
- робочі креслення деталей, вузлів і виробу в цілому;
- характеристику виробу.

На етапі розробки технології:

- визначають прогресивні технологічні процеси виготовлення виробу;
- розробляють серійні технологічні процеси;
- проектують і виготовляють технологічне оснащення, у тому числі й нестандартне устаткування;
- визначають склад і кількість потрібного інструмента й устаткування, які купуються на стороні;
- випробовують нові технологічні процеси;
- впроваджують у серійне виробництво технологічний комплекс: технологічні процеси, інструмент, оснащення й устаткування.



Рис. 1.1 Етапи життєвого циклу ЛА

На етапі виробництва:

- розробляють і здійснюють організаційно-технічні та соціально-економічні заходи щодо забезпечення випуску виробу заданого рівня якості, у потрібний термін і у встановлених кількостях;
- проводять усі перепланувальні та реконструювальні роботи виробничих підрозділів підприємства;
- виготовляють головну серію виробів;
- налагоджують виготовлення і ритмічний випуск виробів.

На етапі випробувань і контролю:

- проводять комплексні випробування виробу (стендові та натурні);
- встановлюють ступінь відповідності фактичної якості виробу за всіма параметрами, заданими в технічних умовах;
- видають висновок про придатність виробу.

На етапі експлуатації визначають:

- статистичні дані про результати експлуатації виробу;
- дефекти і недоробки, допущені як при проектуванні, так і при виготовленні;

- необхідність усунення виявлених недоліків на виробах, що експлуатуються, і внесення змін у зразки, що виготовляються.

Наведений перелік основних робіт, що виконуються на всіх етапах життєвого циклу виробу, далеко не повністю вичерпує всі ті завдання, які вирішуються при проектуванні, виготовленні й експлуатації ЛА. Більш того, умовний поділ життєвого циклу виробу зовсім не означає, що ці етапи виконуються в часі послідовно. Практика створення літальних апаратів показує, що багато робіт проходять, як правило, паралельно. Так, наприклад, не можна розробити директивні технологічні матеріали у відриві від етапу процесу створення самого проекту ЛА.

1.2. Основні задачі та методи технологічної підготовки виробництва (ТПВ)

Комплекс робіт, спрямованих на забезпечення повної конструкторської, технологічної й організаційної готовності до серійного виробництва нового ЛА, є відповідальним моментом життєвого циклу ЛА.

ТПВ повинна забезпечити повну технологічну готовність серійного підприємства до виробництва ЛА заданої якості відповідно до техніко-економічних показників, що встановлюють високий технічний рівень і мінімальні трудові і матеріальні витрати.

Технологічна підготовка виробництва містить у собі:

- забезпечення технологічності конструкції ЛА;
- розробку технологічних процесів;
- проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення;
- організацію і керування процесом ТПВ.

Обсяги робіт з ТПВ залежать від льотно-технічних і конструктивних особливостей ЛА, обсягів випуску і методів постановки ЛА на серійне виробництво.

У літакобудуванні використовують два методи постановки на виробництво нових виробів:

- 1) виготовлення і доведення дослідних зразків у спробному виробництві при ОКБ;
- 2) виготовлення і доведення дослідних зразків у серійному виробництві.

Перший метод дає можливість більш раннього проведення випробувань літака в льотних умовах, виявлення можливих відхилень від заданих тактико-технічних вимог безпосередньо при експлуатації дослідних машин. Але при цьому виникає розрив у часі між випробувальним польотом дослідного зразка і початком

його серійного виготовлення, тому що тільки цілком відпрацьований зразок передають у серійне виробництво.

При другому методі перші випробувальні польоти відсуваються на більш далекий строк, але зате літак відпрацьовують на серійному заводі з максимальним наближенням його конструкції та технології виготовлення до того, що його можна запускати в серійне виробництво відразу ж після перших льотних випробувань. Цей метод найчастіше призводить до значних витрат, пов'язаних з переробкою невідпрацьованих конструкцій спробної серії, що спричиняє необхідність внесення змін у технологічне оснащення (іноді створення цілком нового оснащення, особливо складального) і технологічні процеси. Однак з огляду на основну перевагу другого методу, що полягає в більш швидкому переході від спробного випуску літаків до серійного, цей метод знайшов велике поширення в практиці вітчизняної та зарубіжної авіаційної промисловості.

1.3. Етапи і зміст робіт по підготовці виробництва нових ЛА

Підготовку виробництва нових ЛА можна умовно поділити на три етапи:

- конструкторську,
- технологічну,
- організаційну.

Конструкторська підготовка передбачає:

- розробку робочих креслень, що задовольняють вимоги серійного виробництва;
- раціональне розчленовування конструкції ЛА на складові частини (конструктивні, технологічні й експлуатаційні): агрегати, відсіки, секції, панелі, вузли;
- проведення комплексу випробувань натурних зразків деталей, вузлів, агрегатів і ЛА в цілому для прийняття остаточного рішення стосовно їхньої конструкції.

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) як один з основних етапів полягає в тому, щоб забезпечити технологічну готовність підприємства до випуску виробів заданого рівня якості на визначений термін і в потрібних обсягах.

Технологічна підготовка виробництва містить у собі певні роботи (табл. 1.1).

Основний зміст робіт по ТПВ

Стадії проектування і виготовлення ЛА	Перелік робіт
Технічне завдання	Встановлення вимог до розроблюваного ЛА за показниками технологічності Встановлення підприємства-виготовлювача
Технічна пропозиція	Проведення на підприємстві-виготовлювачі аналізу організаційно-технічного рівня
Ескізний проект	Розробка плану заходів по підвищенню організаційно-технічного рівня виробництва
Технічний проект	Визначення потреб у додаткових засобах технологічного оснащення відповідно до встановленого плану заходів Встановлення номенклатури технологічних процесів по видах виробництва, що підлягають розробці Проведення експериментально-дослідних робіт по вдосконаленню технології виробництва Визначення і розміщення замовлень на виробництво за кооперацією заготовок, деталей, складальних одиниць, технологічного оснащення
Робочий проект	Класифікація деталей, складальних одиниць, прив'язка їх до діючих типових технологічних процесів і стандартних засобів технологічного оснащення Проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення конструкції ЛА Розробка відомості потреби в засобах технологічного оснащення Проектування технічних завдань на дослідно-конструкторські роботи зі створення спеціальних засобів технологічного оснащення Розробка робочої конструкторської документації на спеціальне технологічне устаткування, оснащення, засоби контролю й випробування, механізацію й автоматизацію виробничих процесів Розробка відомостей потреби в сировині, матеріалах і комплектуючих виробів для виробництва Розрахунок планової трудомісткості виготовлення ЛА
Виготовлення ЛА	Виготовлення засобів технологічного оснащення Впровадження розроблених технологічних процесів і налагодження всього технологічного комплексу Оцінка й атестація технологічних процесів і технічного рівня виробництва

Основні результати робіт по ТПВ відображують в двох комплексних документах: директивних технологічних матеріалах (ДТМ) і комплексних заходах на постановку і серійне виготовлення ЛА.

Організаційна підготовка виробництва містить такі роботи:

- 1) розробку організаційних форм виробництва;
- 2) організацію забезпечення робочих місць необхідними матеріалами, заготовками, деталями, інструментом;
- 3) розробку форм і методів контролю й обліку виробничої діяльності всіх підрозділів, зайнятих виготовленням літаків.

Практика літакобудування показує, що роботи з підготовки виробництва трудомісткі та циклічні в часі.

1.4. Директивні матеріали і директивні технологічні процеси

Для успішної підготовки серійного виробництва нового ЛА необхідно мати чіткий план робіт і директивні матеріали. Практика створення директивних матеріалів (починаючи з 1945-46 рр.) підтвердила ефективність застосування цього документа як при підготовці виробництва нового виробу, так і при серійному його виготовленні.

До обсягу робіт по створенню директивних матеріалів входять:

- 1) забезпечення технологічності конструкції на етапах ескізного робочого і технічного проектування літака;
- 2) короткий технологічний опис ЛА і його технологічних особливостей;
- 3) розробка директивних технологічних процесів на складні та відповідальні деталі та вузли, складання виробу і його складових частин, а також на ті конструкції, що потребують нових технологічних процесів;
- 4) складання переліку робіт і технічних завдань на проектування і реконструкцію виробничих ділянок і заводу;
- 5) розробка планів робіт по створенню і відпрацюванню нових технологічних процесів і нових виробничих ділянок, а також по підготовці кадрів для освоєння нових технологічних процесів;
- 6) планування матеріально-технічного постачання по основних і допоміжних матеріалах для виробництва виробу, виготовлення оснащення і реконструкції цехів і заводу;
- 7) складання відомостей покупного обладнання й установок із зазначенням постачальників;
- 8) складання й узгодження відомостей на напівфабрикати, спецвироби, матеріали;

9) узгодження технічної документації на проектування і виготовлення нового спеціалізованого обладнання;

10) підготовка зведених планів освоєння і випуску нових літаків для вищестоячих організацій.

Однією з головних складових директивних матеріалів є директивна технологія. Ця технологія тільки в тому випадку виконує роль директивної, якщо вона розробляється в період проектування самої конструкції літака.

За закінченою у кресленнях конструкцією літака не можна розробити директивну технологію, тому що головне завдання цієї технології полягає в тому, щоб у процесі проектування конструкції літака спрямувати спільні зусилля конструктора і технолога на розробку такої конструкції, що відповідала б оптимальній технології та враховувала б конкретні виробничі умови. Так, наприклад, директивний технологічний процес складання агрегату планера літака повинен містити (рис. 1.2):

- склад елементів конструкції, що надходять на складання, і ступінь їх завершеності;
- вибір типу і характеру складальних баз з розробкою схеми базування деталей і вузлів у процесі складання агрегату;
- вибір основної технологічної послідовності складання;
- розробку схеми забезпечення взаємозамінності;
- забезпечення в конструкції можливості механізації й автоматизації складальних робіт.

Розчленування конструкції агрегату на складові частини (рис. 1.3, 1.4) визначається програмою випуску виробів і темпами його виготовлення. Диференціація складання дозволяє розширити фронт робіт по складанню частин агрегату і робити їх паралельно, що значно зменшує загальний цикл складання агрегату. Рішення про розчленування конструкції агрегату потребує максимальної конструктивної закінченості й оформлення окремих креслень вузлів, панелей і т.д. (див. підрозд. 2.2). Вибір характеру і типу складальних баз також впливає на конструкцію агрегату. Так, наприклад, вибір як складальних баз поверхонь КФО потребує створення досить твердих деталей каркаса (поясів лонжеронів, шпангоутів, нервюр). Якщо в конструкції таких елементів не буде, то використовувати метод складання [1] за КФО неможливо без уведення спеціальних технологічних посилень (макетних нервюр і шпангоутів). Для нежорстких деталей роль базових елементів у складальних пристроях відіграють контурні рубильники. У цьому випадку застосовують метод складання з базуванням на поверхні обводотвірних контурів обшивки або деталей каркаса.

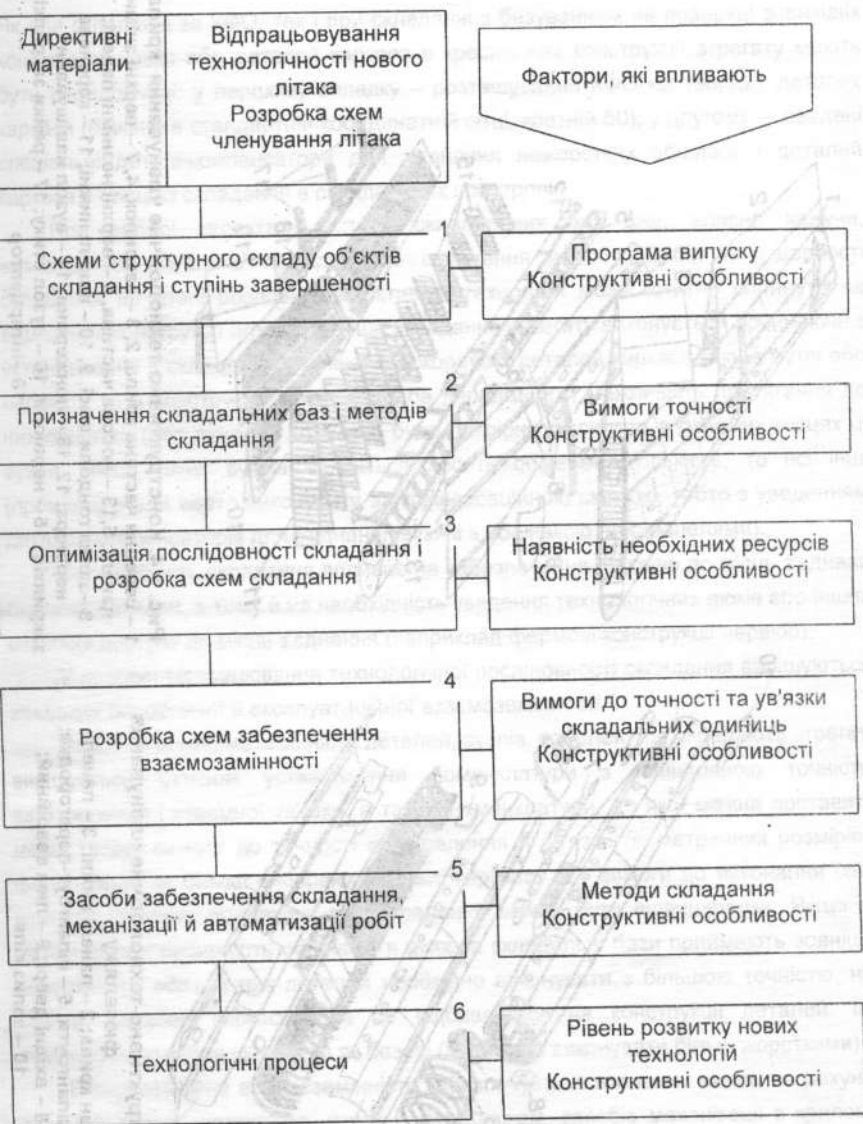


Рис.1.2. Директивний технологічний процес складання агрегату планера літака

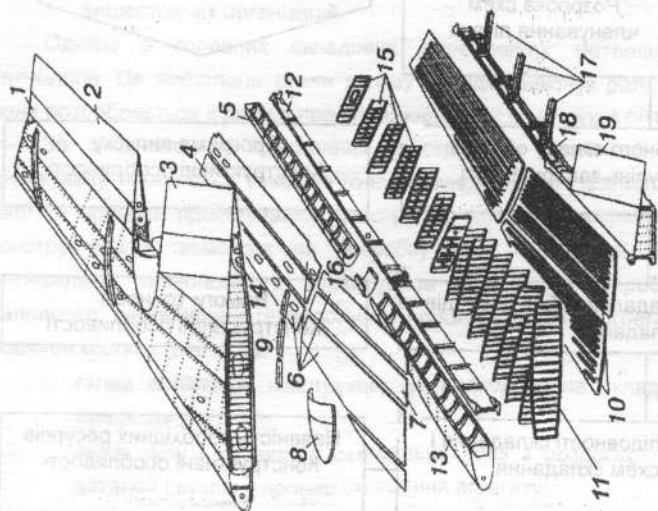


Рис. 1.4. Конструктивно-технологічне членування крила:
 1 – середня частина крила, 2, 3 – закрилок, 4, 7 – верхні знімні панелі; 5, 13 – носова частина, 6 – верхні незнімні панелі; 8 – заліз гондолои шасі, 9, 10 – панелі нижні; 11 – коренева нервюра; 12, 18 – лонжерони; 14 – вузол навішування закрилків; 15 – нервюри; 16 – вузол стику; 17 – рейки закрилків; 19 – інтерцентр

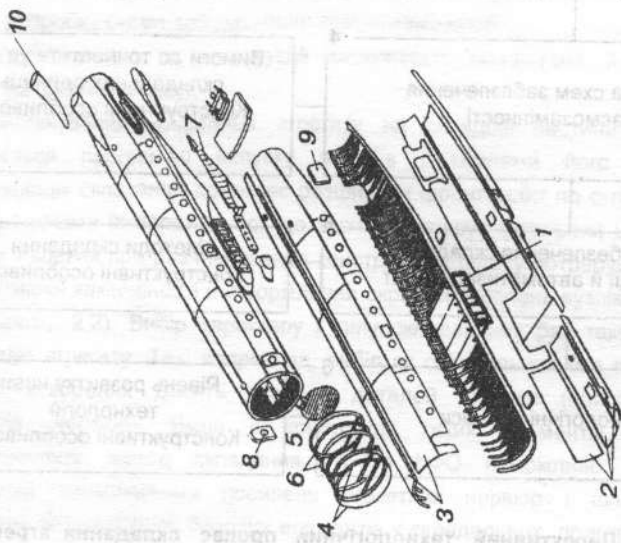


Рис. 1.3. Конструктивно-технологічне членування фюзеляжу:
 1 – центроплан крила; 2 – панелі нижні; 3 – панелі верхні; 4, 6 – шпангоути; 5 – шпангоут-перегородка; 7 – залізи; 8 – входні двері; 9 – люк аварійний; 10 – залізи кіля

Як при складанні за КФО, так і при складанні з базуванням на поверхні зовнішніх контурів обшивки або деталей каркаса в кресленнях конструкції агрегату мають бути передбачені: у першому випадку – розташування КФО на твердих деталях каркаса (бажано в стандартній координатній сітці, кратній 50); у другому – введені спеціальні деталі-компенсатори для з'єднання нежорстких обшивок і деталей каркаса в процесі складання в складальних пристроях.

При виборі характеру і типу складальних баз вже, власне кажучи, визначається загальна послідовність складання виробу. Вибір послідовності складання на етапі розробки директивної технології може істотно вплинути на вирішення конструкції агрегату. Якщо складання агрегату виконується починаючи з установлення в складальне положення жорстких деталей каркаса (шпангоутів або нервюр), то в конструкції останніх треба передбачити можливість притягання до них обшивки (або панелі), для чого буде потрібно підсилити в окремих місцях ці вузли. Якщо таких вузлів виявиться досить обмежена кількість, то всі інші (проміжні) вузли варто виконувати за компенсаційною схемою, тобто з уведенням деталей-компенсаторів для з'єднання вузлів з обшивкою (або панелями).

Послідовність складання впливає на забезпечення підходів до місць з'єднань окремих деталей, а тому й на необхідність уведення технологічних люків або інших способів доступу до місць з'єднання (наприклад фермові конструкції нервюр).

У процесі відпрацювання технологічної послідовності складання вирішуються завдання виробничої й експлуатаційної взаємозамінності.

Виробнича взаємозамінність деталей, вузлів, панелей, що складають агрегат, вирішується шляхом установлення номенклатури з підвищеною точністю виготовлення і взаємної ув'язки, а також номенклатури, до якої можна поставити менш тверді вимоги до точності виготовлення й ув'язки геометричних розмірів і форм. Якщо як базові вибирають деталі каркаса, то і вимоги до виконання їхніх контурів (базових поверхонь при складанні) мають бути підвищеними. Якщо як базові деталі вибирають обшивки, в яких за складальні бази приймають зовнішні поверхні, то обводи цих деталей необхідно виконувати з більшою точністю, ніж обводи деталей каркаса. Все це відбивається на конструкції деталей, що використовують при складанні як базові (їх бажано виконувати більш жорсткими).

Експлуатаційна взаємозамінність забезпечується головним чином за рахунок стикових вузлів (наприклад, крила з фюзеляжем, засобів механізації з крилом і т.п.). Фланцеві чи вушково-вильчасті рознімання між агрегатами або окремими відсіками агрегатів з метою забезпечення експлуатаційної взаємозамінності остаточно обробляються у спеціальних стиковальних стендах.

При вирішенні питання про встановлення основної послідовності складання виробляються вимоги до конструкції для забезпечення механізації й автоматизації

складальних робіт (особливо робіт по створенню з'єднань – клепанню, зварюванню, паянню). Збільшенню обсягів механізованих і автоматизованих робіт при складанні сприяє раціональне розчленування конструкції агрегату на технологічно самостійні вузли і панелі. Цій же меті служать і вибір типу стрингерів, що забезпечують підходи для групового пресового клепання чи точкового зварювання, і вибір типу болтових з'єднань, що забезпечують підходи для механізованого розгортання, протягання, дорнування отворів, затягування гайок і т.п. У конструкції варто використовувати стаціонарні засоби механізації й автоматизації. При розклепуванні заклепок на стаціонарних пресах групового клепання (КП-403, КП-503, КП-504, КП-602) необхідно, щоб у конструкції вузла або панелі не тільки допускався вільний підхід штампів до місць постановки заклепок, але й був певний крок розміщення заклепок одного типорозміру (однакові діаметри і довжини заклепок). Аналогічні вимоги мають бути додержані й при використанні комплексних клеपालних автоматів.

Таким чином, очевидно, що в процесі розробки директивної технології може значною мірою змінитися конструкція деталей, вузлів, панелей, секцій і агрегатів планера літака. Усі ці зміни приводять до того, що конструкція стає оптимально технологічною. Освоєння такої конструкції та серійний випуск літаків, керуючись вказівками директивної технології, будуть зроблені за мінімальний час, з найменшими витратами і при забезпеченні заданої якості. Треба ще раз підкреслити, що створити директивний технологічний процес на вже закінчену розробкою конструкцію літака неможливо.

1.5. Вартість і тривалість розробки нових ЛА

Розвиток авіації стимулюється прагненням держави мати ЛА з найкращими характеристиками. Такі характеристики, особливо для надзвукових літаків, можуть бути досягнуті в результаті пошуку і застосування нових ефективних аеродинамічних і конструктивних рішень, удосконалення двигунових установок, обладнання систем навігації та керування, менш складного обслуговування й експлуатації, використання надійних пристроїв аеродромного устаткування. Це веде до появи все більш складних конструкцій, що потребують, по-перше, виконання великого обсягу нових розробок і досліджень і, по-друге, ретельної підготовки технологічного процесу виготовлення.

Перша вимога призводить до зростання працевитрат і витрат на розробку проекту, а друга – до необхідності безупинної модернізації виробничого устаткування і вимірювальних засобів, поліпшення технології й організації виробництва.

Зазначені фактори неминуче спричиняють збільшення тривалості та вартості розробки і у кінцевому підсумку – підвищення ціни літака, вартості експлуатації та ремонту.

Про динаміку зростання витрат можна висновувати за таким прикладом. Райтт одержав від уряду США для реалізації свого літака 25 тис. доларів, а вартість бомбардувальника В-1 (перший політ зроблено у 1974 р.) склала 12,3 млрд. доларів (до цієї суми входять розробка проекту і виготовлення перших чотирьох літаків). Вартість одного літака різних типів наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Тривалість освоєння та вартість одного літака різних типів

Тип літака і рік освоєння	Тривалість		Ціна, тисячі доларів
	розробки	підготовки серійного виробництва	
Міраж (Дасо) -1969	4	4	1300
Вігген (Сканія) -1971	6	4	3840
Ягуар (SEPEGAT) -1972	5	2	4022
F-111 (Дж. Дайнемекс) -1967	5	6	11500
F-15 (Мак Доннел Дуглас) - 1975	5	2	4000
Конкорд (Франція-Великобританія) -1974	12	2	31000
В-1В (Рокуелл) -1978	8	2	35000

Примітка. Дані табл. 1.2 орієнтовні, тому що складають або державну, або комерційну таємницю.

Значне зростання вартостей розробки і виробництва літаків поставило під сумнів доцільність (та й фінансову можливість) самостійної розробки літаків для країн із середнім економічним потенціалом. Так, для створення літака "Конкорд" та його виробництва необхідні були зусилля п'яти країн: Франції, Англії, Германії, Нідерландів та Іспанії. Вартість "Конкордів" склала більше 3 млрд. доларів.

Доцільність і можливість величезних витрат на створення нових ЛА залежить також від кількості років їх експлуатації (тому що терміни їхньої змінюваності значно скоротилися). На підставі статистичних даних можна стверджувати, що за 20 років (наприклад, з 1960 по 1980 рр.) період знаходження літака у виробництві скоротився більш ніж у три рази, а середня тривалість циклу розробки і підготовки виробництва збільшилася приблизно в два рази і складає в середньому від початку розробки до початку льотних випробувань не менше семи-дванадцяти років (табл. 1.3).



Терміни створення літаків різних типів

Тип літака	Назва літака	Етапи створення літака		
		Початок розробки	Виготовлення дослідного зразка	Початок льотних випробувань
Надзвуковий пасажирський	Конкорд (Франція) ТУ-144 (СРСР)	1962	1974	1975
		1961	1968	1970
Винищувачі зі змінюваною геометрією крила	F111 (США) Міраж (Франція) МІГ- 21,25 (СРСР)	1962	1967	1973
		1964	1969	1973
Винищувачі вертикального зльоту	Р-1127 (Англія) Як-36 (СРСР)	1958	1960	1967
		—	—	—
Аеробуси – широко-фюзеляжні літаки	Б-747 (США) ДС-10 (США) L-1011 (США) Іл-86 (СРСР)	1966	1968	1970
		1966	1969	1971
		1966	1969	1972
		1969	1976	1976
Бомбардувальник	В-18 (США)	1970	1978	1979

Тривалі терміни на створення нових машин призводять до того, що багато проектів до моменту їхнього виробництва морально застарівають і до їх випуску приступати недоцільно (у капіталістичних країнах при цьому величезне значення відіграє конкуренція фірм у створенні аналогічних типів літаків: хто першим устиг, той і завоював ринок збуту).

З урахуванням викладеного вище в авіаційній промисловості постійно ведуться роботи, спрямовані на зменшення термінів підготовки виробництва.

1.6. Шляхи скорочення термінів підготовки виробництва нових ЛА

Основні заходи, які дозволяють значно скоротити терміни підготовки (конструкторської, технологічної й організаційної) виробництва нових літаків на всіх етапах:

1. Використання заздалегідь підготовлених рішень і засобів технічного озброєння виробництва.

2. Застосування автоматизованих систем підготовки виробництва.

До числа заздалегідь підготовлених рішень і засобів технічного забезпечення виробництва відносяться:

1) з конструкторської підготовки – використання прототипів, що добре зарекомендували себе в колишніх конструкціях, конструкцій та їх елементів від виробу, що знімається з виробництва (наприклад, ТУ-104 складався з 50% агрегатів військової машини ТУ-16, ТУ-124 і ТУ-134 - на 75-80% були скомпоновані зі спадкоємних деталей і агрегатів літака ТУ-104); відпрацювання серійних

креслень безпосередньо в ОКБ і передача їх у калках на серійний завод; поширене використання САПР конструкцій літаків;

2) з технологічної підготовки – розробка директивних технологічних матеріалів у період створення проекту літака і передача їх серійному заводу разом з робочими кресленнями; завчасна підготовка типових технологічних процесів; виявлення номенклатури оснащення першої черги (до розробки технологічних карт), складання альбомів стандартних рішень по усіх видах технологічного оснащення (у тому числі й універсального); виявлення можливості застосування технологічних процесів і оснащення від літака, що знімається з виробництва; паралельне проектування і виготовлення засобів оснащення; використання запасів стандартних вузлів і деталей оснащення; розробка програм обробки деталей в ОКБ;

3) з організаційної підготовки - своєчасна перепідготовка всього особового складу працівників підприємства, на якому запускається новий літак, використання методів організації виробництва, що добре зарекомендували себе.

Головним напрямком скорочення термінів підготовки виробництва і його вдосконалення стає застосування автоматизованих систем розробки (САПР) конструкторської, технологічної документації, організації та керування процесами технологічної підготовки виробництва на всіх стадіях.

У цей час ведуться великі роботи по створенню автоматизованих систем розробки технологічних процесів, проектуванню засобів технологічного оснащення, забезпеченню виробництва устаткуванням і оснащенням, організації виробництва та керуванню ним.

Об'єднання окремих систем у єдину дозволить створити автоматизовану систему технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), основу організації якої складе взаємодія людей, машинних програм і технічних засобів автоматизації. АСТПВ повинна функціонувати в двох режимах:

1) людино-машинному, коли людина активно втручається у вироблення остаточних рішень, аналізуючи проміжні рішення і підготовляючи на основі цього вихідні дані для подальшого вирішення завдань;

2) машинному, коли втручання людини в проміжні рішення не потрібне.

1.7. Забезпечення технологічності конструкцій ЛА

Технологічність конструкцій ЛА є однією з його головних властивостей, що має бути забезпечена при проектуванні ЛА поряд з його льотними характеристиками, ресурсом і надійністю.

Під технологічністю прийнято розуміти властивість конструкції ЛА, що дозволяє застосувати в процесі її виготовлення прогресивні технологічні процеси і забезпечити високу якість при мінімальних витратах праці і часу. Технологічність не є абсолютною властивістю конструкції ЛА. Конструкція, технологічна в одних умовах виробництва, може виявитися нетехнологічною в інших.

Поняття технологічності конструкції ЛА втрачає визначеність і в тому випадку, якщо технологічність розглядати безвідносно до конкретного рівня розвитку технології виробництва. Конструкції, нетехнологічні у певний період часу, з появою нових технологій можуть виявитися технологічними.

На етапі підготовки виробництва забезпечується технологічність конструкції ЛА і передбачаються взаємозалежні рішення конструкторських, технологічних і організаційних завдань.

До складу завдань по забезпеченню технологічності ЛА входять:

- відпрацьовування конструкцій ЛА на технологічність на всіх стадіях розробки ЛА, при технологічній підготовці виробництва і виготовленні виробу (в обґрунтованих випадках);
- удосконалювання умов виконання робіт при виробництві й експлуатації ЛА;
- кількісна оцінка технологічності конструкції ЛА;
- технологічний контроль конструкторської документації та внесення в неї відповідних змін.

1.7.1. Загальні правила відпрацьовування конструкцій виробу на технологічність і показники технологічності

Відпрацьовування конструкції виробу на технологічність спрямовано на забезпечення якості виробу, підвищення продуктивності праці, зниження витрат, скорочення часу на проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення і технічне обслуговування виробу при експлуатації.

Послідовність і зміст робіт по забезпеченню технологічності конструкції ЛА.

Відпрацьовування конструкції ЛА на технологічність проводяться спільно розроблювачами конструкторської та технологічної документації підприємствами-виготовлювачами ЛА. У необхідних випадках до відпрацьовування конструкцій ЛА на технологічність залучаються спеціалізовані технологічні інститути: авіаційної технології (НДАТ), авіаційних матеріалів (ВІАМ), аерогідродинаміки (ЦАГІ) та ін. Відповідальними виконавцями відпрацьовування конструкції ЛА на технологічність є розроблювачі конструкторської документації. Основний зміст робіт по забезпеченню технологічності конструкції ЛА залежно від стадії розробки

конструкторської документації встановлюється галузевими стандартами (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Основний зміст робіт по забезпеченню технологічності

Етапи розробки конструкторської документації	Зміст робіт
Технічне завдання на проектування нового ЛА	Збирання інформації про технологічність конструкції виробів аналогів. Встановлення вимог до технологічності розроблюваної конструкції нового ЛА. Вибір показників для оцінки технологічності. Розрахунок значень показників технологічності.
Технічна пропозиція	Виявлення варіантів конструктивних рішень, що мають кращі передумови для раціонального членування та компоновання ЛА. Визначення можливості запозичення складових частин ЛА. Рекомендації щодо використання нових матеріалів, технологічних процесів і засобів технологічного оснащення. Розрахунок показників технологічності для запропонованих варіантів конструкції нового ЛА. Вибір остаточного варіанта конструктивного рішення.
Ескізний проект	Аналіз відповідності членування варіантів конструкції ЛА умовам виробництва. Складання варіантів конструкції ЛА за уніфікацією, стандартизацією, точністю розташування складових частин ЛА і способами їхнього з'єднання один з одним. Розрахунок показників технологічності варіантів конструкцій ЛА. Вибір варіантів конструкції ЛА для подальшої розробки. Технологічний контроль конструкторської документації.
Технічний проект	Визначення можливості паралельного і незалежного складання і контролю специфікованих складових частин ЛА. Виявлення можливості застосування покупних, стандартних, уніфікованих чи освоєних виробництвом складових частин ЛА. Аналіз можливості застосування нових, у тому числі типових і групових, високопродуктивних технологій. Розрахунок показників технологічності конструкції ЛА. Прийняття основних принципових рішень стосовно технологічності конструкції ЛА й умов виконання робіт при його виробництві, експлуатації та ремонті. Технологічний контроль КД.

Стадії розробки конструкторської документації	Зміст робіт
Робоча конструкторська документація	Вибір раціональних способів фіксування і регулювання складових частин ЛА при складанні. Визначення доступності та легкознімності змінних складових частин ЛА. Виявлення можливості уніфікації деталей і складальних одиниць. Встановлення економічно доцільних методів одержання заготовок. Поелементне відпрацювання конструкції ЛА на технологічність. Розрахунок показників технологічності конструкції ЛА. Технологічний контроль робочої конструкторської документації. Оцінка відповідності досягнутого рівня технологічності вимогам технічного завдання

Характеристика робіт з технологічності. Статистичні дані про ефективність робіт з технологічності виробів, які одержують на кожному з етапів проектування, показано в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Ефективність робіт на етапах проектування ЛА

Етапи розробки конструкції ЛА	Частка ефективності, %
Технічне завдання	5...8
Технічна пропозиція	3...5
Ескізний проект	20...25
Технічний проект	40...45
Робочий проект	15...20

Нижче перераховано характерні роботи на кожному етапі розробки конструкції нового ЛА.

Етапи: технічне завдання, пропозиція, ескізний проект. Найістотнішими заходами на перших трьох етапах розробки конструкції ЛА, що дають найбільший ефект по технологічності, є:

1. Вибір матеріалів, що визначаються виходячи з призначення ЛА (військовий чи цивільний, з дозвукowymi чи надзвукowymi швидкостями польоту).

Залежно від призначення ЛА в основній конструкції планера літака можуть бути використані: алюмінієві сплави (наприклад, Д16, В95, В64 та ін.), що знайшли широке застосування в сучасних конструкціях і досить добре відпрацьовані в

технологічному відношенні (створено відповідне технологічне устаткування й інструмент для обробки деталей з цих матеріалів); нові матеріали (наприклад, титанові сплави, композиційні матеріали, жароміцні та жаростійкі сталі та ін.); перспективні матеріали - для реалізації їх у майбутніх конструкціях літальних апаратів, але ті, що не пройшли ще досить доброї технологічної апробації у виробництві, тобто такі, на які ще не відпрацьовано остаточно технологічні процеси, устаткування, інструмент. Однак це ще не означає, що подібні матеріали не слід використовувати в конструкціях ЛА. Їхнє застосування в конструкціях потребує більш інтенсивних робіт по вишукуванню нових і вдосконаленню існуючих технологічних процесів обробки, а також розробці відповідного устаткування й інструменту.

2. Вирішення питань спадкоємності нових конструкцій. Спадкоємність конструкцій варто сприймати в широкому розумінні слова: це і використання тих самих матеріалів, застосованих на виробі, що знімається з виробництва; це і геометрична схожість окремих частин планера (фюзеляжу, крил, хвостового оперення та ін.); це і геометрична схожість і подібність окремих деталей (аж до використання тих самих деталей і в старій, і в новій конструкції); це і геометрична схожість в окремих елементах поверхонь і форм деталей. Прикладами використання широкої спадкоємності конструкцій можуть служити літаки сім'ї ТУ (ОКБ Туполева): на базі ТУ-16 (бомбардувальник з турбореактивними двигунами) створено літак ТУ-104 - перший пасажирський літак з турбореактивними двигунами. У цій конструкції літака були використані до 50% агрегатів і деталей літака ТУ-16. Практично великого перероблення зазнав лише фюзеляж літака. Надалі, при переході до конструкції літаків ТУ-124, ТУ-134, ТУ-134А, раніше відпрацьовані конструкції деталей, вузлів були використані в них на 50-100%. Подібне застосування спадкоємних конструкцій дозволило виробникам у таких самих обсягах використовувати раніше освоєні і відпрацьовані технологічні процеси, устаткування й інструмент, а робітникам не треба було знову освоювати нові прийоми роботи. Ефективність від реалізації спадкоємності - в наявності.

3. Вибір найпростіших геометричних форм конструкцій. До числа таких форм треба, мабуть, віднести плоскі конічні, циліндричні, а також ті форми, що легко описуються математичними рівняннями не вище другого порядку.

Простота геометричних форм окремих частин планера літака, а також вхідних деталей відкриває широку перспективу для застосування засобів автоматизації при розкреслюванні плазів, виготовленні шаблонів, формотвірного і складального оснащення, деталей, панелей, секцій і відсіків планера літака.

Устаткування й оснащення для виготовлення виробів із простими геометричними формами може мати "груповий" характер, тобто на цьому

устаткуванні за рахунок переналагодження або незначної перебудови можна обробляти або збирати групи однотипних деталей і частин планера літака. З успіхом може використовуватися й устаткування з числовим програмним керуванням.

4. Вибір оптимальної силової схеми. При виборі розташування нервюр, стрингерів, лонжеронів, шпангоутів, що утворюють силову схему окремих частин (агрегатів) планера літака, слід керуватися тим, щоб форма силових деталей була найпростішою.

Приклад 1. Розташування стрингерів крила паралельно один одному нетехнологічне, тому що полки стрингерів будуть мати "закручення". Такі стрингери важко виготовити, їх також незручно з'єднувати з обшивкою через неприлягання поверхні. Тому стрингери треба розміщати по лініях рівних відсотків хорд. У цьому випадку стрингери виявляються плоскими і прямолінійними.

Приклад 2. Розташування полиць поясів нервюр відносно площин лонжеронів може бути виконано з відкритою чи закритою малкою.

У випадку з відкритою малкою полиці поясів нервюр мають гарний доступ до місць установлення кріпильних елементів (заклепок, болтів, зварювальних точок), тоді як із закритою – вільний доступ до цих місць не забезпечується. Ясно, що перша конструкція може бути охарактеризована як технологічна, а друга – як нетехнологічна.

5. Вибір конструктивних і експлуатаційних рознімань. З метою забезпечення мінімальної маси конструкції завжди варто прагнути до того, щоб конструктивні й експлуатаційні рознімання збігалися.

Відомо, що останнім часом намітилася тенденція до відмовлення від конструктивних рознімань і заміни їх чисто технологічними розніманнями. Подібне рішення спричиняє зменшення маси і підвищення міцнісних характеристик конструкції, збільшення ресурсу та надійності. Оскільки рішення про відмовлення від конструктивних стиків і перехід на нерознімні технологічні стики веде до погіршення технологічності виробу, то вибір конструктивних рішень стосовно стиків має бути ретельно ув'язаний з їх виробничою й економічною доцільністю.

Етап: технічний проект. Етап розробки технічного проекту містить прийняття остаточних рішень про технологічність конструкції, точність виготовлення виробу і його складових частин на підставі остаточних конструктивних рішень і повного уявлення про будову виробу.

У технічному проекті вирішуються такі завдання технологічності:

1. Вибір раціональної схеми членування планера літака на самостійні технологічні частини, що сприяє диференціації складального процесу.

2. Забезпечення взаємозбираності конструкції за рахунок:

- а) призначення рознімачів і стиків окремих частин планера по найпростіших поверхнях;
- б) введення в конструкцію стиків і рознімачів компенсуючих елементів;
- в) виключення стикування двох частин планера через третю;
- г) виключення косих і східчастих стиків і рознімачів;
- д) виключення нетехнологічних виглядів з'єднань (наприклад, конічних болтів, заклепок для двостороннього клепаання в стиснутих місцях конструкції та ін.).

Взаємозбираність оцінюється коефіцієнтом відношення трудомісткості складання (базування + з'єднання деталей при складанні) до загальної трудомісткості складання з урахуванням підгінних робіт:

$$K_c = \frac{T_{\delta} + T_c}{T_{\delta} + T_c + T_{II}}$$

де T_{δ} – трудомісткість установлення (базування та фіксації деталей у складальному положенні); T_c – трудомісткість з'єднання деталей; T_{II} – трудомісткість припасування деталей при складанні.

Чим менше T_{II} , тим K_c ближче до одиниці і тим вище взаємозбираність.

3. Підвищення монолітності конструкцій за рахунок введення в неї монолітних пресованих панелей, нервюр, лонжеронів, монолітно-складальних конструкцій панелей, монолітних литих панелей (шляхом витискування на спеціальних ливарних машинах).

4. Зменшення кількості та типів з'єднань, а також спрощення їхньої конструкції.

Використання одночасно заклепувальних з'єднань і зварювання небажане, краще замінити болтові з'єднання на клеєні. Однак постановка заклепок діаметром більше 6 мм спричиняє технічні та санітарно-гігієнічні труднощі. Тому найчастіше в конструкції того ж самого вузла (наприклад, лонжерона, панелі) зустрічаються болт-заклепувальні з'єднання. Доцільно повсюди переходити на спеціальні види заклепок, що забезпечують підвищений ресурс і герметичність з'єднань (так звані високоресурсні заклепки).

У місцях, важкодоступних для підходу інструмента, варто використовувати заклепки для одностороннього підходу. При цьому необхідно мати на увазі, що заклепки для односторонньої постановки не забезпечують герметичність і характеризуються малим ресурсом роботи в конструкції.

5. Раціональний вибір матеріалів і напівфабрикатів (заготовок) для виготовлення деталей. Матеріали для виготовлення деталей вибирають не тільки з міцнісних розумінь, але й з урахуванням їх оброблюваності та вартості обробки.

Напівфабрикати майбутніх деталей мають бути такими, щоб розміри їх максимально наближались до креслярських. Таким вимогам відповідають:

- періодична прокатка;
- точне об'ємне штампування (нахолодно і нагарячо);
- прецизійне лиття та ін.

6. Призначення оптимальних допусків на окремі частини планера й у цілому на планер.

Як правило, у літакобудуванні прийнято призначати допуски або величини припустимих відхилень на геометричні форми, розміри агрегатів (крила, оперення, гондoli шасі і двигунів, фюзеляж) і літак у цілому без диференціації цих допусків на окремі вузли, панелі, секції, з яких складають агрегати.

Завдання розподілу загального допуску на агрегат між усіма його складовими частинами виконується технологами в процесі проектування технологічних процесів складання виробів і виготовлення деталей. Це так зване пряме завдання вирішення розмірних ланцюгів залежить від прийнятих схем забезпечення взаємозамінності та методів складання. І методи складання, і методи ув'язки мають певні граничні можливості забезпечення точності виготовлення і складання виробів.

Етап: робочий проект. Етап розробки робочої документації характеризується конкретизацією умов забезпечення основних вимог технологічності, у тому числі використання типових технологічних процесів, переналагоджуваного оснащення і технологічного устаткування. Зважаються питання доведення конструкції виробу до відповідності вимогам серійного виробництва з урахуванням застосування найпродуктивніших технологічних процесів і засобів технологічного оснащення.

Етап робочого проектування передбачає виконання таких робіт у напрямку підвищення технологічності:

1. Робочі креслення оформлюються в строгій відповідності до діючих положень ЕСКД і ЕСТП, ДСТ, ОСТами і СТП підприємства.
2. На деталі та складальні одиниці розробляють ТУ, що відповідають вимогам стандартів і типових технологічних процесів.
3. У робочих кресленнях уточнюються матеріали, а також умови термообробки й випробувань деталей, вузлів та інших виробів.
4. Уточнюються питання складкоємності конструкцій, особливо використання деталей (і стандартних) з числа виробів, що знімаються з виробництва.

Зміни конструкції виробу, що виникають у процесі серійного виробництва в зв'язку з поліпшенням показників технологічності, не повинні порушувати стабільності ходу виробничого процесу. Як правило, зміни в серійне виробництво

вносять після виготовлення нової серії виробу залежно від його виду, призначення, умов виробництва та використання.

Загальні вимоги до технологічності складальної одиниці конструкції ЛА.

Технологічність складальних одиниць планера ЛА - вузлів, панелей, секцій, відсіків, агрегатів - багато в чому визначає рівень технологічності ЛА в цілому. Тому конструкція складальної одиниці повинна задовольняти насамперед загальні вимоги ефективності виготовлення, експлуатації та ремонту найбільш продуктивними й економічними способами при заданих умовах виробництва.

Це вимоги:

1. До складу складальної одиниці:

- складальна одиниця повинна розчленовуватися на раціональне число складових частин з урахуванням принципу панелювання;
- необхідно, щоб конструкція складальної одиниці забезпечувала можливість компонування її зі стандартних і уніфікованих частин;
- конструкція складальної одиниці не повинна зумовлювати застосування складного технологічного оснащення;
- у конструкції складальної одиниці варто передбачати базову складову частину, яка є основою для розташування інших складових частин;
- у конструкції базової складової частини необхідно передбачати можливість використання конструкторських баз як технологічних і вимірювальних;
- компонування складальної одиниці і способи з'єднання повинні забезпечувати легкоснімність складових частин з малим ресурсом.

2. До конструкції з'єднань:

- необхідно, щоб види використовуваних з'єднань, їхньої конструкції та місце розташування відповідали можливостям механізації й автоматизації складальних робіт;
- кількість поверхонь і місць з'єднань складових частин у загальному випадку має бути найменшою.

3. До точності складання:

- точність розташування складових частин мусить бути обґрунтованою і взаємозв'язаною з точністю їх виготовлення;
- у конструкції необхідно передбачати пристрої, які забезпечують задану точність відносного розміщення складових частин;
- вибір методу складання для даного обсягу випуску і типу виробництва варто проводити на підставі розрахунку й аналізу розмірних ланцюгів;

– при виборі методу складання потрібно враховувати трудомісткість складальних робіт і витрати на виготовлення складових частин з точністю, необхідною для даного методу складання.

1.7.2. Правила вибору показників для оцінки технологічності конструкції ЛА

При виборі показників для оцінки технологічності конструкції ЛА варто враховувати:

1. Види технологічності: виробничу й експлуатаційну. При цьому під виробничою технологічністю конструкції ЛА необхідно розуміти заходи, спрямовані на скорочення витрат коштів і часу на конструкторську і технологічну підготовку, а також на процеси виготовлення конструкції ЛА, а під експлуатаційною - на скорочення витрат і часу на обслуговування і ремонт ЛА.

2. Головні фактори, що визначають вимоги до технологічності: вид виробу (деталь, складальна одиниця, комплекс, комплект), обсяг випуску, тип виробництва (одичне, серійне, масове).

3. Види оцінки технологічності: якісну і кількісну. Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено, на підставі досвіду виконавців. Ця оцінка при порівнянні варіантів конструкції в процесі проектування ЛА переує кількісній і визначає доцільність кількісної оцінки і, відповідно, витрат часу на визначення чисельних значень показників технологічності порівнюваних варіантів. Кількісна оцінка технологічності конструкції ЛА виражається показниками, чисельне значення яких характеризує ступінь задоволення вимог до технологічності конструкції.

При порівняльній оцінці варіантів конструкції номенклатура показників технологічності та методи їхнього визначення мають бути однаковими.

Розрахунок значень показників технологічності ЛА, як правило, проводиться на підставі статистичних даних стосовно типових представників конструкції з економічно доцільною точністю.

Кількісна оцінка технологічності конструкції ЛА здійснюється за допомогою системи показників, що включає:

- базові (вихідні) значення показників технологічності, які є нормативними граничними, обов'язковими для виконання (вони вказуються в технічному завданні на розробку ЛА);
- значення показників технологічності, досягнутих при розробці ЛА;
- показники рівня технологічності конструкції ЛА, який розроблюється.

Дані про рівень технологічності конструкції ЛА необхідно використовувати в процесі оптимізації конструктивних рішень на стадіях розробки конструкторської документації (КД), при прийнятті рішення про виробництво ЛА, аналізі

технологічної підготовки виробництва, розробці заходів щодо підвищення рівня технологічності конструкції ЛА і визначенні ефективності його виробництва й експлуатації.

Кількість показників має бути мінімальною, але достатньою для оцінки технологічності.

Перелік показників, що рекомендується відповідно ГОСТ 14.201-83, може бути розширений з урахуванням специфіки ЛА як об'єкта виробництва (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Перелік рекомендованих показників технологічності

Показник технологічності ЛА	Етап розробки КД			
	Технічні пропозиції	Ескізний проєкт	Технічний проєкт	Робочий проєкт
Трудомісткість виготовлення	-	+	+	+
Питома трудомісткість виготовлення	-	+	+	+
Питома матеріаломісткість	-	+	+	+
Технологічна собівартість	+	-	-	+
Трудомісткість монтажу	-	-	+	+
Коефіцієнт застосовності матеріалу	-	-	+	+
Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів	-	-	+	+
Коефіцієнт складальності	-	+	+	+

Комплекс робіт по зниженню трудомісткості і собівартості виготовлення в загальному випадку містить:

- підвищення серійності при виготовленні за допомогою стандартизації, уніфікації та групування виробів та їхніх елементів за конструктивно-технологічними ознаками;
- обмеження номенклатури складових елементів конструкції та застосовуваних матеріалів;
- зниження маси виробу;
- застосування високопродуктивних типових технологічних процесів і засобів технологічного оснащення;
- підвищення надійності та ремонтпридатності конструкції без зниження ресурсу виробу.

Основні показники технологічності доповнюються цілим рядом окремих показників, кількість і значущість яких залежить від виду виробу, обсягів його випуску. До окремих показників технологічності відносяться:

1. Відносна трудомісткість:
 - процесу виготовлення за видами робіт;
 - підготовки виробу до функціонування;
 - профілактичного обслуговування виробу;
 - ремонтів виробу.
2. Відносна собівартість:
 - підготовки виробу до функціонування;
 - обслуговування виробу;
 - ремонтів виробу.
3. Коефіцієнт за уніфікацією конструкції, технології, матеріалами:

- уніфікації виробу;
- уніфікації конструктивних елементів;
- стандартизації виробу;
- повторюваності елементів конструкції виробу;
- застосування типових технологічних процесів;
- використання матеріалів;
- застосовності матеріалів;
- точності обробки.

Значення відносних окремих показників технологічності приймаються (для порівняння) у межах $0 \leq K_i \leq 1$.

1.7.3. Способи забезпечення технологічності конструкцій ЛА

Мета забезпечення технологічності конструкції ЛА полягає в підвищенні її якості та продуктивності праці при одночасному досягненні оптимальних матеріальних витрат і часу на виробництво ЛА.

Заданий рівень якості виробу визначається, з одного боку, завданнями, які треба буде вирішити за допомогою даного виробу, а з іншого – економічною доцільністю досягнення цього рівня. Якість виробу оцінюється складом і величиною властивостей, що характеризують виріб відносно аналога.

При порівнянні виробів одного призначення кращим за якістю виявиться той, в якого за інших рівних умов буде відносно вищою народногосподарська корисність, одержана від його експлуатації, або при однаковій корисності – відносно нижчою собівартість здійснення всіх (чи деяких) процесів життєвого циклу виробу. Очевидно, що узагальненим (інтегральним) показником якості виробу може бути величина різниці між грошовим виразом корисності та сумою витрат на здійснення всіх процесів життєвого циклу виробу:

$$K_{\text{вир}} = A - \Sigma B_i = A - (B_c + B_{\text{пр}} + B_e),$$

де $K_{\text{вир}}$ – показник якості виробу;

A – корисність виробу;

B_c – витрати на створення дослідного зразка виробу;

$B_{\text{пр}}$ – витрати на створення серійного виробу;

B_e – витрати на експлуатацію виробу.

Для одержання виробу з високим показником якості необхідно, щоб узагальнений показник якості $K_{\text{вир}}$, що планується, був вище узагальненого показника якості кращого сучасного виробу-аналога. Оскільки формування якості продукції закладається на всіх етапах створення ЛА - при розробці технічного завдання, конструкції, при технологічній підготовці виробництва і виготовленні виробів, - а результати виявляються тільки при експлуатації, то між цими етапами життєвого циклу виробу має бути встановлений тісний зв'язок. На підставі результатів експлуатації висновують про якість виробу за всіма його параметрами – технічними і економічними. На всіх етапах формування якості ЛА і забезпечення його високих характеристик зважується комплекс технічних і технологічних завдань.

Конструкція виробу повинна задовольняти вимоги його виробництва й експлуатації, тобто необхідно, щоб конструкція була технологічною.

Технологічною конструкцією є така, при реалізації якої у виробництві й експлуатації досягаються мінімальні витрати з одночасним забезпеченням заданої якості та кількості виробів, що випускаються.

Існують два способи забезпечення технологічності конструкції:

1. Метод технологічного контролю з боку фахівців з технології та внесення змін у конструкцію за результатами цього контролю. Самі технологи не беруть участі у розробці конструкції; їх втручання відбувається на фінішних стадіях її розробки. Більше того, дуже часто технологічний контроль має своєю метою не забезпечення максимальної оптимізації конструкції за собівартістю її виготовлення й експлуатації, а тільки створення передумов у конструкції виробу для можливості здійснення процесу його виготовлення або експлуатації. До недоліків цього способу варто віднести й те, що при розробці конструкції технологічність не формується на необхідному рівні, в результаті чого при кваліфікованому технологічному контролі часто виникає необхідність у значній її переробці.

Внаслідок цього створюється конфліктна ситуація між конструктором і технологом: технолог вимагає зміни конструкції, а конструктор або нездатний здійснити зміну, або не має для цього можливості через скінчення планових термінів розробки. Найнезрозумілішим у способі забезпечення технологічності конструкції виробу є обґрунтованість його існування: спочатку дарма витрачаються праця і час, щоб створити нетехнологічну конструкцію, а потім знову відбуваються витрати того й іншого, щоб переробити конструкцію в технологічну. Подібне рішення не може бути віднесено до числа розумних і справедливих.

2. Метод забезпечення технологічності конструкції при тісній взаємодії конструктора і технолога як до початку розробки конкретної конструкції виробу, так і в самому процесі її розробки. Така спільна праця конструкторів і технологів є гарантом появи із самого початку технологічної конструкції виробу, яка враховує всі досягнення технології створювання виробів при одночасній оцінці економічності технологічних процесів, що закладаються в неї. Складність техніки і технології зросли в даний час настільки, що вважається похвальним, якщо фахівець-технолог досконало знає не всю технологію виготовлення виробу, а лише технологію одного виду робіт (штампування, лиття, складання, механообробка і т.ін.). У таких умовах неправомірно очікувати від конструктора чи групи конструкторів, щоб вони запрограмували в конструкції застосовність оптимальних процесів в усіх видах робіт. Конструкції складних виробів, якими є ЛА, повинні створюватися фахівцями усіх видів робіт, застосовність яких програмується в конструкції.

Тісна взаємодія конструкторів і технологів при створенні конструкції складних виробів особливо проявилася при розробці широкофюзеляжних літаків та інших ЛА, до яких ставляться особливо жорсткі вимоги стосовно надійності та ресурсу їх експлуатації.

Розділ 2

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ РОБОЧОЇ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

2.1. Склад робіт

Основою для розробки робочої (серійної) технічної документації (технологічної, організаційної, управлінської) служать директивні матеріали і комплексні заходи щодо серійного освоєння нового ЛА. Комплекс робочої технічної документації на серійне виробництво нового виробу розробляється безпосередньо на заводі-виготовлювачі всіма технічними службами заводу.

Розглянемо склад робіт, які необхідно провести на заводі для організації, наприклад, складального виробництва як найбільш складної та відповідальної фази виробництва ЛА.

У загальному вигляді порядок розробки технічної документації та її склад для складального виробництва можна охарактеризувати виконанням таких робіт:

- 1) з урахуванням виробничих можливостей і програми випуску виробу проводять оптимальне технологічне розчленовування окремих частин ЛА на самостійні підскладання (на додаток до директивної технології та відповідно до неї);
- 2) уточнюють схеми базування для окремих частин і підскладань планера ЛА і, на підставі точнісних та економічних розрахунків, - методи складання;
- 3) розробляють докладні схеми складального складу частин планера ЛА і схеми складання;
- 4) з урахуванням розташовуваних ресурсів складають оптимальні схеми послідовності складання;
- 5) здійснюють детальну розробку схем забезпечення взаємозамінності й ув'язку форм і розмірів конструкцій планера ЛА;
- 6) розробляють серійні технологічні процеси складання частин ЛА і виробу в цілому;
- 7) проектують складальне й ув'язочне оснащення;
- 8) розробляють циклові графіки складання.

2.2. Оптимальне членування планера ЛА на підскладання

Раціональне членування планера ЛА на самостійні частини закладається в конструкцію на етапі проектування виробів і розробки директивних матеріалів (див. рис. 1.3, 1.4). Доцільність розчленування планера ЛА на самостійні частини випливає з необхідності введення конструктивних і експлуатаційних рознімань і стиків.

Додаткове розчленування конструкції планера спрямовано головним чином на досягнення позитивних ефектів у сфері виробництва, якими є можливість одержання раціональних заготовок і деталей, спрощення складання і монтажу, розширення фронту робіт, використання засобів механізації й автоматизації складальних робіт.

Незважаючи на широке практичне застосування в авіабудуванні розчленованих конструкцій ЛА, питання про раціональне виділення окремих частин дотепер залишається проблематичним через відсутність досить коректної теоретичної бази.

На практиці раціональність розчленування конструкції оцінюють шляхом порівняння техніко-економічних показників конструкції з різним ступенем її розчленування.

Існуючі рекомендації для визначення оптимальної кількості складальних одиниць у конструкції планера ЛА, основані на порівнянні відносних техніко-економічних коефіцієнтів, поширюються тільки на членування фіюзеляжу.

Відносні техніко-економічні коефіцієнти виражають відношення абсолютних показників при розглядуваному варіанті складання до абсолютних показників еталонного складального процесу, техніко-економічні показники якого приймаються за базові.

Як еталонний умовно приймають процес складання нерозчленованого агрегату.

Основні відносні коефіцієнти (за П.Е. Шекуновим [8]):

- коефіцієнт зміни трудомісткості складального процесу

$$K_T = \frac{T_n}{T_p} = \frac{1-\psi}{\alpha} + \psi;$$

- коефіцієнт скорочення циклу складання

$$K_{\Pi} = \frac{C_{\Pi}}{C_p} = \left[\frac{(1-\psi) \cdot D}{\alpha \cdot m} + \psi \right]^{-1};$$

- коефіцієнт зміни числа робочих місць

$$K_M = \frac{M_{\Pi}}{M_p} = \left[\frac{(1-\psi) \cdot D}{\alpha} + \psi \right]^{-1};$$

- коефіцієнт зміни виробничої площі

$$K_F = \frac{F_{\Pi}}{F_p} = \left[D(1-\psi) \sum \frac{\varepsilon_F}{\alpha} \tau_k + \frac{\varepsilon_p D}{\alpha_{\text{пр}}} + \psi \right]^{-1};$$

- коефіцієнт зміни собівартості складальних робіт

$$K_C = \frac{C_{\Pi}}{C_p} = \left(0,75K_T + \frac{0,43}{K_{\Pi}} \right)^{-1}.$$

У цих формулах ψ – частка трудомісткості стикувальних робіт; α – відносний коефіцієнт зміни продуктивності праці; D – діаметр фюзеляжу, м; m – число панелей у відсіку фюзеляжу; ε_F – відносний коефіцієнт площі робочого місця (площі, відведеної для складальних пристроїв, устаткування та ін. при різних варіантах складання); τ_k – відносний коефіцієнт часткової трудомісткості роботи (свердління, клепання, припасування та інше за різних умов їхнього виконання).

Порівнюючи відносні техніко-економічні коефіцієнти різних варіантів членування конструкції агрегату, можна вибрати найекономічніший варіант.

Коефіцієнти α , τ_k розраховують заздалегідь залежно від діаметра агрегату (D), інші величини – за конкретною конструкцією і варіантом членування. Варіант членування агрегатів на секції та панелі можна вибрати також на підставі експертних оцінок. Суть методу експертних оцінок полягає в тому, що група висококваліфікованих фахівців дають оцінку варіантів членування за найважливішими технологічними факторами, які впливають на всі техніко-економічні показники виробництва й експлуатації ЛА.

До числа технологічних факторів належать:

- цикл стиккування складових частин агрегату;
- перевага членування при збільшенні програми випуску ЛА;
- можливість проведення випробування системи у відсіках і панелях;
- забезпечення кращої транспортабельності відсіків і панелей;

- жорсткість відсіків і панелей по площинах стиків,
- складність установлення деталей у стиковальне положення, а також стикування відсіків фюзеляжу;
- забезпечення найкращих підходів при стикуванні;
- раціональність використання виробничих площ;
- необхідність застосування складного металомісткісного оснащення;
- обсяг конструкторського допрацювання креслень.

Для кожного з перерахованих факторів установлюють оцінку в балах у межах, не більших за максимальні.

Сумарна оцінка вказує на найприйнятніший варіант членування планера на відсіки і панелі.

Приклад експертної оцінки трьох варіантів членування фюзеляжу на відсіки широкофюзеляжного літака наведено у табл. 2.1.

2.3. Розробка схем базування при складанні конструкцій планера ЛА

На схемах базування вказують, які поверхні деталей (а надалі - вузлів, панелей, секцій чи відсіків) приймаються як технологічні бази, як вони розташовуються на деталях і в якій кількості, а також в якій послідовності та як змінюються по етапах складання.

Через те, що технологічні бази матеріалізовані, їх призначають з числа реально існуючих поверхонь об'єктів, що складаються, і складальних пристроїв. Бази на схемах зображуються графічними знаками.

Приклади складання схем базування:


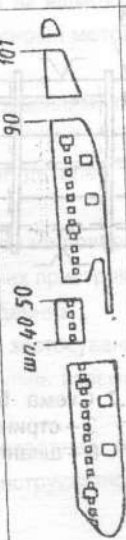
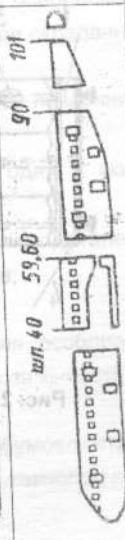
1. Складання лонжерона (рис. 2.1).
2. Складання панелі (рис. 2.2).
3. Складання відсіку крила (рис. 2.3).

При виборі схем базування варто дотримуватися трьох принципів базування:

1. Єдність конструктивних і технологічних баз.
2. Збіг технологічних баз на всіх етапах виготовлення і складання.
3. Постійність складальних баз на всіх етапах складання виробу.

Таблиця 2.1

Приклад експертної оцінки трьох варіантів членування фюзеляжу на відсіки широкофюзеляжного літака

Забезпечення оптимального циклу стиків планера	Оцінка технологічних факторів, бали										Сума балів оцінюваних факторів									
	Перевага при збільшенні випуску	Можливість проведення виробувань у відсіках	Забезпечення транспортності відсіків	Жорсткість відсіків по площинах стиків	Складність встановлення та стиківання відсіків фюзеляжу	Забезпечення найкращих підходів при стиківанні	Раціональність використання виробничих площ	Необхідність використання складного металостіксового оснащення	Обсяг конструкторського доробочання креслень											
Максимальні оцінки факторів, бали											17	19	14	19	30	23	17	20	13	200
 <p>Варіанти членування фюзеляжу</p>	28	17	19	14	19	8	11	8	14	9	13	4	144							
	22	10	18	10	8	11	8	14	9	13	4	144								
	20	15	15	13	15	23	17	10	14	3	151									

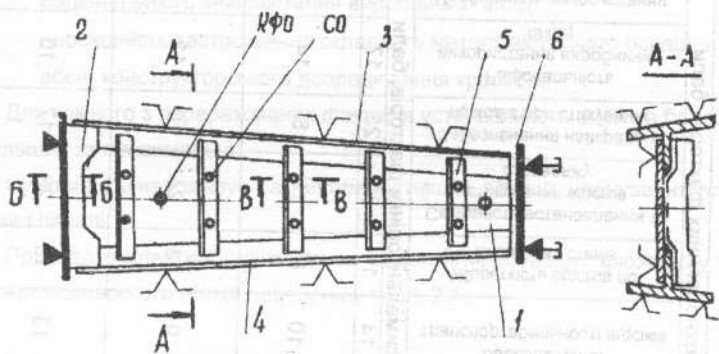


Рис. 2.1. Схема базування при складанні лонжерона: 1 – стінка; 2 – вузол стику; 3, 4 – пояси лонжерона; 5 – профіль жорсткості; 6 – ступельна плита

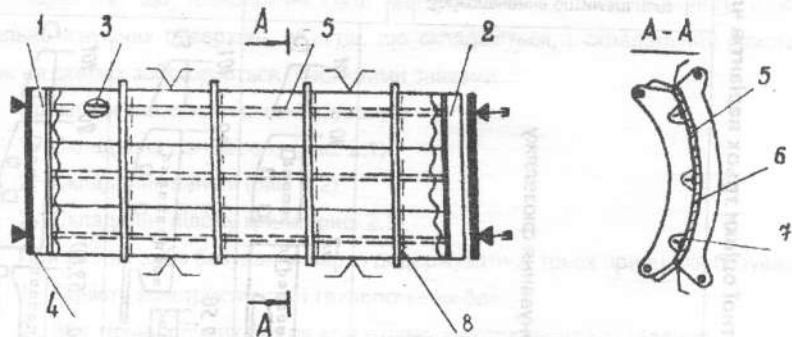


Рис. 2.2. Схема базування при складанні панелі: 1, 2 – вузли стику; 3 – стрингер; 4 – ступельна плита; 5, 6, 7 – обшивки; 8 – шпангоути

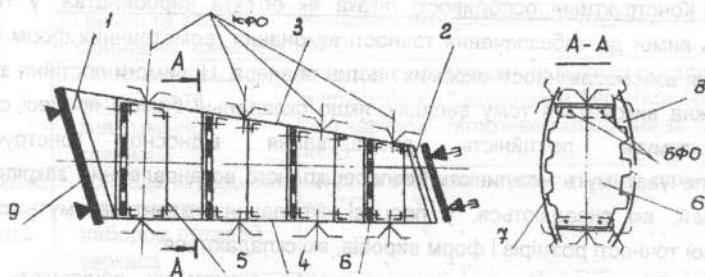


Рис. 2.3. Схема базування при складанні кесонної -астини крила:

- 1, 2 - стикові вузли; 3, 4 - лонжерони; 5 - нервюри; 6 - макетна нервюра; 7, 8 - обшивка (панелі); 9 - ступельна плита

2.4. Вибір методу складання частин планера ЛА

Метод складання характеризує, як базуються і за допомогою яких засобів встановлюються та фіксуються деталі (чи інші підскладання).

Приймаючи принцип використання складальних баз як відмітну особливість складального процесу, в авіабудуванні розрізняють такі основні методи складання (чотири):

- 1) за кресленням (за базовою деталлю) з базуванням по поверхнях посадкових місць деталей, що зчленовуються;
- 2) за базовими лініями, нанесеними на поверхні деталей, одну з яких приймають як основну (базову) для складання виробу;
- 3) у спеціальних складальних пристроях з базуванням на поверхнях деталей, які складаються, і базово-фіксуючих пристроях складальних пристроїв;
- 4) за отворами у деталях, які складаються, і підскладаннях.

Кожний з названих методів складання потребує застосування особливих засобів оснащення, що забезпечують властиву йому ступінь взаємозамінності та точності виробів, що складаються.

Практична реалізація того чи іншого методу складання обумовлюється комплексом факторів, що залежать від конструктивно-технологічних

характеристик, економічної доцільності та виробничих умов виконання виробів, які складаються.

Головні фактори, що впливають на вибір методу складання:

1. Конструктивні особливості літака як об'єкта виробництва, у тому числі рівень вимог до забезпечення точності виконання геометричних форм і розмірів, ступеня взаємозамінності окремих частин планера. Ці вимоги постійно зростають, їх можна виконати в тому випадку, якщо складальні бази в процесі складання: зберігатимуть постійність розташування відносно конструкторських; забезпечуватимуть можливість безперешкодного встановлення і закріплення всіх деталей, які складаються, у процесі складання; гарантуватимуть одержання заданої точності розмірів і форм виробів, які складаються.

2. Обсяг виробництва, що визначає економічну доцільність зазначених первісних витрат на технологічне оснащення виробництва при різних методах складання.

3. Технічний і технологічний рівні сучасного виробництва і перспективи їхнього розвитку, з урахуванням можливостей комплексної механізації й автоматизації складальних робіт, особливо при базуванні за отворами.

Вплив конструктивно-технологічних факторів на вибір методу складання описано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Вплив конструктивно-технологічних факторів на вибір методів складання

Фактор	Характеристика об'єкта складання	Вплив на вибір методу складання
Членування планера ЛА на самостійні частини	1. Розчленований на агрегати	Складання виконується у загальноскладальному пристрої з базуванням "від обшивки" або "від каркаса"
	2. Розчленований на агрегати, відсіки та секції	Використовуються всі методи складання (однак метод складання за УФО обмежений)
	3. Розчленований на агрегати, секції, відсіки, панелі, вузли	Застосовуються всі методи складання, найприйнятніший з них – складання за УФО
Жорсткість елементів конструкції	1. Вузли, панелі та секції жорсткої конструкції	Кращим є використання методів складання за кресленням і за УФО
	2. Вузли, панелі, секції малої жорсткості	Необхідним є метод складання в пристроях з базуванням "від обшивки", "від каркаса". Можливе складання за СО плоских конструкцій

Фактор	Характеристика об'єкта складання	Вплив на вибір методу складання
Геометричні форми	1. Плоскі вузли, панелі	Кращим є застосування складання за СО
	2. Панелі та секції одинарної кривизни	Кращим є використання складання за СО і КФО
	3. Панелі та секції подвійної та знакозмінної кривизни	Кращим є застосування методу складання в пристроях з базуванням "від обшивки" і "від каркаса". Можливе складання за СО і КФО
Конструктивне оформлення внутрішнього набору	1. Складальні одиниці з подовжнім набором деталей каркаса	Широко використовується метод складання за СО
	2. Складальні одиниці з поперечним набором	Широко застосовується метод складання за КФО
	3. Складальні одиниці деталей каркаса змішаної конструкції	Використовуються складання за СО і КФО та інші методи
Характер з'єднання каркаса з обшивкою	1. Деталі каркаса з'єднуються з обшивкою безпосередньо	Можливе складання за УФО, а також використання інших методів
	2. Деталі каркаса з'єднуються з обшивками через компенсатори	Складання за УФО нездійсненне без уведення спеціальних технологічних жорсткостей. Застосовується метод складання в пристрої з базуванням "від обшивки"
Ступінь точності розмірів і форм	1. Об'єкти складання першої зони точності	Перевагу варто віддати методу складання в пристрої з базуванням "від обшивки", "від каркаса"
	2. Об'єкти складання другої зони точності	Можливе широке використання методу складання за УФО та інших методів

Облік обсягів випуску нових виробів і передбачувана тривалість їхнього випуску по роках впливають на вибір методів складання.

Витрати, зазначені в період підготовки виробництва, мають бути такими, щоб досягалася загальна економічна ефективність виробництва.

Мірою економічної доцільності застосування того чи іншого методу складання може служити технологічна собівартість, розрахована для визначених обсягів випуску виробів по роках. Технологічна собівартість за однакових інших умов змінюватиметься залежно від прийнятих методів складання, тому що вони визначають витрати живої й упредметненої праці на складання виробу і вносять значну частку в собівартість виробів, що випускаються. Так, наприклад, при

складанні вузлів і агрегатів літаків ТУ-134 і ІЛ-62 з використанням методу складання за УФО технологічна собівартість знизилася на 45...60% для вузлового складання і на 30...55% - для агрегатного складання порівняно з собівартістю при методі складання в пристроях з базуванням "від обшивки" і "від каркаса". Внаслідок спрощення способів базування при складанні та поліпшення підходів до робочих зон трудомісткість складання зменшилася на 20...30%.

Практика застосування методу складання за УФО і теоретичні розрахунки показують, що цей метод складання завжди найекономічніший. Стимулюючим фактором у використанні цього методу є недостатня точність складання порівняно зі складанням "від обшивки".

У кожного методу складання існують свої особливі вимоги до якості деталей, що поставляються на складання, рівня точності виготовлення і монтажу складального оснащення. Ці вимоги виконуються за допомогою тих засобів, які мають на даний момент авіаційна промисловість і конкретне підприємство.

Сучасний рівень обладнання цехів підготовки виробництва літакобудівних заводів такий, що може забезпечити необхідну точність виготовлення й ув'язки розмірів і форм деталей, що надходять на складання, а також складального оснащення для будь-якого методу складання. Отже, завдання вибору методу складання повинно зважуватися в цих умовах з урахуванням не стільки технічних можливостей сучасного виробництва, скільки економічної доцільності зазначених витрат, а також строків підготовки виробництва.

2.5. Розрахунки очікуваної точності конструкцій планера ЛА

Вирішальними параметрами при виборі методу складання є точність складеної конструкції, що досягається тим чи іншим методом складання, а також забезпечення заданого рівня ув'язки геометричних форм виробу.

2.5.1. Утворення розмірів і форм виробів при складанні

Процес складання – це встановлення складових частин виробу в задане кресленням положення і з'єднання їх між собою з наступним контролем якості складання. Встановлення складових частин виробу (деталей, підскладань) включає процес базування (тобто надання визначеним елементам деталей і підскладань необхідного положення одне відносно одного або відносно складального пристрою у вибраній системі координат) і закріплення деталей і підскладань (тобто прикладення сил і моментів чи введення кінематичних зв'язків) з метою завершення базування і забезпечення постійності положення деталей і

підкладань, досягнутого при базуванні, для виконання всіх наступних технологічних операцій складання.

У результаті здійснення процесу складання як завершального етапу виготовлення виробу він набуває остаточних форм і розмірів.

Точність готового виробу характеризується величиною відхилень геометричних та інших параметрів виготовленого виробу від номінальних параметрів, заданих конструкторськими кресленнями і технічними умовами.

Сумарні величини відхилень утворюються в результаті нагромадження виробничих похибок на всіх етапах здійснення технологічних процесів перенесення геометричних розмірів і форм із першоджерел на деталі та складальні утворення (вузли, секції, агрегати, системи життєзабезпечення літального апарата та ін.).

Похибки, що утворюються при перенесенні початкових (заданих) розмірів і форм із першоджерел на деталь, вузол, відсік, агрегат та інші технічно (і конструктивно) завершені частини літального апарата, залежать від тих технологічних процесів, способів і засобів виготовлення, що використовуються в конкретних виробничих умовах. Специфіка перенесення розмірів і форм із вихідного джерела (креслення, плаза та ін.) на виріб впливає на методику розрахунків очікуваної точності виготовлення і точності ув'язки виробів.

Основні принципи, що істотно впливають на методику розрахунків точності в авіабудуванні:

1. Принцип "зв'язаного утворення форм і розмірів", що базується на застосуванні плазово-шаблонного способу виробництва, коли задані теоретичним і конструктивним плазами форми і розміри виробу копіюються комплексом технологічного контрольно-вимірювального, а потім робочого оснащення. При цьому на кожному етапі перенесення форм і розмірів накопичуються свої, властиві даному етапу похибки виготовлення контрольно-вимірювального і робочого оснащень. Ці похибки знаходять відбиття в остаточних розмірах і формах виробів і мають бути враховані при розрахунках очікуваної точності виробів.

2. Принцип обліку "нульових номінальних розмірів", тобто зазорів і натягів, що утворюються, через похибки, які виникають у процесі складання в місцях взаємного сполучення деталей одна з одною чи деталей зі складальним оснащенням. Поява зазорів (і натягів) є наслідком нагромадження похибок виробів, що сполучаються, у результаті багаторазового перенесення форм і розмірів через контрольно-вимірювальне і робоче оснащення, а також від деформування розмірів і форм при складанні під впливом зовнішніх сил. Без урахування утворення цієї групи похибок неможливо визначити очікувану точність складання виробу.

На остаточні розміри складальних частин планера літальних апаратів (і виробу в цілому) впливає прийнятий метод складання, що характеризується способом і засобами базування виробів, що складаються. Прийнятим методом складання можна частково або майже цілком компенсувати ряд похибок, накопичених при виготовленні деталей, і тим самим вплинути на остаточні розміри виробу, що складається. Так, при методі складання в складальному пристрої з базуванням на зовнішні поверхні обшивки панелей виробу, що складається, основна частка сумарної похибки готового виробу складатиметься з похибки самого складального пристрою, похибок виготовлення обшивки і похибок їхнього базування при складанні, а похибки виготовлення деталей каркаса виробу можуть бути цілком компенсовані за рахунок уведення спеціальних елементів (компенсаторів) між деталями обшивки і каркаса. Тому від правильного вибору методу складання виробів істотно залежать характер і результати очікуваної точності виробів.

Процес установки деталей і підскладань завершується закріпленням (фіксацією) їхнього положення, досягнутого при базуванні. Силовий вплив на деталі та підскладання при закріпленні супроводжується, як правило, переміщеннями або пружним деформуванням елементів деталей, що складаються, і підскладань. Тому похибки базування, що характеризують неузгодженість форм, розмірів і розташування базових поверхонь, що сполучаються при складанні, під впливом прикладених зусиль при фіксації деталей змінюватимуться.

Зміни похибок базування при складанні варто враховувати при розрахунках очікуваної точності введенням поправкового коефіцієнта C_{ϕ} . Коефіцієнт фіксації C_{ϕ} залежить від характеру притиску і набуває значення $0 \leq C_{\phi} \leq 1$, а значення C_{ϕ} – від багатьох факторів, у тому числі й від кроку встановлення базово-фіксуючих пристроїв складального пристрою. Вибір C_{ϕ} здійснюють за статистичними даними або шляхом розрахунку, наприклад, за методикою, викладеною в навчальному посібнику [3].

Оскільки процес складання полягає не тільки в установленні (базуванні та закріпленні в потрібному положенні) деталей і підскладань, але й в їхньому з'єднанні, то будь-який вид з'єднання (заклепками, гвинтами, зварюванням, склеюванням та ін.) супроводжується деформуванням деталей, що з'єднуються, і перекручуванням їх форм. Цей різновид похибок також має бути врахований при розрахунках очікуваної точності виробу.

2.5.2. Класифікація похибок, що визначають точність складання виробів

При визначенні очікуваної точності складання виробів доцільно класифікувати всі види похибок, що можуть вплинути на остаточні розміри виробу і які необхідно врахувати при розрахунках.

Залежно від застосовуваних методів складання похибки розмірів і форм можна розбити на два великих класи:

1) похибки, що залежать від прийнятих методів складання, до числа яких відносять такі групи похибок: базування; базових носіїв форм і розмірів (складальні пристрої чи базові деталі та підскладання), взаємної ув'язки форм і розмірів складальних пристроїв, а також взаємної ув'язки розмірів базових поверхонь;

2) похибки, що не залежать від методу складання, а саме: від деформацій деталей у процесі складання (від клепання, зварювання, клейового зварювання та ін.); спричинені температурними розширеннями деталей, що складаються, навантаженнями від мас власної конструкції виробу і зусиль від інструменту, які прикладаються до конструкції в процесі складання.

При розрахунках очікуваної точності введено такі позначення похибок:

1. Похибки взаємної ув'язки форм і розмірів базових поверхонь двох об'єктів позначають літерою C з індексами при ній, що пояснюють, по яких елементах відбувається ув'язка. Наприклад, $C_{CO(дет.б-дет)}$ означає похибку ув'язки складальних отворів на базовій деталі та деталі, що на неї встановлюється, $C_{пр(вузл-відс)}$ – похибку ув'язки складальних пристроїв для складання вузла і відсіку, куди вузол надходить і встановлюється як готове підскладання.

2. Похибки базових носіїв форм і розмірів (базові деталі, складальні пристрої, базові підскладання і т.д.) позначають літерою δ з індексами при ній, що пояснюють, якому носію належать похибки. Наприклад, $\delta_{дет.б}$ означає похибку базової деталі, $\delta_{пр.вузл}$ – похибку пристрою для складання вузла.

3. Похибки об'єкта складання, спричинені зовнішніми збурюючими факторами (які не залежать від прийнятого методу складання), позначають літерою δ з індексами при ній, що пояснюють, який саме фактор впливає. Наприклад, δ_1 означає похибку об'єкта складання, спричинену температурним впливом на виріб, що складається, $\delta_{кл}$ – похибку, причиною якої була деформація виробу під впливом клепання.

4. Похибки базування позначають літерою δ з індексами при ній, що пояснюють, між якими базовими поверхнями виникає похибка базування.

Наприклад, $\delta_{\text{баз(обш-пр)}}$ означає похибку, що виникає на виробі при базуванні обшивки виробу за базово-фіксуєчими пристроями складального пристрою, $\delta_{\text{без(дет-КФО)}}$ – похибку при базуванні деталей у складальному пристрої за координатно-фіксуєчими отворами.

Можливі види похибок та їхніх позначень наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Класифікація похибок

Група похибок	Вид похибок	Позначення похибок
Похибки базових носіїв розмірів і форм	1. Похибки базової деталі	$\delta_{\text{дет.б}}$
	2. Похибки базового відсіку	$\delta_{\text{відс.б}}$
	3. Похибки складального пристрою для складання вузла	$\delta_{\text{пр.вузл}}$
	4. Похибки складального пристрою для складання відсіку	$\delta_{\text{пр.відс}}$
	5. Похибки складального пристрою для складання агрегату	$\delta_{\text{пр.агр}}$
Похибки ув'язки розмірів і форм	1. Похибки взаємної ув'язки контурів базової деталі та деталей, що на неї встановлюються	$C_{\text{конт(дет.б-дет)}}$
	2. Похибки взаємної ув'язки складальних отворів (СО) базової деталі та деталей, що на неї встановлюються	$C_{\text{СО(дет.б-дет)}}$
	3. Похибки взаємної ув'язки координатно-фіксуєчих отворів (КФО) складального пристрою і встановлюваних деталей (вузлів, відсіків)	$C_{\text{КФО(пр-дет)}}$ $C_{\text{КФО(пр-вузл)}}$ $C_{\text{КФО(пр-відс)}}$
	4. Похибки взаємної ув'язки базово-фіксуєчих отворів (БФО), вузлів, відсіків і агрегатів	$C_{\text{БФО(вузл.б-вузл)}}$ $C_{\text{БФО(відс.б-відс)}}$ $C_{\text{БФО(агр.б-агр)}}$
	5. Похибки взаємної ув'язки складальних пристроїв для двох об'єктів складання: вузол - відсік, відсік – агрегат	$C_{\text{пр(вузл-відс)}}$ $C_{\text{пр(відс-агр)}}$

Група похибок	Вид похибок	Позначення похибок
	6. Похибки взаємної ув'язки контурів і установлювально-фіксуєючих отворів (СО, КФО, БФО) на деталях, вузлах, відсіках, агрегатах	$C_{дет(конт-СО)}$ $C_{дет(конт-КФО)}$ $C_{вузл(конт-КФО)}$ $C_{вузл(конт-БФО)}$ $C_{відс(конт-КФО)}$ $C_{відс(конт-БФО)}$ $C_{агр(конт-БФО)}$
Похибки базування	1. Похибки базування обшивки (панелі) за рубильниками і ложементами складального пристрою 2. Похибки базування деталей каркаса за рубильниками або ложементами складального пристрою 3. Похибки базування обшивки на деталі каркаса 4. Похибки базування за СО, КФО, БФО	$\delta_{баз(обш-пр)} = C_{обш-пр} \cdot C_{\phi}$ $\delta_{баз(кар-пр)} = C_{кар-пр} \cdot C_{\phi}$ $\delta_{баз(обш-кар)} = C_{обш-кар} \cdot C_{\phi}$ $\delta_{баз(СО)} = C_{СО} \cdot C_{\phi}$ $\delta_{баз(КФО)} = C_{КФО} \cdot C_{\phi}$ $\delta_{баз(БФО)} = C_{БФО} \cdot C_{\phi}$
Похибки, спричинені зовнішніми збурюючими факторами	1. Похибки з'єднань (від клепаання, зварювання та ін.) 2. Похибки від температурних деформацій 3. Похибки від деформацій під впливом зовнішніх сил	$\delta_{з'єдн} = (\delta_{кл}, \delta_{зв})$ δ_t δ_p

2.5.3. Розмірні ланцюги для розрахунків точності складання виробів

Для опису процесів утворення розмірів виробів зручно користатися, як і в загальному машинобудуванні, апаратом теорії розмірних ланцюгів. Розмірний ланцюг (за ГОСТ 16319-80) - це сукупність розмірів (ланок ланцюга), які утворюють замкнутий контур. Ланка ланцюга, за допомогою якої ув'язується розмірний ланцюг, називається замикаючою, а всі інші - складовими ланками. Розмірні ланцюги зображують графічно у вигляді схем, що відбивають усі ланки, які беруть участь в утворенні замикаючої ланки.

Аналітично розмірний ланцюг можна подати у вигляді математичного виразу

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i,$$

де A_{Σ} , A_i – замикаючі та складові ланки ланцюга; ξ_i – передатні відношення, що у загальному випадку є частковими похідними $\partial A / \partial A_i$, а для ланцюгів з паралельними ланками $\xi_i = \pm 1$ (для збільшуючих складових ланок $\xi_i = +1$, для зменшуючих – $\xi_i = -1$).

Для зручності використання теорії розмірних ланцюгів залежно від змісту розв'язуваних задач розрізняють конструкторські, технологічні та вимірювальні ланцюги. Технологічні розмірні ланцюги підрозділяють на операційні (для однієї операції), детальні (для опису переносу розмірів при виготовленні деталей), складальні (для опису завершального етапу процесу виготовлення виробу) і повні технологічні розмірні ланцюги для опису всього технологічного процесу виготовлення виробу. Останні включають всі зміни (відхилення) розмірів і форм на всіх етапах їхніх переносів, починаючи з першоджерела і закінчуючи готовим виробом. У зв'язку з тим, що в кінцевому підсумку при визначенні точності виробу нас цікавлять не самі дійсні розміри, а їх відхилення від заданих номінальних розмірів, розмірний ланцюг можна подати і графічно, і аналітично у вигляді розмірного ланцюга похибок:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \delta_i,$$

де δ_{Σ} – сумарна похибка, δ_i – похибка i -ї ланки розмірного ланцюга.

Операційний технологічний розмірний ланцюг описує один етап переносу розмірів. Наприклад, перенос розмірів із конструкторського плаза (КП) на шаблон контрольно-контурний (ШКК) супроводжується похибкою $\delta_{\text{ШКК}} = \delta_{\text{ТП}} - \delta_{\text{ТП-ШКК}}$.

Детальний технологічний ланцюг описує всі етапи утворення розмірів деталі, включаючи й зміни, одержані при виготовленні оснащення. Наприклад, одержання деталей штампуванням по формблоку супроводжуватиметься нагромадженням похибок по наступному ланцюгу:

$$\delta_{\text{ТП}} + \delta_{\text{КП-ШКК}} + \delta_{\text{ШКК-ШВК}} + \delta_{\text{ШВК-ФБ}} + \delta_{\text{ФБ-дет}}$$

У цьому технологічному ланцюзі відбито всі похибки, можливі при переносі розмірів з теоретичного плаза (ТП) на конструктивний плаз (КП), з конструктивного плаза – на шаблон контрольно-контурний (ШКК), із шаблона контрольно-контурного – на шаблон внутрішнього контуру (ШВК), із шаблона внутрішнього контуру – на формблок (ФБ) і з формблока – на готову деталь. Усі ці переходи

відбиваються на схемах переносу ув'язки, які й слід брати як вихідні дані для визначення точності виготовлення деталей.

Складальні розмірні ланцюги описують завершальний етап виготовлення виробу і є більш складними геометричними утвореннями, де необхідно враховувати не тільки складові ланки-розміри, але й ланки-похибки, номінальні розміри яких дорівнюють нулю (зазори, натяги в місцях сполучення базуючих поверхонь і ліній деталей і підскладань), що складаються. Нижче складальні розмірні ланцюги описано докладніше.

2.5.4. Основні аналітичні залежності, які описують етап складання, для визначення очікуваної точності виробів

Наведені нижче аналітичні залежності для визначення очікуваної точності виробів одержані на основі аналізу утворення розмірних ланцюгів при складанні виробів різними методами [1]. При одержанні цих залежностей усі складові ланки розмірного ланцюга були зведені до такого виду відхилень (похибок) розмірів і форм, що практично завжди можуть бути визначені зі структурних схем процесів ув'язки і технологічних операцій виготовлення деталей, підскладань, складальних пристроїв та іншого технологічного оснащення.

Складання в пристрої при базуванні на поверхні деталей каркаса (метод складання "від каркаса"). Цей метод кращий для складання тих частин літального апарата, конструкція яких складається з жорстких деталей каркаса, які з'єднуються безпосередньо з обшивками (або панелями), що мають порівняно малу власну жорсткість. У цьому випадку точність складання виробу в основному визначається точністю виготовлення деталей каркаса і складального пристрою.

Розрахунок точності виробу, що складається методом складання "від каркаса":

$$\Delta_{\text{скл}} = \frac{1}{1-m} [\delta_{\text{пр}} + (C_{\text{пр-кар}} + C_{\text{кар-обш}}) C_{\text{ф}} + \delta_s].$$

Складання в пристрої при базуванні на поверхні обшивок (метод складання "від обшивки"). Більшість сучасних ЛА характеризується підвищеними вимогами до точності виконання аеродинамічних контурів. Складна конфігурація поверхонь обшивок, що виходять на аеродинамічні контури ЛА, призводить до того, що і деталі каркаса виходять складної конфігурації по площинах їх прилягання до обшивок. Це значно ускладнює безпосереднє сполучення поверхонь деталей каркаса з обшивкою, що спричиняє необхідність введення в конструкцію виробів додаткових деталей-компенсаторів або ретельної підготовки місць сполучення шляхом виконання приганяльних робіт. Тому для конструкцій, що

характеризуються підвищеними вимогами до точності виготовлення і незначною власною жорсткістю обшивок (чи панелей), що виходять на аеродинамічні контури, кращим є метод складання "від обшивки".

Розрахунок очікуваної точності складання виробу при використанні методу складання "від обшивки":

$$\Delta_{\text{скл}} = \frac{1}{1-m} (\delta_{\text{пр}} + C_{\text{обш-пр}} \cdot C_{\text{ф}}).$$

Складання в пристрої при базуванні за координатно-фіксуєчими отворами (КФО). Краща область застосування складання в пристроях з базуванням за КФО – це частини планера ЛА, конструктивно виконані з жорстких деталей каркаса, що безпосередньо сполучаються з обшивками, або з тих, що мають у своєму складі жорсткі вузли (нервюри, лонжерони, балки), які можуть використовуватися як основні базові елементи при складанні виробів. У цьому випадку КФО виконують заздалегідь у базових деталях і вузлах та застосовують КФО як бази при складанні виробів. Точність складання за КФО в першу чергу залежатиме від точності їх розташування в елементах складальних пристроїв і в базових складальних одиницях.

Розрахунок очікуваної точності складання виробу при використанні базування деталей і вузлів за КФО:

$$\Delta_{\text{скл}} = \frac{1}{1-m} \left[\delta_{\text{пр}} + C_{\text{дет.б(КФО-конт)}} + (C_{\text{КФО(кар-пр)}} + C_{\text{обш-кар}}) C_{\text{ф}} - \delta_s \right].$$

Складання при базуванні за складальними отворами (СО). Складання за СО рекомендується для вузлів і панелей планера ЛА, що мають просту конфігурацію і єдиною (як правило) базову деталь. Складальні отвори виконуються заздалегідь у деталях, що попарно сполучаються, з яких одну приймають за базову, а всі інші встановлюють на неї в заданій послідовності. Точність вузла чи панелі, складених за СО, залежить від точності базової деталі та точності взаємної ув'язки СО на базовій і на тих, що приєднується до неї, деталях, звідки

$$\Delta_{\text{скл}} = \frac{1}{1-m} (\delta_{\text{дет.б}} + C_{\text{дет(конт-СО)}} + C_{\text{СО(дет.б-дет)}}).$$

Складання при базуванні за базово-фіксуєчими отворами (БФО). Основна відмінність складання за БФО від складання за СО полягає в тому, що за СО вузли і панелі складають з окремих деталей, а за БФО відсіки й агрегати – з попередньо складених вузлів і панелей, БФО виконують у вузлах і панелях заздалегідь і надалі використовують їх для складання виробу.

При складанні за БФО один чи кілька вузлів приймають як базові, установлюють їх (будь-яким способом) у вихідне положення, а на них - всі інші вузли і панелі.

Таким чином, точність виробу визначатиметься точністю вузлів і точністю взаємної ув'язки БФО, розташованих на вузлах, що складаються:

$$\Delta_{\text{скл}} = \frac{1}{1-m} \left(\delta_{\text{вузл}} + C_{\text{БФО(вузл.б-вузл)}} + C_{\text{пр(вузл.б-вузл)}} \right).$$

У наведених вище виразах для розрахунків очікуваної точності виробу введено коефіцієнт m , що враховує похибки, які не залежать від прийнятого методу складання. В результаті статистичних даних коефіцієнт m може бути прийнятий рівним 0,3...0,4 при складанні вузлів і панелей і 0,1...0,2 - при складанні відсіків і агрегатів. Всі інші складові правої частини рівняння можуть бути визначені розрахунками.

Для визначення коефіцієнта фіксації $C_{\text{ф}}$ доречно скористатися формулою

$$C_{\text{ф}} = \frac{\Delta_{\text{скл}}(1-m) - \delta_{\text{пр}}(1-m)}{C_{\text{пр-дет}}},$$

де $\Delta_{\text{скл}}$ - точність складання вузла, яку при розрахунку $C_{\text{ф}}$ можна прийняти рівною $[\Delta_{\text{вир}}]_{\text{ТУ}}$; $C_{\text{пр-дет}}$ - похибка ув'язки розмірів складального пристрою для складання вузла і базової деталі (обшивки, шпангоута, пояса лонжерона та ін.), що сполучається з БФУ пристрою, $\delta_{\text{пр}}$ - точність складального пристрою для складання вузла.

Як отвори, що використовуються для базування в процесі складання і визначають різновиди методів складання, можуть бути прийняті отвори, спеціально виконані в деталях і елементах складальних пристроїв для базування при складанні (СО - складальні отвори в деталях, КФО - координатно-фіксуючі отвори в деталях, вузлах, панелях і базово-фіксуючих пристроях, БФО - базово-фіксуючі отвори у вузлах, відсіках, агрегатах), отвори, призначені для інших цілей (РО - отвори розніманих у деталях і вузлах виробів, КО - контрольні отвори, БО - базові отвори в деталях, а також конструктивні отвори під заклепки, болти і т.п. за ОСТ 1.42064-80).

2.5.5. Методика розрахунку розмірних ланцюгів

Розрахунками очікуваної точності виконання форм і розмірів виробів вирішуються два завдання:

1) на підставі заданого загального допуску на виріб у цілому розраховують допуски на всі вхідні підскладання і деталі, що впливають на утворення сумарного допуску на виріб, а також допуски на спеціальне контрольно-вимірвальне і технологічне оснащення, за допомогою якого виготовляються деталі, підскладання і виріб у цілому (це завдання одержало назву "пряме");

2) виходячи із заданих кресленням і технічними умовами або нормованих допусків на виконання окремих технологічних процесів виготовлення деталей, підскладань, а також на виготовлення технологічного оснащення, визначають сумарну остаточну величину очікуваної похибки виробу (це завдання одержало назву "зворотне").

При розрахунках розмірних ланцюгів згідно з наведеними вище залежностями для визначення очікуваної точності виробу використовують два методи підсумовування похибок:

1. Метод максимуму-мінімуму, що виходить з найнесприятливішого для замикаючої ланки сполучення граничних розмірів складових ланок розмірного ланцюга. Тут замикаючий розмір при сполученні найбільших збільшуючих і найменших зменшуючих складових розмірних ланцюгових ланок матиме найбільше, а при сполученні найменших збільшуючих і найбільших зменшуючих складових ланок – найменше значення. Звідси

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{B\Sigma} &= \sum_{i=1}^n \xi_i \Delta_{B_i} - \sum_{i=1-n}^{m-1} \xi_i \cdot \Delta_{H_i}, \\ \Delta_{H\Sigma} &= \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \Delta_{H_i} - \sum_{i=1-n}^{m-1} \xi_i \cdot \Delta_{B_i}, \end{aligned} \right\}$$

де Δ_B і Δ_H - граничні відхилення (верхнє і нижнє) ланок розмірного ланцюга; n - кількість ланок, які збільшують; $(1-n)$ - кількість ланок, які зменшують; m - загальна кількість ланок розмірного ланцюга.

2. Теоретико-ймовірнісний метод, що базується на положеннях і формулах теорії ймовірностей у їх застосуванні до виробничих похибок як випадкових величин, що підпорядковуються одному із законів розподілу. Теоретико-ймовірнісний метод відповідає неповній (частковій) взаємозамінності, тобто не гарантує повного виконання умови $\Delta_{\Sigma \text{розр}} < [\Delta_{\Sigma}]_{\text{ТУ}}$, і можливий деякий відсоток виходу дійсних розмірів за межі розрахункових.

Основними ймовірнісними характеристиками випадкових величин є:

- середнє значення випадкових величин як характеристика центру групування теоретичного розподілу;
- середньоквадратичне відхилення як характеристика розсіювання теоретичного розподілу відносно середнього значення (центру групування).

Скориставшись цими характеристиками, можна визначити граничні відхилення:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{B\Sigma} &= \Delta_{O\Sigma} + \delta_{\Sigma}, \\ \Delta_{H\Sigma} &= \Delta_{O\Sigma} - \delta_{\Sigma}. \end{aligned} \right\}$$

З цієї формули випливає, що можливі три випадки розташування розрахункових відхилень відносно номінального значення:

$\Delta_{O\Sigma} = 0$ – поле похибок розташовується симетрично відносно номінального розміру;

$\Delta_{O\Sigma} > 0$ – поле похибок зміщено вправо відносно номінального розміру;

$\Delta_{O\Sigma} < 0$ – поле похибок зміщено вліво відносно номінального розміру.

Для розрахунків $\Delta_{O\Sigma}$ і δ_{Σ} використовують напівемпіричні формули, тому що вони містять деякі поправкові коефіцієнти:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{O\Sigma} &= \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i (\Delta_{O_i} + \alpha_i \cdot \delta_i), \\ \delta_{\Sigma} &= \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta_i^2}, \end{aligned} \right\}$$

де $\Delta_{O\Sigma}$, Δ_{O_i} – координати середини поля відхилень замикаючої та складових ланок розмірного ланцюга; δ_{Σ} , δ_i – половина поля відхилень замикаючої та складових ланок розмірного ланцюга; α_i – коефіцієнти відносної асиметрії складових ланок розмірного ланцюга; K_{Σ} , K_i – коефіцієнти відносного розсіювання замикаючої та складових ланок розмірного ланцюга.

Коефіцієнти α і K (табл. 2.4) визначають або розрахунковим шляхом за методикою, викладеною в ГОСТ 19415-74, або за довідковими таблицями [1].

Значення коефіцієнтів α і K

Зміст технологічної операції перенесення розмірів	Точність виконання розмірів, мм	Усереднені значення коефіцієнтів	
		α	K
Розкреслювання конструкторського плаза (КП) за теоретичним плазом (ТП)	0,1...0,2	0,0	1,0
Виготовлення робочих шаблонів – контрольно-контурного (ШКК) за конструкторським плазом (КП)	$\pm 0,15$	0,5	1,4
Виготовлення робочих шаблонів за ШКК із припилюванням контурів	$\pm 0,15$	0,5	1,4
Виготовлення формотвірного оснащення (формблоків, оправки) за шаблонами (ШВК, ШКС) із припилюванням контурів	$\pm 0,1...0,2$	0,5	1,4
Виготовлення об'ємних пуансонів (для обтягування деталей і контрольно-довідних робіт) за шаблоном з ручним доведенням контурів	$\pm 0,1...0,2$	0,5	1,4
Виготовлення рубильників і ложементів складальних пристроїв за шаблонами із припилюванням контурів	$\pm 0,15$	0,5	1,4
Виготовлення монтажних-фіксуючих отворів у рубильниках і ложементах за плазом-кондуктором	$\pm 0,1$	0,0	1,0
Виготовлення базово-фіксуючих пристроїв (БФУ) складальних пристроїв за монтажним еталоном	0,1	0,2	1,2
Виготовлення контурно-твірних деталей штампуванням:			
- на формблоках гумою,	$\pm 0,5...1,5$	0,2	1,2
- на оправках вибивачем,	$\pm 0,2$	0,2	1,2
- на штампах під падаючим молотом	+0,3	0,2	1,2
Виготовлення обшивок на обтяжних пресах	+0,3	0,2	1,2
Виготовлення деталей на профільно-згинальних пресах	+0,5	0,2	1,2
Утворення отворів СО, КФО, БФО свердлінням по кондукторах	$\pm 0,05$	0,0	1,0

Загальний порядок розрахунку очікуваної точності виробу:

1. Складають ескізи перетинів виробу, вибраних для розрахунку точності.
2. Визначають розмірний ланцюг для кожного перетину.
3. Складають загальне рівняння повного розмірного ланцюга залежно від прийнятого методу складання.
4. Установлюють величини допусків (відхилень) на всі складові ланки розмірного ланцюга.
5. Визначають (або вибирають за таблицями) значення коефіцієнтів α і K .

6. Знаходять координати середини полів допусків (відхилень) усіх складових ланок розмірного ланцюга.

7. Обчислюють значення половин допусків складових ланок розмірного ланцюга за формулою $\delta_i = \frac{\delta_{Ві} - \delta_{Ні}}{2}$.

8. Розраховують очікувані граничні значення відхилень $\Delta_{В\Sigma}$, $\Delta_{Н\Sigma}$ виробу.

9. Одержані розрахунковим шляхом значення відхилень порівнюють із заданими кресленням або технічними умовами. При цьому повинна виконуватися нерівність

$$\Delta_{\Sigma \text{ расч}} \leq [\Delta_{\Sigma}]_{\text{ТУ}}$$

Якщо ця нерівність не дотримується, варто перейти до іншого методу складання, що забезпечує більшу точність.

Теоретико-ймовірнісний метод розрахунку дає можливість визначити без надмірних запасів допуски на складові ланки розмірного ланцюга, а тому й зменшити величини допусків замикаючої ланки при незначному відсотку ризику незабезпечення взаємозамінності по розрахункових параметрах виробу.

У результаті технологічний процес перенесення вихідних (креслярських чи плазових) розмірів по всьому ланцюгу взаємозалежних етапів супроводжуватиметься значно меншими витратами через можливість використання більш широких допусків на всі складові ланки технологічного розмірного ланцюга.

У випадку, коли необхідно перерозподілити заданий допуск $[\Delta_{\Sigma}]_{\text{ТУ}}$ на виріб між складовими ланками розмірного ланцюга (наприклад, знати, з якою точністю варто виготовляти вузли і деталі, що надходять на складання відсіку чи агрегату, щоб при цьому був забезпечений заданий допуск на відсік чи агрегат, або задати допуск на виготовлення оснащення і взаємну ув'язку їхніх розмірів між собою), використовують який-небудь з методів вирішення прямого завдання):

1) однакового впливу, коли допуск замикаючої ланки рівномірно розподіляється між складовими ланками розмірного ланцюга;

2) однакових квалітетів точності, коли на всі складові ланки розмірного ланцюга (незалежно від технологічного процесу їх одержання) призначають допуски одного квалітету;

3) пробних розрахунків чи підбору, коли допуски на вхідні ланки призначаються на підставі практичних величин, виходячи з конструктивних і технологічних розумінь.

Усі ці способи повинні задовольняти умови перевірки шляхом вирішення зворотного завдання.

2.6. Розробка технологічних схем складання конструкцій ЛА

2.6.1. Вибір послідовності встановлення складальних елементів при складанні

Схема складання ЛА є основним технологічним документом, на підставі якого розробляються схеми базування і технологічні процеси складання вузлів, панелей, секцій, агрегатів з урахуванням їх положення в загальній схемі складання. Технологічна схема визначає порядок складання окремих частин планера ЛА і виконання операцій установаження складальних одиниць (деталей і підскладань). Згідно із загальною технологічною схемою складання ЛА впливає, що тільки вузли і панелі складають з елементарних деталей, а всі інші об'єкти – з окремих деталей і в сполученні з іншими підскладаннями (секції та відсіки – за участю вузлів і панелей, агрегати – вузлів, панелей, секцій і відсіків, агрегати і планер у цілому – всіх попередніх складань).

Послідовність установаження окремих елементів складання і об'єднання їх в єдине ціле здійснюється згідно зі схемою складання в строгій черговості. Послідовність установаження деталей (і підскладань) залежить від вибору базових деталей, складальних баз на цих деталях і деталей, що приєднуються до них, від геометричної можливості нашарування встановлюваних деталей на базову деталь, а також від доцільності прийнятих технологічних рішень.

Ступінь диференціації технологічного складання ЛА залежить від розчленування планера на конструктивно самостійні та технологічно закінчені частини, а також від обсягу випуску ЛА.

Загальний підхід при складанні схем складання полягає у виконанні таких правил:

- 1) у конструкції виробу, який складається, вибирають базову деталь і встановлюють послідовність нашарування на неї інших деталей (і підскладань) у процесі складання;
- 2) як основні базові деталі вибирають такі, що мають найбільшу власну жорсткість і забезпечують задані якості конструкції (наприклад, щоб якісними були аеродинамічні контури, як базові деталі приймають обшивки, що утворюють ці контури);
- 3) схема складання повинна відбивати ієрархію структурного складу виробу (починаючи від вузлів, панелей, секцій, відсіків і закінчуючи агрегатами і планером у цілому);
- 4) схему складання зображують у вигляді графічної схеми з позначенням переліку креслярських номерів деталей (і підскладань), а також технологічних засобів складання;

5) послідовність розташування деталей (і підкладань) на схемі-складанні має бути такою, в якій вони будуть установлюватися при складанні.

Технологічну схему складання вузлів типу лонжеронів, нервюр, шпангоутів, конструктивно оформлених у вигляді плоских інструкцій, що мають у своєму складі опорні силові пояси. (3,4), з'єднані стіною (1) із силовими вузлами стикування (2) і стояками (5), показано на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Схема складання лонжерона

Послідовність установлення деталей при складанні згідно з цією схемою така: першими на складання подають пояси (3, 4), прийняті за базові елементи; встановлюють пояси в правильне складальне положення за базами зовнішніх поверхонь поясів і базово-фіксуючими ложементами складального пристрою; після закріплення поясів фіксаторами встановлюють стінку (1), базуючи її на поверхні вертикальних стінок поясів і на штирі-фіксатори складальних отворів; стінку притискають до поясів за допомогою фіксаторів і встановлюють стояки (5) або за складальними отворами, або за рисками на ложементах складального пристрою; стикові вузли (2) базують на поверхню (або на стикові отвори) контрвузлів-фіксаторів складального пристрою.

Панелі (див. рис. 2.2), що складаються зі стрингерів (3), напівшпангоутів (8) і стикових вузлів (1, 2), з'єднаних з обшивкою (5, 6, 7), складають у складальних пристроях за двома варіантами схем складання (рис. 2.5).

У першому варіанті (рис. 2.5,а) за базову деталь приймають обшивку, її базують у складальному пристрої на зовнішню поверхню і відповідну поверхню ложементів складального пристрою. Після притиснення обшивки до ложементів на неї встановлюють стрингери, базуючи їх на вирізи в притисних рубильниках або по складальних отворах, напівшпангоути по рубильниках – на обшивку; стикові вузли – на поверхні контрвузлів-фіксаторів складального пристрою.

У другому варіанті схеми складання (рис. 2.5,б) як базові деталі приймають напівшпангоути (вони повинні мати достатню власну жорсткість), їх базують за отворами у стінках напівшпангоутів і закріплюють фіксаторами; до обшивки притискають і кріплять технологічними фіксаторами стрингерний набір (стрингери попередньо мають бути покладені у вирізи напівшпангоутів); стикові вузли встановлюють за базами-ложементами складального пристрою.



а



б

Рис. 2.5. Схеми складання панелі

Таким чином, із наведених типових схем складання вузлів і панелей у складальному пристрої впливає, що залежно від прийнятої послідовності устансування деталей (і підскладань) змінюються їх базування у процесі складання і бази для устансування, а тому й технічні рішення щодо конструкції складального пристрою.

Вплив послідовності складання і складу складальних елементів (деталей і підскладань) на способи базування і конструкцію складального пристрою при складанні секцій, відсіків і агрегатів планера ЛА виявляється ще більш істотним.

Нижче описано схеми складання відсіків крила (див. рис. 2.3), що залежать від послідовності складання і вибраних складальних баз.

На рис. 2.6, а показано схему складання, коли за базову поверхню приймають зовнішні обводи панелей. На складання надходять попередньо складені панелі, лонжерони, силові нервюри, рядові нервюри, лючки і вузли навішення засобів механізації.

Послідовність складання згідно з наведеною схемою така: першими встановлюють у складальний пристрій верхні панелі відсіку крила, базуючи на зовнішні та відповідні поверхні рубильників пристрої; після фіксації верхніх панелей у складальному пристрої встановлюють передні та задні лонжерони, приймаючи за базу поверхні поясів лонжеронів і внутрішні поверхні обшивок, а також фіксатори вузлів стику; закріпивши лонжерони в пристроях фіксаторами, встановлюють силові та рядові нервюри, базуючи їх на поверхні поясів і внутрішні поверхні обшивок, а також на вертикальні площини стояків лонжеронів (нервюри закріплюють технологічними фіксаторами). Далі займаються встановленням нижніх панелей відсіку крила, базуючи їх на поверхні поясів нервюр і лонжеронів, а також на базові поверхні рубильників складального пристрою (якщо при цьому виникає необхідність у компенсації можливих зазорів між поверхнями панелей, які сполучаються, нервюр і лонжеронів, то вводять спеціальні компенсуючі елементи), потім - вузлів навішення засобів механізації крила, базуючи їх на контрвузли-фіксатори складальних пристроїв; лючки технологічних прорізів (якщо вони не встановлені заздалегідь на панелях) розміщують або за розміткою на панелях, або за рисками на базово-фіксуючих приладах пристрою; заштита задньої частини відсіку крила встановлюють і кріплять за спеціальними базово-фіксуючими приладами пристрою.

Складання відсіку крила з базуванням на зовнішню поверхню обшивки доцільно застосовувати в тому випадку, якщо в конструкцію відсіку введено спеціальні елементи-компенсатори, тобто між поверхнями панелей, які сполучаються, і лонжеронів, панелей та нервюр введено як додатковий елемент прокладки або застосовано розрізні нервюри і лонжерони.

У випадку, якщо за базові елементи відсіку крила приймають лонжерони і силові нервюри, а тому базовими поверхнями є поверхні їх поясів, схема складання буде такою, як показано на рис. 2.6,б.



Рис. 2.6. Схеми складання відсіку крила

Послідовність складання згідно з наведеною схемою така: спочатку має бути складено каркас відсіку крила, для чого в першу чергу в складальний пристрій встановлюють лонжерони, базуючи їх на поверхні поясів і стикові вузли по відповідних поверхнях базово-фіксуючих приладів пристрою (ложементів і контрвузлів, фіксаторів вузлів стику); після закріплення лонжеронів у складальному пристрої здійснюють установлення силових і рядових нервюр, базуючи їх на поверхні поясів нервюр і рубильників складального пристрою, а також на поверхні стінок нервюр і стояків на лонжеронах; на складений таким способом каркас установлюють вузли навішення засобів механізації крила за спеціальними контрвузлами-фіксаторами складального пристрою, потім по черзі встановлюють верхні та нижні панелі, базуючи їх на поверхні поясів лонжеронів і нервюр.

У випадку, коли за складальні (основні) бази вибирають отвори, що складають певну систему базування для всіх елементів виробу, що складається, схема складання відсіку крила може бути такою, як показано на рис. 2.6, в. Першими в складальний пристрій за координатно-фіксуючими отворами, заздалегідь просвердленими у поясах, і відповідними базовими отворами у базово-фіксуючих вузлах пристрою встановлюють лонжерони, після закріплення їх у пристрої – силові та рядові нервюри, при цьому силові нервюри базують по поверхнях їхнього стику на відповідні поверхні контрвузлів-фіксаторів складального пристрою, а рядові нервюри – за базово-фіксуючими отворами у стінках нервюр і поясах лонжеронів. На складений таким способом каркас відсіку крила за відповідними вузлами-фіксаторами пристрою спочатку встановлюють вузли навішення механізації крила, а потім – за базово-фіксуючими отворами у панелях і лонжеронах (або за базовими поверхнями нервюр і лонжеронів) – панелі.

Схеми складання агрегатів планера (фюзеляжу, крила, оперення) принципово не відрізняються від схеми складання відсіків, якщо агрегати складають з окремих вузлів і панелей. У випадку, якщо агрегати складають з технологічно закінчених відсіків, схема складання значно спрощується (рис. 2.7): з числа відсіків, що входять до конструкції агрегату, вибирають найжорсткіший, до якого приєднують більшість вхідних відсіків, і його приймають за базовий.

Базовий відсік установлюють першим у складально-стикувальному пристрої. У даному випадку базовим є центроплан, на який кріплять носову частину (відсік) фюзеляжу, потім пристиковують середню частину (відсік) фюзеляжу і в останню чергу – його хвостову частину (відсік). Базування відсіків у стикувальних стендах здійснюється, як правило, за площинами стиків або зовнішніми поверхнями відсіків.



Рис. 2.7. Схема складання фюзеляжу з готових відсіків

Відмітні риси наведених схем складання очевидні. У першому випадку як базові поверхні, що в остаточному підсумку визначають точність і взаємозамінність складених виробів, використовують зовнішні поверхні, що виходять на аеродинамічний контур (поверхні обшивок), а тому зумовлюють і вибір базових елементів конструкції виробів, тобто формотвірні панелі. В другій схемі застосовуються внутрішні поверхні деталей каркасів, що впливають на точність аеродинамічних поверхонь побічно (як базові елементи конструкції вибирають лонжерони, нервюри, шпангоути). У третьому випадку використовуються системи спеціальних отворів (або з числа конструкторських), які виконуються у найжорсткіших елементах конструкцій планера - лонжеронах, нервюрах, панелях, шпангоутах, вузлах рознімань і стиків. Очевидно також, що вибір тих чи інших частин конструкції планера ЛА як базових і використання різних їхніх поверхонь як складальних баз істотно впливають на конструктивне оформлення базово-фіксуючих приладів складальних пристроїв.

Наведені схеми складання можуть розглядатися лише як окремі приклади, що пояснюють порядок складання при виборі тих чи інших базових деталей і способів їх базування. Різноманітність практичних схем складання залежить від конструктивно-технологічних особливостей виробів, а можливість їхнього використання - від забезпечення необхідної точності та взаємозамінності, досягнення максимального економічного ефекту за рахунок скорочення витрат на оснащення і створення умов більш продуктивної праці при складанні виробів.

Різні варіанти схем складання відрізняються обсягами технологічного оснащення, ступенем складності складальних пристроїв, можливістю використання засобів механізації й автоматизації складального процесу, числом одночасно зайнятих робітників, циклом складання виробів.

Статистика показує, що найбільшу питому вагу в загальних витратах для різних схем складання мають витрати на створення й експлуатацію складальних пристроїв.

2.6.2. Моделювання послідовності встановлення елементів конструкції при складанні

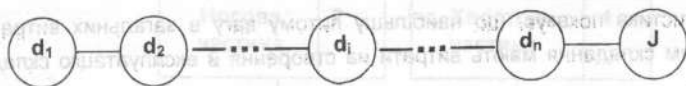
Конструкцію ЛА можна розглядати з математичної точки зору як множину елементів (деталей і підскладань), упорядкованих просторовою геометричною формою, і як єдине ціле. Множина елементів конструкції ЛА в процесі складання, зчленовуючися один з одним безпосередньо (або посередньо, за допомогою проміжних елементів), у певних місцях сполучень утворюють задану просторово-геометричну конфігурацію виробу. У такому випадку для моделювання послідовності встановлення елементів конструкції й опису відношень між установлюваними елементами можна використовувати апарат теорії графів.

Графом G множини елементів V , між якими існує відношення U , називають пару множин $\{V(G), U(G)\}$, з яких одну множину $V(G)$ іменують вершинами графа, а другу $U(G)$ - ребрами графа, що зв'язують між собою вершини. У даному випадку множина $V(G)$ - це елементи конструкції ЛА (деталі, вузли, панелі, секції, агрегати, планер), а множина $U(G)$ - сполучення (зв'язки) між елементами конструкції.

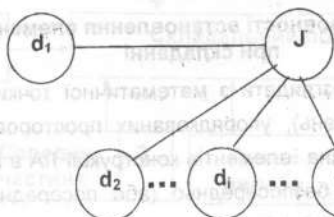
Модель послідовності встановлення елементів конструкції в процесі складання може бути описана мовою теорії графів таким чином.

Подамо конструкцію виробу J , що складається, у вигляді $N(d_i, V_j)$ множини окремих d_i деталей і V_j підскладань. Зв'язок між деталями d_i і підскладаннями V_j відповідає характеру їхніх сполучень у конструкції виробу. Оскільки конструкція ЛА являє собою єдине ціле, граф сполучення завжди зв'язний, тобто будь-яка пара його вершин може бути з'єднана ланцюгом. Граф $G(J)$, що відбиває інформацію про реальні конструктивні зв'язки між деталями d_i і підскладаннями V_j і виражає співвідношення характеру сполучень (зв'язків) C_{ij} , називають графом сполучень $G(N_{ij}, C_{ij})$.

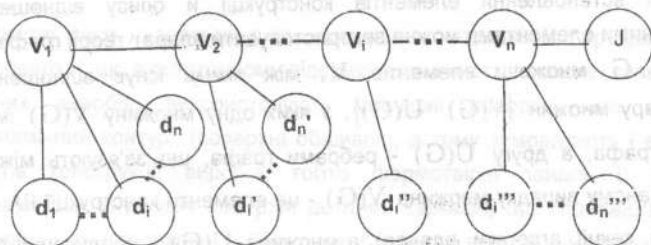
Залежно від конструктивних особливостей виробу граф сполучень $G(N_{ij}, C_{ij})$ може мати вигляд лінійного ланцюга, зірки, дерева або довільний вигляд (рис. 2.8).



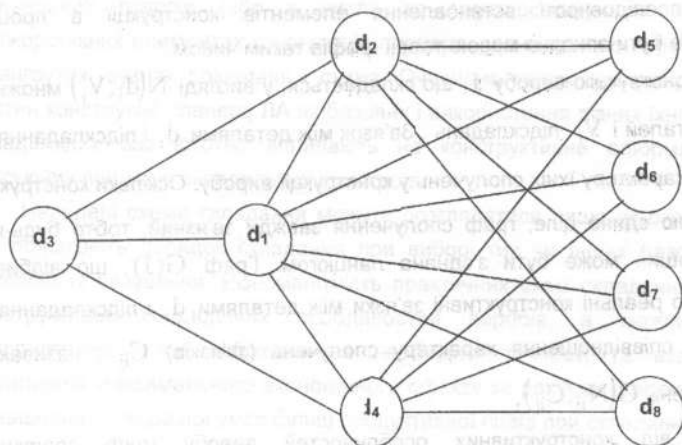
а



б



в



г

Рис. 2.8. Різновиди графів отулень елементів конструкції виробу:
а - лінійний ланцюг; б - зірка; в - дерево; г - довільний граф

Граф сполучень показує можливі зв'язки між елементами виробів, але не відображує конструктивних і технологічних обмежень. Тому для побудови технологічної схеми складання, що показує послідовність і порядок нашарування деталей і підскладань у процесі складання, недостатньо мати тільки граф сполучень. Необхідно ще знати й конструктивні обмеження, що враховують вплив характеру просторового взаємозв'язку елементів конструкції на можливість їхнього встановлення при складанні (багат шаровість, замкнуті об'єми), технологічні обмеження, що беруть до уваги способи базування і вибір базових деталей при складанні, закінченість виконання технологічного процесу, а також організаційні обмеження, що стосуються наявності трудових ресурсів і вільних робочих зон при складанні.

Конструктивні обмеження зводяться до того, що за характером зв'язків деталей у конструкції неможливо при складанні деякі з них установити в складальне положення раніше інших, тобто сама конструкція диктує в певних випадках порядок нашарування деталей у процесі складання.

Математично конструктивні обмеження можуть бути сформульовані так: для деяких множин деталей $GCG(N_{ij}, C_{ij})$ заздалегідь відомі множини сполучень $C_{ij}(\tau)$, що мають бути виконані не пізніше початку виконання одного зі сполучень $C_{ij}(\tau)$ множини Γ , тобто

$$UC_{ij}(\tau) \supset C_{ij}(\Gamma), \tau \in \Gamma'.$$

Технологічні обмеження також означають, що деяка множина сполучень через технологічну необхідність має бути цілком виконана до початку наступних сполучень, що логічно можна описати у вигляді обмежень порядку вмикання, тобто

$$C_{(ij)m} \in U(C_{ij})_n,$$

де $U(C_{ij})_n$ - множина дуг сполучень, що передують $C_{(ij)m}$ у графі $G(N_{ij}, C_{ij})$.

З урахуванням зазначених обмежень можна перетворити граф сполучень $G(N_{ij}, C_{ij})$ у граф послідовності складання. На прикладі складання лонжерона (див. рис. 2.4) покажемо процедуру перетворення графа сполучень у граф складального процесу (рис. 2.9). Припустимо, що складання почато з установлення верхнього пояса (n_1) на стінку, приймаючи за базову деталь стінку лонжерона.

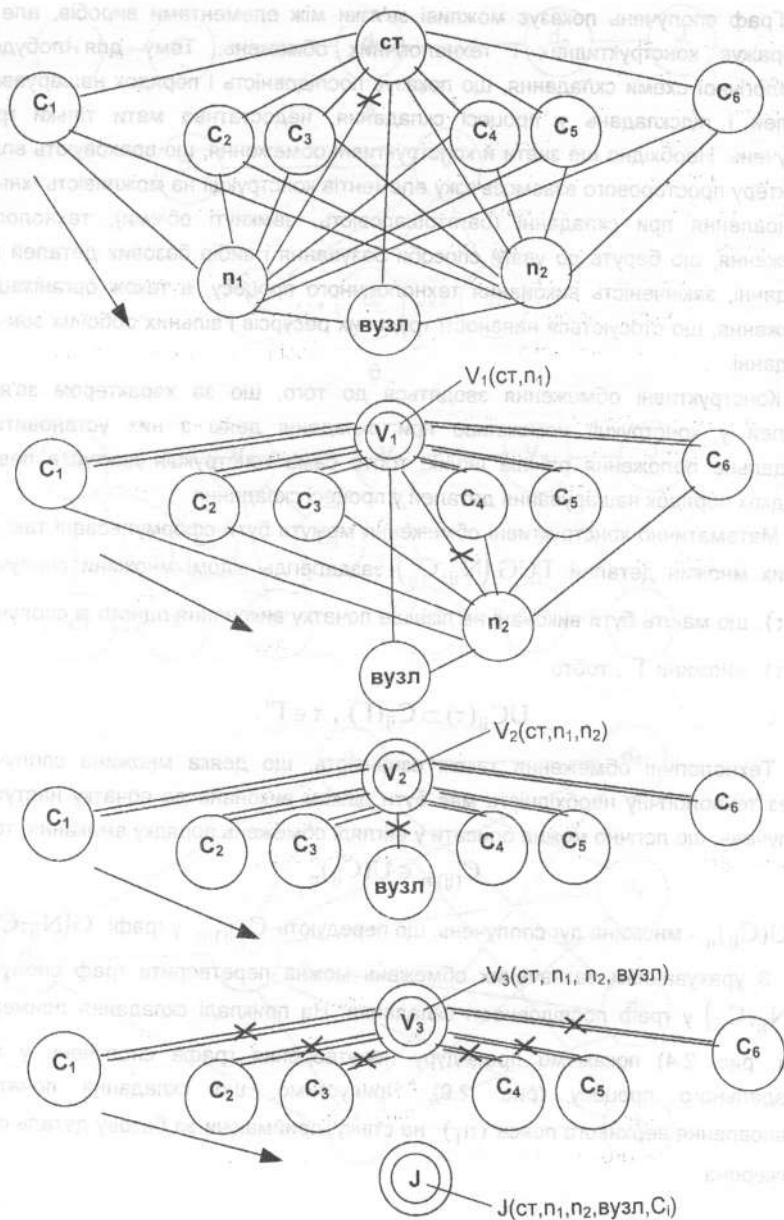


Рис. 2.9. Схема стягивання графа сполучення

У графі сполучень лонжерона слід вилучити ребро $C(\text{ст}, n_1)$, внаслідок чого утвориться підскладання $V_1(\text{ст}, n_1)$. Далі на стінку встановлюють нижній пояс (n_2), у графі сполучень вилучають ребро $C(\text{ст}, n_2)$ – утвориться підскладання $V_2(\text{ст}, n_2)$. Оскільки стиковий вузол сполучається з трьома деталями (поясами і стінкою), то після їхнього з'єднання і вилучення ребра $C(\text{ст}, \text{вузол})$ виникає підскладання $V_3(\text{ст}, n_1, n_2, \text{вузол})$. Після утворення підскладання V_3 можна приступити до установлення стояків (C_1, C_2, \dots, C_j) , послідовно вилучаючи всі ребра $C(\text{ст}, n_1, n_2, C_j)$. У результаті граф сполучень перетвориться в одну вершину, яка у формалізованому вигляді й буде являти собою складений виріб $J(\text{ст}, n_1, n_2, \text{вузол}, C_j)$.

Процес стягування (згортання) графа сполучення $G(N_{ij}, C_{ij})$ можна тепер подати (рис. 2.9) у вигляді нового графа $S(V_{ij}, \sigma_{ij})$, в якому вершинами будуть підскладання $V_1, V_2, \dots, V_n, \dots, J, S$, а ребрами – співвідношення σ_{ij} між ними (σ – це порядок вмикання елементів конструкції виробу J в послідовності їхнього установлення).

Якщо в графі $S(V_{ij}, \sigma_{ij})$ указати порядок з'єднання вершин, тобто замінити ребра дугами, то цей граф являтиме собою орграф з відсутніми циклами. Рух уздовж шляхів одержаного орграфа, починаючи з кінцевої вершини J , повинен відповідати схемі розбирання виробу, а в зворотному напрямку – схемі складання. Вилучення будь-якої дуги в цьому графі приводить до утворення двох самостійних підграфів. Отже, побудований орграф $S(V_{ij}, \sigma_{ij})$ – це дерево з усіма його властивостями (рис. 2.10).

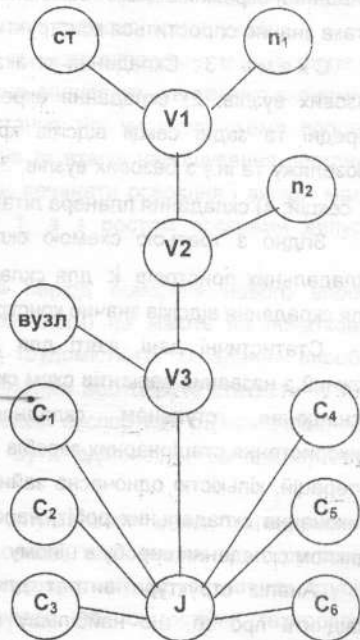


Рис. 2.10. Орграф $S(V_{ij}, \sigma_{ij})$ складання виробу J

2.6.3. Оптимізація технологічних схем складання

Технологічні схеми складання планера літака можуть бути узагальнено подані залежно від складу самостійно існуючих (специфікованих) елементів конструкції виробу, що складається, у вигляді трьох основних схем:

Схема 1. Складання літака виконується у два етапи: 1) з розрізаних деталей складають базові вузли (лонжерони, шпангоути, панелі та ін.); 2) з базових вузлів складають планер літака.

При цьому потрібна кількість складальних пристроїв n для складання базових вузлів і один загальноскладальний стапель (складальний пристрій) для складання планера літака.

Схема 2. Складання літака виконується у три етапи: 1) складання базових вузлів; 2) складання відсіків планера літака (лівої та правої консолей крила, центроплана крила, передньої, середньої та задньої частин фюзеляжу та ін.) із базових вузлів; 3) складання планера літака з окремих відсіків.

У цьому випадку потрібна додаткова кількість складальних пристроїв m для складання окремих відсіків. Загальноскладальний пристрій для складання планера літака значно спроститься конструктивно.

Схема 3. Складання літака виконується у чотири етапи: 1) складання базових вузлів; 2) складання окремих секцій відсіків планера літака (передні, середні та задні секції відсіків крила, верхні, базові та нижні секції відсіків фюзеляжу та ін.) з базових вузлів; 3) складання відсіків планера літака із кількості k секцій; 4) складання планера літака з відсіків.

Згідно з третьою схемою складання необхідно мати додатково кількість складальних пристроїв k для складання секцій. При цьому складальні пристрої для складання відсіків значно конструктивно спрощуються.

Статистичні дані, взяті для літакобудівного виробництва, показують, що кожний з названих варіантів схем складання розрізняється обсягом технологічного оснащення, ступенем складності складальних пристроїв, можливістю використання стаціонарних засобів механізації й автоматизації виконання окремих операцій, кількістю одночасно зайнятих робітників, кількістю площ, потрібних для виконання складальних робіт, нарешті, трудомісткістю і собівартістю складання, циклом складання виробу в цілому.

Аналіз структури витрат для різних варіантів схем процесів складання свідчить про те, що найбільшу питому вагу в загальних витратах займають вартість технологічного оснащення і вартість виробничих площ. При цьому співвідношення між технологічною собівартістю і вартістю оснащення і площ

залишається приблизно сталим для всіх схем складання незалежно від програми випуску готових виробів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Співвідношення витрат на реалізацію схем складання при різних програмах випуску

Найменування економічних показників	Програма випуску виробів					
	24	144	24	144	24	144
	Схема 1		Схема 2		Схема 3	
Собівартість складання виробу, %	100	100	100	100	100	100
Витрати на виготовлення оснащення, %	90	80	88	76	85	75
Вартість виробничих площ, %	41	35	48	40	47	40

Витрати (у кількісному виразі) на оснащення за схемою 1 у 1,5 раза більше порівняно з витратами за схемами 2 і 3. Це пояснюється тим, що, незважаючи на загальне збільшення кількості оснащення при переході від схеми 1 до схем 2 і 3, загальна вартість складального оснащення для вузлів, панелей і секцій виходить менше, ніж вартість стапелів загального складання складної конструкції.

Здійснити вибір найекономічнішої схеми процесу складання можна лише за умови врахування комплексу всіх факторів, що впливають на техніко-економічні показники виробництва. Доцільність використання тієї чи іншої схеми процесу складання залежить від обсягу випуску виробів та етапів нарощування програми випуску літаків. Іноді стає економічно вигідним починати освоєння і випуск малої партії (програми) літаків, реалізуючи схему 1, а з ростом програми випуску поступово переходити на варіанти схем 2 і 3.

Вибір оптимальної схеми складання в період освоєння нового виробу ускладнюється тим, що проектувальники (технологи) не мають на початковий момент необхідної вірогідної інформації про трудомісткість складання виробів, вартість оснащення і т.д. Тоді в основу розрахунків або беруть статистичні дані стосовно прототипів, або виконують це на основі експертних оцінок. Практично вибір оптимальної схеми складання може бути здійснений за експертними оцінками чи фактичними витратами.

Експертна оцінка. Задача про вибір оптимальної схеми складання за експертною оцінкою може бути сформульована так: маючи конструктивно-технологічну схему можливого членування планера літака, визначити ступінь диференціації (розчленування) частин планера на самостійні технологічні підскладання з умови ймовірності реалізації схеми складання до заданого (директивного) терміну з урахуванням мінімальних витрат.

Якщо одержана ймовірність знаходиться в прийнятних межах, то диференційовану схему складання варто визнати цілком коректною. Вважається, що ймовірність P реалізації схем складання до заданого терміну має бути в межах $0,35 \leq P \leq 0,65$ [10].

Установлено, що при $P < 0,35$ небезпека порушення заданого терміну реалізації схеми складання настільки велика, що необхідно або вживати заходів по збільшенню кількості ресурсів для її виконання, або переходити на новий варіант схеми складання.

При $P > 0,65$ роботи згідно зі схемами складання характеризуються надлишковими ресурсами, що призводить до подорожчання складального процесу, і тому він не може розглядатися як припустимий варіант складання.

Ймовірність реалізації диференційованої схеми складання визначають за залежністю (функція Лапласа)

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi_0} \exp\left(-\frac{1}{2}Z^2\right) dZ,$$

де $Z = \frac{(t_k - t_n)}{\sqrt{\sigma_n^2}}$ – нормована змінна, в якій t_k і t_n – заданий і фактичний терміни

реалізації схеми складання, σ_n – дисперсія тривалості циклу складання, зумовлена співвідношенням

$$\frac{1}{36} \tau^2 \leq \sigma_n^2 \leq \frac{1}{36} [\tau^2 - (2\tau - n)(n-1)],$$

де τ характеризує величину інтервала в оцінці тривалості циклу складання виробу, який складається з n складальних одиниць:

$$\tau = \sum_{i=1}^n \tau_i.$$

При експертній оцінці величину τ розраховують як різницю між песимістичною й оптимістичною оцінками:

$$\tau = \tau_n - \tau_{\text{опт}}.$$

Підставляючи у формулу для розрахунку P значення σ_n , одержують границі ймовірності P реалізації, диференційованої на n складальних одиниць схеми складання. Якщо при цьому вийде, що ймовірність P знаходиться в припустимих межах ($0,35 \leq P \leq 0,65$), то диференційована за n схема складання прийнятна.

Вибір схеми за фактичними витратами. Розрахунки варіантів схем складання здійснюють на основі фактичних витрат. За одержаними результатами вибирають найкращий варіант реалізації схеми складального процесу.

Критерієм оптимальної схеми складання може служити співвідношення технологічної собівартості $C_{\text{тех}}$ і циклу складання $\Pi_{\text{скл}}$. Тоді з усіх варіантів схем складання слід вибрати такий, для якого $C_{\text{тех}} \rightarrow \min$ без порушення заданої тривалості циклу складання $\Pi_{\text{скл}}$.

Якщо задача ставиться в іншому плані, а саме: знайти оптимальну тривалість $\Pi_{\text{скл}}$ при найменших витратах, то, порівнявши варіанти схем складання, вибирають такі з них, для яких можна значно скоротити цикл складання без істотних витрат (на оснащення, робочу силу та ін.). У цьому випадку за результатами розрахунків варіантів можливих схем складання необхідно побудувати графічну залежність

$$C_{\text{тех}} = f(\Pi_{\text{скл}})$$

і за нею вибрати оптимальний варіант [1].

2.7. Розробка робочих технологічних процесів

2.7.1. Вихідні дані для розробки технологічного процесу

Розробка робочих технологічних процесів у загальному випадку містить у собі комплекс взаємозалежних робіт, які завершуються складанням технологічних карт, що відбивають певну повноту відомостей про виконання технологічного процесу. До числа обов'язкових взаємозалежних робіт при розробці технологічного процесу належать:

- визначення виду первісної заготовки для виготовлення деталей або стану поставки деталей (або комплектуючих) при складанні;
- установлення послідовності виконання і змісту технологічних операцій;
- підбір засобів технологічного оснащення (інструментів, пристроїв, устаткування);
- вибір професій і кваліфікацій виконавців;
- нормування технологічних операцій і технологічного процесу в цілому;
- вибір засобів механізації й автоматизації елементів технологічного процесу з урахуванням економічної доцільності;
- визначення засобів контролю за якістю виконання технологічних операцій і готового виробу в цілому;
- способи переміщення готового виробу в робочій зоні і підйомно-транспортних засобів для транспортування заготовок (комплектуючих) і готового виробу.

Отже, для виконання цих робіт і відбиття їх у технологічному процесі (картах технологічного процесу) необхідно мати достатню первісну інформацію.

Основні вихідні дані для проектування технологічного процесу:

- 1) робочі креслення об'єктів виробництва: деталей, складальних одиниць, виробу в цілому;
- 2) технічні вимоги до виготовлення і якості об'єктів виробництва;
- 3) виробнича програма виготовлення виробів;
- 4) перелік устаткування, яке має або може мати підприємство.

Крім перерахованої основної вихідної інформації використовують такі види нормативно-технічної документації, що носить характер довідкової або керівної:

- 1) типові технологічні операції та технологічні процеси;
- 2) описи нових прогресивних методів і засобів виконання операцій технологічних процесів;

3) каталоги інструментів для виконання різноманітних способів формоутворення при виготовленні деталей (різці, свердла, фрези, проточки, зенкера, шарошки та ін.), складанні складальних одиниць (механізовані та ручні дрилі, молотки, гайковерти та ін.), контролю виробів (лінійки, штангенциркулі, кутоміри, мікрометри, калібри та контркалибри, оптичні засоби контролю та ін.);

4) каталоги стандартного або уніфікованого технологічного оснащення (кондукторні, фрезерні, свердлильні, складальні пристрої та ін.);

5) каталоги стандартного та нестандартного устаткування (токарські, свердлильні, фрезерні, розточувальні та інші верстати; кривошипні ексцентриккові, гідравлічні та інші преси; свердлильно-зенковальні та клепальні станки і т.д.);

6) нормативні матеріали щодо розрахунків режимів обробки (різанням, штампуванням та ін.);

7) нормативні та методичні матеріали стосовно розрахунків припусків, очікуваної точності виготовлення, надійності технологічних процесів та ін.;

8) галузеві класифікатори деталей і складальних одиниць.

2.7.2. Етапи проектування технологічного процесу

Усі роботи по проектуванню технологічного процесу виконують поетапно в такій послідовності:

1. Збирання і аналіз вихідної інформації для проектування.
2. Попередній вибір (розробка) плану технологічного процесу.
3. Складання схеми технологічного процесу обробки (виготовлення) деталей і (або) складання складальних одиниць.
4. Вибір технологічних баз і розробка схеми базування заготовок при виготовленні деталей і (або) деталей при складанні складальних одиниць.
5. Вибір методу (способу) обробки поверхонь деталей і (або) складання складальних одиниць.
6. Складання варіантів технологічного процесу виготовлення деталей і (або) складання складальних одиниць.

7. Розрахунок очікуваної точності деталі та (або) складальної одиниці.
8. Визначення витрат на виготовлення деталі та (або) складальної одиниці.
9. Порівняльний техніко-економічний аналіз варіантів технологічного процесу.
10. Вибір і остаточна розробка робочого варіанта технологічного процесу.
11. Оформлення технологічної документації розробленого технологічного процесу.

Коротко охарактеризуємо кожний з перерахованих етапів проектування технологічного процесу стосовно до складання конструкцій ЛА.

Аналіз вихідних даних. Для розробки технологічного процесу збирають такі відомості:

1. Складальне креслення, короткий опис службового призначення і технічні умови приймання готової складальної одиниці (функціонально самостійної частини ЛА або ЛА в цілому).
2. Робочі креслення, які визначають матеріали деталей конструкції складальної одиниці, конструктивні геометричні форми і розміри та їх точність.
3. Технічні вимоги до якості готового виробу і технічні умови стану поставки деталей на складання (призначення припусків на деталі, що складаються, повнота виконання всіх операцій по виготовленню деталей, стан матеріалу і поверхонь деталей та ін.).
4. Обсяг (або програма) випуску виробів, до складу яких входять складальні одиниці.
5. Організаційні форми (автоматична, потокова, індивідуальна) виробництва, в умовах якого передбачається здійснювати технологічний процес складання.

Як видно з переліку необхідних відомостей для проектування технологічного процесу складання виробу (або його частини), роботу слід починати з ретельного вивчення конструкції виробу, який складається, і усвідомлення його функціональної ролі в готовому виробі. Це відіграє істотну роль в осмислюванні порядку складання, що забезпечує правильний взаємозв'язок частин конструкції виробу, які складаються.

Визначення сортаменту матеріалів деталей та їхнє взаємне сполучення при складанні в єдині пакети дозволяє коректно призначати вид інструменту і способи його застосування при виконанні складальних операцій, а також режими обробки і трудомісткість їх виконання. Форми та геометричні розміри конструкцій деталей, їх жорсткісні властивості впливають на вибір схем базування, а тому й на вибір методів складання.

Аналіз технічних вимог до якості складальних одиниць і технічних умов стану поставки деталей і підскладань на складання дає можливість технологую-проектувальнику ввести додаткові вимоги до виконання технологічних операцій

або, навпаки, спростити ці вимоги за рахунок допрацювання контурів і форм деталей у самому процесі складання.

Пристаючи до проектування технологічного процесу складання, треба твердо знати, на який тип виробництва необхідно орієнтуватися – одиничне, серійне, крупносерійне чи масове, тобто враховувати обсяги і програму випуску виробів. Для різних типів виробництва і форм організації праці доцільно використовувати і різні за ступенем деталізації технологічні процеси: маршрутний, операційний чи маршрутно-операційний технологічні процеси.

Розробка плану технологічного процесу складання. Після ретельного вивчення конструкції складальної одиниці за робочими кресленнями і технічними умовами технолог-проектувальник розробляє загальний план майбутнього технологічного процесу складання. У цьому плані накреслюються в ескізованому вигляді всі технологічні рішення, спрямовані на забезпечення якісного виготовлення виробу, який складається, з урахуванням мінімальних витрат на їх здійснення.

На основі попереднього досвіду і літературних даних технолог складає перелік тих методів складання, які, на його думку, можуть забезпечити вимоги конструктора до виробу, який складається; планує можливі складальні бази і формує вимоги до конструкції складального пристрою; розробляє можливі схеми послідовності установаження деталей у складальне положення і вибирає способи їх фіксації; планує основні технологічні операції, необхідні для складання за всіма можливими варіантами; розробляє укрупнений план виконання технологічних операцій; формує особливі вимоги до виконання технологічного процесу; у разі потреби робить ескізи проміжних (міжопераційних) станів виробу, який складається. Складання плану технологічного процесу складання необхідно для осмислювання обсягу тих робіт, які слід виконати в подальшому, підтверджуючи їх та правильність прийнятих рішень теоретичними розрахунками, а якщо необхідно, - експериментально.

Розробка схем складання. Найповніше технологічні й організаційні питання складання знаходять відображення в технологічних та організаційних схемах процесу складання.

На технологічній схемі складання (див. рис. 2.4 - 2.7), зображеній графічно, показано:

- з яких самостійних складальних одиниць і деталей складають конструкцію ЛА;
- якою має бути послідовність нашарування деталей і (або) підскладань у процесі складання виробу;
- яке технологічне оснащення (складальне оснащення) необхідно мати для складання виробу за вибраним методом складання.

Таким чином, технологічна схема складання визначає технологію складання, а, доповнена відомостями про технічно обґрунтовані тимчасові оцінки виконання операцій складального процесу, кількість використовуваних ресурсів, дозволяє раціональним образом реалізувати технологічні процеси складання і застосувати найпрогресивніші методи організації виробництва (наприклад, потокові форми організації праці) та оптимальні календарні плани.

Приклади побудови технологічних схем складання наведено вище (див. рис. 2.4 - 2.7).

Вибір технологічних баз і розробка схеми базування. Для складання якісних конструкцій ЛА в більшості випадків використовують деталі малої жорсткості. Питання про правильний вибір технологічних баз має надзвичайно важливе значення. Від прийнятих складальних баз залежить і вибір методу складання, тому, плануючи технологічний процес складання будь-якої частини планера ЛА, слід на підставі ретельного вивчення креслення і технічних вимог до якості об'єкта, який складається, здійснити вибір технологічних складальних баз для всіх вхідних деталей і (або) підскладань.

Вибір схем базування відбивається в технологічних картах складання у вигляді ескізу схеми базування. У технологічних операціях зазначено також способи базування і фіксації деталей за допомогою базово-фіксуючих приладів складальних пристроїв.

Вибір методу складання і розрахунок очікуваної точності складальної одиниці. Методи складання в авіабудуванні, на відміну від загальномашинобудівних понять, відбивають не тільки те, як забезпечити задану якість складання (головним чином - точність об'єкта складання), але й за допомогою яких засобів цього можна досягти. Основні положення про вибір методу складання викладено в підрозд. 2.4, 2.5.

Слід мати на увазі, що при виборі остаточного варіанта методу складання (за розміткою, за кресленням, за зовнішньою поверхнею обшивки і каркаса з базуванням на базово-фіксуючі прилади пристрою або за встановлювально-фіксуючими отворами) головною вимогою є забезпечення точності складання виробу:

$$\Delta_{\Sigma \text{розр}} \leq [\Delta_{\Sigma}]_{\Gamma \text{У}}$$

де $\Delta_{\Sigma \text{розр}}$ – розрахункова величина похибки складання виробу;

$[\Delta_{\Sigma}]_{\Gamma \text{У}}$ – задана величина допуску на виріб, який складається.

Друга немаловажна умова вибору методу складання - це мінімізація витрат на підготовку виробництва і власне складання виробу:

$$C_{\text{тех}} \rightarrow \min.$$

Точність виробу, який складається, і економічні показники складального процесу значною мірою залежать від вибраного методу складання (табл. 2.6).

Техніко-економічні показники методів складання

Метод складання	Найменування складальних одиниць	Показники, %				
		Q_m	$T_{осн}$	$C_{осн}$	$C_{скл}$	$\Delta_{скл}$
За зовнішньою поверхнею обшивки	Вузли, секції, відсіки, агрегати	100	100	100	100	100
За поверхнею каркаса	Вузли, панелі	95	95	90	10	80
	Секції, агрегати	95	100	95	105	100
За складальними отворами (СО)	Вузли, панелі	25	30	25	30	75
	Секції, агрегати	55	60	55	35	85
За координатно-фіксуючими отворами (КФО)	Вузли, панелі	45	30	35	60	70
	Секції, агрегати	55	75	80	75	80

Примітка. Позначення в таблиці: Q_m – витрата металу на технологічне оснащення; $T_{осн}$ – трудомісткість виготовлення оснащення; $C_{осн}$ – собівартість оснащення; $C_{скл}$ – собівартість складання виробів; $\Delta_{скл}$ – точність виробів, що забезпечується методом складання.

Наведені в табл. 2.6 техніко-економічні показники дають якісну оцінку розглядуваних методів складання. Більш точно за кожним методом складання їх можна одержати тільки для конкретного виробу на основі теоретичних розрахунків точності й економічних показників.

Методи розрахунку точності виробу, який складається, викладено в підрозд. 2.5 а економічні показники – в підрозд. 2.8.

Варіанти технологічного процесу складання. У результаті пророблення технічних рішень про вибір можливих схем складання, базування і методів складання для конкретної конструкції складальної одиниці ЛА одержують безліч варіантів можливих технологічних процесів складання. Завдання технолога-проектувальника – вибрати серед цих варіантів найраціональніший для конкретних виробничих умов. Проблема вибору раціонального технологічного процесу полягає в тому, що очікувану точність виробу, який складається, може забезпечити не один, а кілька методів складання (або їхнє сполучення). Отже, остаточне рішення може бути прийняте на основі порівняльних економічних параметрів технологічних процесів складання, одержаних шляхом розрахунку витрат на їхнє здійснення.

Розробка остаточного робочого варіанта складання й оформлення технологічної документації. Виконання перерахованих вище робіт дозволяє вибрати остаточний варіант технологічного процесу складання конструкцій ЛА і приступити до його оформлення у вигляді карт технологічного процесу. У них мають бути відбиті: головні відомості про виріб, який складається, та деталі, що

надходять на складання (їх найменування, шифри стандартних і нормалізованих деталей кріплення та ін.); зміст і послідовність виконання складальних операцій; засоби технологічного оснащення (інструмент, складальні пристрої, засоби контролю параметрів конструкції після виконання операцій та ін.); перелік професій із зазначенням кваліфікації працівників; трудомісткість на виконання складальних робіт (розряди працівників визначають за тарифно-кваліфікаційними довідниками, норми часу на виконання операцій складання – за нормативними довідниками). На основі конструкторських креслень і вимог до їх якості, а також схеми технологічного процесу складання виробу розробляють технічні умови і технічні завдання на проектування складальних, контрольно-випробувальних та інших пристроїв, необхідних для виконання технологічного процесу.

Деталізація технологічного процесу складання залежить від того, який з видів технологічних процесів - маршрутний чи операційний - влаштовує (буде раціональним для даних виробничих умов) виробництво.

Маршрутний і операційний технологічні процеси відрізняються один від одного глибиною пророблення змістовної частини технологічної карти технологічних операцій, тому що вони є основною частиною технологічного процесу, який характеризується незмінністю об'єкта складання, устаткування і працівників-виконавців. Маршрутний технологічний процес складання - це процес, в якому викладається зміст укрупнених операцій у визначеній послідовності (маршрут їхнього виконання), без зазначення переходів і режимів обробки. Таким чином, при проектуванні маршрутного технологічного процесу необхідно:

1) установити загальний план складання виробу, тобто послідовність установлення деталей у складальне положення одним з методів (з використанням складальних пристроїв або без них);

2) визначити склад укрупнених операцій і послідовність їх виконання: підготовчі операції (підготовка пристрою для складання, інструменту, комплектуючих деталей та ін.); установлювальні операції (способи встановлення і фіксації деталей); підготовчі операції для з'єднання деталей (свердлильні, зенкувальні, зачисні, підгінні та ін.); з'єднувальні операції (заклепками, болтами, гвинтами, зварюванням, паянням і комбінованими способами – клеєзварюванням, клеєсклепанням та ін.); контрольні операції (міжопераційні, остаточні, вироблені в складальному пристрої та поза ним); операції розфіксації, виймання та транспортування готового виробу;

3) вибрати на основі схеми базування місця і число технологічних баз, які забезпечують розрахункову (очікувану) точність складеного виробу;

4) доповнити, у разі потреби, маршрутний технологічний процес загальномашинобудівними або спеціальними операціями і відомостями (про використовуваний інструмент, устаткування та ін.);

5) сформувати остаточний варіант маршрутного технологічного процесу складання виробу.

Такий технологічний процес, доповнений нормуванням укрупнених операцій, можна використовувати при одиничному і дрібносерійному виробництві ЛА як робочий. Операційний технологічний процес складання виробу має бути розроблений з урахуванням докладного опису окремих технологічних операцій, в яких перелічуються всі вхідні деталі з їх геометричними та фізико-механічними характеристиками, необхідними для визначення типів і видів інструменту, пристроїв, устаткування, а також для аналітичних розрахунків норм часу на виконання окремих переходів з урахуванням режимів обробки. Крім того, в описі процесу складання вказують професії та кваліфікації робочих виконавців окремих операцій, необхідне технологічне оснащення (інструменти, пристрої, устаткування), методи і засоби контролю результатів виконання окремих операцій складання та складання виробу в цілому.

Операційні технологічні процеси бажано розробляти на основі відпрацьованих типових операцій, які зарекомендували себе з позитивної сторони. Типові технологічні операції, зведені в нормативні галузеві альбоми, мають формалізований характер, тому що вони розробляються на узагальненого типового представника групи або виду роботи, і тому така операція має бути доповнена конкретними параметрами, які характеризують деталі, їх з'єднання в процесі складання. Таким чином, у типову операцію необхідно внести відомості про геометричні характеристики деталей, матеріалу, з якого вони зроблені, спосіб їх з'єднання один з одним (кількість заклепок, болтів, складальних точок та ін.), а також про вимоги до якості з'єднання деталей і способів контролю за окремими складовими частинами загальної операції й операції в цілому.

Використання типових технологічних операцій при розробці технологічних процесів складання конструкцій ЛА дозволяє істотно підвищити якість виробу і значно скоротити терміни підготовки виробництва.

Розроблений технологічний процес складання конструкцій ЛА оформлюють у вигляді технологічних карт, які підписує технолог-розроблювач і керівник підрозділу (технологічного бюро), в якому виконувалась розробка. Затверджує технологічний процес головний інженер підприємства.

У табл. 2.7 наведено приклад оформлення технологічних карт складання крила літака Ан-72.

При розробці технологічного процесу складання крила літака Ан-72 використано типові технологічні операції (ТО), які забезпечують більший економічний ефект. Розрахунок ефекту від заміни індивідуальних технологічних процесів однією ТО подано у підрозд. 2.8.2.

Приклад оформлення технологічних карт складання

Цех		72.04.2000.000СБ			Номер складального креслення		Лист	
Ділянка		Технологічний процес складання крила в ступелі			72.04.2000.000СБ		1	
№ п.п.	Зміст складальної операції	Трудомісткість, норма-години	Розряд	Кількість виконавців	Оснащення, інструмент	Шифр	Технічна документація	
1	Підготувати до роботи складальний ступель	8.00	4	4/4	Ступель складання крила	6340	ПН-0635 ОКР	
2	Установити в ступель перший лонжерон центроплана і зафіксувати його	9.15	4	4/4	Комплект інструментів (див. типові операції)	ТО (типова операція)	72.04.1001СБ	
3	Установити в ступель другий лонжерон центроплана і зафіксувати його	9.15	4	4/4	"-	"-	72.04.1002СБ	
4	Установити нервови 0, 1, 2, 3 правого та лівого боків центроплана і закріпити їх	14.25	3	4/4	"-	"-	72.04.1010-1013СБ	
5	Зробити монтаж труб паливної та дренажної систем	4.859	4,5	2/2	Макети агрегатів систем	6340	72.04.6101.100СБ	
6	Установити нервови 4, 5, 6 правої та лівої сторін центроплана і закріпити їх	9.10	3	4/4	Комплект інструментів (див. типові операції)	ТО	72.04.1014-1016СБ	
7	Зробити монтаж труб паливної та дренажної систем між нервовими 4 - 6 правого та лівого боків центроплана	2.05	4,5	4/4	"-	"-	72.04.6101.100СБ 72.04.6104.100СБ	
8	Установити і закріпити кореневу нервовку (праву та ліву) центроплана	0.50	4	2/2	"-	"-	72.04.1017СБ	
9	Установити знімі рубильники панелей центроплана з боку зовнішніх обводів	4.30	3	4/4	Комплект націнних рубильників	6340	72.04.1080СБ 72.04.1090СБ	

Цех		Технологічний процес складання крила в сталелі				72.04.2000.000СБ		Номер складального креслення		Листів	
Ділянка		Трудомісткість, норма-години		Розряд	Кількість виконавців	Оснащення, інструмент	Шифр	Технічна документація		Листів	
№ п.п.	Зміст складальної операції	3	4	4	5	6	7	8		2	
10	Установити в сталелі і закріпити нижню панель центроплана	54,20	4	4	4/4	Комплект інструментів (див. типові операції)	ТО	72.04.1090СБ		72.04.1090СБ	
11	Установити, пригнати і закріпити нижні пояси нервюр 0 - 7 правого та лівого боків центроплана	21,10	4	4	2/2	"-"	"-"	72.04.1010-017СБ		72.04.1010-017СБ	
12	Установити і закріпити верхні панелі центроплана	96,20	4	4	4/4	"-"	"-"	72.04.1080СБ		72.04.1080СБ	
13	Установити, пригнати і закріпити верхні пояси нервюр 0 - 7 правого та лівого боків центроплана	36,15	4	4	2/2	"-"	"-"	72.04.1010-1017СБ		72.04.1010-1017СБ	
14	Установити в сталелі другий лонжерон кінцевої частини крила (КЧК) (правого та лівого боків)	36,60	4	4	4/4	"-"	"-"	72.04.2102.100СБ 72.04.2102.200СБ		72.04.2102.100СБ 72.04.2102.200СБ	
15	Установити в сталелі і зафіксувати перший лонжерон КЧК (правого та лівого боків)	3,70	4	4	4/4	"-"	"-"	72.04.2101.100СБ 72.04.2101.200СБ		72.04.2101.100СБ 72.04.2101.200СБ	
16	Зробити монтаж стижів першого і другого лонжеронів за восьмою нервюрою крила (правого та лівого боків крила)	7,90	5	5	4/4	Контрольно-пригнанальний пристрій	6340	72.04.2050СБ		72.04.2050СБ	
17	Установити нервюри 8 - 20 КЧК (правого та лівого боків)	12,90	3	3	4/4	Комплект інструментів (див. типові операції)	ТО	72.04.2108-120СБ		72.04.2108-120СБ	
18	Зробити монтаж труб паливної та дренажної систем між нервюрами 8 - 20	10,6	4,5	4,5	4/4	"-"	"-"	72.04.6101.200СБ 72.04.6104.200СБ		72.04.6101.200СБ 72.04.6104.200СБ	
19	Установити нервюри 21 - 34 КЧК (правого та лівого боків)	25,6	3	3	4/4	"-"	"-"	72.04.2121-134СБ		72.04.2121-134СБ	

Цех		Технологічний процес складання крила в сталелі				72.04.2000.000СБ		Лист 3	
Ділянка		Трудомісткість, нормо-години		Розряд	Кількість виконавців	Оснащення, інструмент	Шифр	Технічна документація	
№ п.п.	Зміст складальної операції	3	4	4	5	6	7	8	
1	2								
20	Зробити монтаж труб паливної системи між нервюрами 20 - 34	10,6	4,5		4/4	"-	"-	72.04.6101.300СБ 72.04.6104.300СБ	
21	Установити змінні рубильники сталелі верхніх та нижніх панелей крила (правого та лівого боків)	5,1	3		4/4	Комплект начіпних рубильників	6340	72.04.2180.100СБ 72.04.2150.000СБ	
22	Установити в сталелі верхню панель (праву та ліву)	11,2	4		4/4	Комплект інструментів (див. типові операції)	ТО	72.04.2180.100СБ	
23	Зняти фіксатори, відвести верхню панель від каркаса крила. Закріпити кінці, кронштейни і силові фітінги на каркасі (на правій та лівій КЧК)	29,70	3,4		8/8	"-	"-	72.04.2108-2134СБ	
24	Установити нижню панель на каркас крила (праву та ліву)	27,00	4,5		8/8	"-	"-	72.04.2190.200СБ	
25	Зняти фіксатори і відвести нижню панель від каркаса (на правій та лівій КЧК)	5,80	3		8/8	"-	"-		
26	Закріпити заклепками і болтами кінці, кронштейни, силові фітінги	5,60	4		8/8	"-	"-	72.04.2108-2134СБ	
27	Підготувати верхню та нижню панелі каркаса крила під герметизацію (правих і лівих панелей)	4,70	3		8/8	Герметики згідно з інструкцією	ПН25-75	Виробнича інструкція	
28	Підвести верхню панель і з'єднати з каркасом (на правій та лівій КЧК)	14,20	4,5		8/8	Комплект інструментів (див. типові операції)	ТО	72.04.2180СБ	

Цех		Технологічний процес складання крила в стапелі				72.04.2000.000СБ			Лист 4	
Ділянка		Трудомісткість, нормо-години		Розряд	Кількість виконавців	Номер складального креслення		Листів		
№ п.п.	Зміст складальної операції					Шифр	Оснащення, інструмент	Технічна документація		
1	2	3	4	5	6	7	8			
29	Зняти рубильники з верхньої панелі, зняти і відкласти окремі панелі	2,40	3	4	4/4	6340	Комплект рубильників	72.04.2180СБ		
30	Підвести нижню панель і з'єднати з каркасом (на правій та лівій КЧК)	15,45	4,5	4,5	8/8	ТО	Комплект інструментів (див. типові операції)	72.04.2190СБ		
31	Зняти рубильники з нижньої панелі	2,40	3	3	4/4	6340	Комплект рубильників	72.04.2190СБ		
32	Установити рейки механізмів навішення внутрішнього закрилка (правої та лівої КЧК)	3,80	4	4	4/4	ТО	Макетні каретки	72.04.3701 СБ		
33	Установити рейки механізму навішення зовнішнього закрилка (на правій та лівій КЧК)	9,50	4	4	4/4	"-	Комплект інструментів (див. типові операції)	72.04.3702СБ		
34	Установити кореневу носову частину крила (праву та ліву)	11,50	4	4	4/4	"-	"-	72.04.3650СБ		
35	Установити кінцеву носову частину крила (праву та ліву)	5,60	4	4	4/4	"-	"-	72.04.3660 СБ		
36	Установити хвостову частину центроплана	9,65	3	3	4/4	"-	Контрольні рубильники	72.04.3700.100СБ		
37	Установити кореневу хвостову частину КЧК (праву та ліву)	10,40	3	3	8/8	"-	Контрольні рубильники	72.04.3700.200СБ		
38	Установити хвостову частину КЧК (праву та ліву)	6,35	3	3	4/4	"-	"-	72.04.3700.300СБ		
39	Здійняти контроль якості складання крила і нівелювальних точок	16,0	4,5	4,5	4/4	"-	Контрольний інструмент	72.04.2000.000СБ		
40	Вийняти крило зі стапеля та виконати контроль маси крила	2,0	4	4	4/4	ПН103-003	Терези	Виробнича інструкція		

2.7.3. Типові технологічні процеси і технологічні операції

Типові технологічні процеси розробляють на основі спільності конструктивно-технологічних характеристик оброблюваних виробів (деталей, підскладань, складальних одиниць, виробів у цілому).

Технологічні класифікатори груп деталей і складальних одиниць складають за ознаками, які визначають спільність технологічного процесу їх виготовлення. Групування об'єктів виробництва є обов'язковою умовою типізації технологічних процесів. Типовий технологічний процес розробляється на комплексного представника класифікаційної групи. Це означає, що при розробці робочого технологічного процесу для конкретної деталі та (або) складальної одиниці використовується тільки частина технологічних операцій із загального комплексу операцій типового процесу.

Типовий технологічний процес складають з типових технологічних операцій, об'єднаних в єдиний процес строгою послідовністю їх виконання.

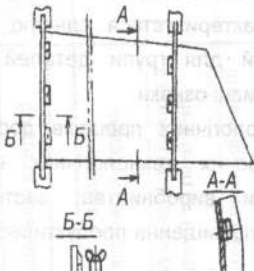
Технологічна операція як частина технологічного процесу починається і закінчується на одному робочому місці. Саме з цієї причини технологічна операція є ключовим моментом при визначенні всього комплексу робіт по організації виробництва: необхідної номенклатури устаткування, інструменту, технологічного оснащення і трудомісткості виконання робіт; розрахунку завантаження устаткування, заробітної плати, а також пошуку шляхів зниження втрат часу на здійснення виробничого процесу.

Приклади типових технологічних операцій, оформлених у вигляді стандартних операційних карт, наведено в табл. 2.8, а, б, в, г, д.

Отже, типовий технологічний процес характеризується єдністю змісту і послідовності більшості технологічних операцій для групи деталей і (або) складальних одиниць, які мають спільні конструктивні ознаки.

Ефективність використання типових технологічних процесів досягається шляхом: зменшення вартості розробки робочих технологічних процесів; скорочення термінів технологічної підготовки виробництва; застосування передових технологічних заходів і устаткування; підвищення продуктивності праці та скорочення виробничого циклу.

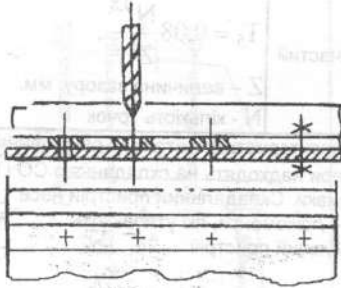
**Стандарт типової операції техпроцесу.
Установлення обшивки в пристрої за КФО
з кріпленням гвинтовими фіксаторами**

№ п.п.	Зміст переходу	Інструмент, пристрій	Трудомісткість T_i , хв.
1	Взяти, оглянути і перемістити обшивку до місця роботи		$T_1 = 0,01L_1^{0,2}B_1^{0,3}$ L_1, B_1 – довжина і ширина деталі, мм
2	Підготувати складальний пристрій до складання	Пристрій складання	$T_2 = 0,01L_2^{0,4}m$, L_2 – довжина рубильника, мм, m – кількість рубильників
3	Установити обшивку, сполучаючи КФО на рубильниках і деталі	Технологічні штирі	$T_3 = 0,0024L_1^{0,2}B_1^{0,3}n$, n – кількість виконавців
4	Кріпити обшивку до рубильників гвинтовими фіксаторами	Гвинтові фіксатори, ключ	$T_4 = 0,08N^{0,8}$, N – кількість фіксаторів БО
5	Контроль ВТК, перевірити: – правильність установлення обшивки, – прилягання обшивки до рубильників за ТУ	Лінійка, щуп пластинчастий	$T_5 = 0,04L_5^{0,4}$, L_5 – довжина стику, мм
Ескіз типової операції		Характеристики деталей і оснащення	
		Обшивки надходять на складання з координатно-фіксуючими отворами (КФО). За контурами рубильників установлено куточки з координатно-фіксуючими отворами	


**Стандарт типової операції техпроцесу.
Установлення стрингера на обшивку за СО
і кріплення технологічними болтами**

№ п.п.	Зміст переходу	Інструмент, пристрій	Трудомісткість T_1 , хв.
1	Взяти, оглянути і перенести стрингер до місця роботи		$T_1 = 0,01L_1^{0,3}B_1^{0,3}$ L_1, B_1 – довжина і ширина деталі, мм
2	Установити стрингер на обшивку, базуючись за СО	Технологічні штирі	$T_2 = 0,006L_2^{0,5}n$ L_2 – довжина стрингера, мм. n – кількість виконавців
3	Свердлити за напрямними отворами (НО) у стрингері кроком 500 мм отвору 3,1 у бік обшивки згідно зі стандартною операцією	Пневмодриль, свердло	$T_3 = 0,02d_3^{0,7}h_3^{0,7}k$ d_3 – діаметр свердла, мм, h_3 – товщина пакета, мм, k – кількість отворів
4	Кріпити стрингер до обшивки технологічними болтами за просвердленими отворами	Зикрутка, ключ торцевий, техболт, гайка, шайба,	$T_4 = 0,8 \frac{L_4^{0,6}D_4^{0,1}}{t_4^{0,6}Z_4^{0,5}}$ D_4 – діаметр різі, мм, L_4 – довжина накручування, мм, t_4 – крок різі, мм, Z_4 – кут повороту ключа, град.
5	Контроль БТК, перевірити: – правильність установлення стрингера на обшивку за кресленням	Лінійка, щуп пластинчастий	$T_5 = 0,08 \frac{N^{0,8}}{Z^{0,2}}$ Z – величина зазору, мм, N – кількість точок
Ескіз типової операції		Характеристики деталей і оснащення	
		<p>Стрингери надходять на складання з СО і НО в бік обшивки. Складальний пристрій несе контурні ложементи, які утворюють підтримуючий пристрій</p>	

**Стандарт типової операції техпроцесу.
Свердлення отворів за НО в панелі на свердильній установці**

№ п.п.	Зміст переходу	Інструмент, пристрій	Трудомісткість T_i , хв.
1	Перенести й укласти панель на ложементи свердильної установки	Свердильна установка	$T_{1+3} = 0,02d^{0,7}h^{0,7}$ d – діаметр свердла, мм, h – глибина свердління, мм
2	Закріпити свердло у патроні свердильної головки й установити його по нормалі до панелі	свердло, ключ, призма	
3	Установити свердло по центру НО, свердли отвір і вивести свердло нього		$T_{3+4} = T_{1+3}k + 0,54$ k – кількість отворів
4	Перемістити свердильну головку до наступного НО		
5	Повторити переходи 3,4 для свердління необхідної кількості отворів		
6	Розкріпити, вийняти і відкласти свердло		
7	Контроль ВТК, перевірка: – кількість просверлених отворів, – розміри перемішок	Візуально, лінійка	$T_7 = 0,03L^{0,3}n$ L – довжина виміру, мм, n – кількість вимірів
Ескіз типової операції		Характеристики деталей і оснащення	
		Свердильна установка оснащена підтримуючим пристроєм із знімними ложементами. Панель надходить на свердління попередньо складеною на елементи технологічного кріплення. У стрингерах панелі просверлено НО	

**Стандарт типової операції техпроцесу.
Клепання панелі на пресі при внутрішній герметизації**

№ п.п.	Зміст переходу	Інструмент, пристрій	Трудомісткість T_i , хв.
1	Перенести й укласти панель на підтримуючому пристрої клепального преса	Клепальний прес	$T_1 = 0,01L^{0,2}B^{0,3}$, L_1, B_1 – довжина і ширина панелі, мм
2	Відрегулювати на зразку клепальну головку преса	Зразок, штамп	$T_2 = 0,05$
3	Взяти заклепку і вставити в отвір панелі		$T_{3+4} = 0,03S^{0,3}p^{0,2} + 0,04$,
4	Підвести панель до місця клепання і клепати		S - крок клепання, мм, p - вага панелі, кг
5	Протерти штамп преса серветкою, змоченою в бензині	Серветка, бензин	$T_5 = 0,005L^{0,5}B^{0,5}$, L, B - довжина і ширина поверхні, яка протирається, мм
6	Перемістити панель на крок клепання і повторити переходи 3,4 для наступних заклепок	Лупа	$T_6 = T_{3+4}N_6$, N_6 – кількість заклепок
7	Контроль БТК, перевірити: - відсутність механічних пошкоджень на заклепках і деталях, - відсутність зазорів у з'єднаннях, - утяжки у закладних головок, провали і хлопуні обшивки	Щуп пластинчастий, шаблон, індикатор	$T_7 = 0,08 \frac{N^{0,8}}{Z^{0,2}} + 0,04L^{0,4}$, N - кількість точок, мм Z - величина зазору, L - довжина стику
Ескіз типової операції		Характеристики деталей і оснащення	
		<p>Клепання закінчити протягом терміну життєздатності герметика. Панель попередньо складена і сполуки між деталями загерметизовані. Характер заклепувального з'єднання дозволяє застосовувати груповий метод клепання</p>	

**Стандарт типової операції техпроцесу.
Клепання панелі на пресі при внутрішній герметизації**

№ п.п.	Зміст переходу	Інструмент, пристрій	Трудомісткість T_i , хв.
1	Перенести й укласти панель на ложементи пристрою	Пристрій для контролю	$T_1 = 0,01L_1^{0,2}B_1^{0,7}n$, L_1, B_1 – довжина і ширина панелі, мм, n – кількість виконавців
2	Перевірити комплектність і правильність складання панелі згідно з кресленням	Креслення, лупа	$T_2 = 0,05L_1^{0,4} + 0,01L_1^{0,3}B_1^{0,3}$
3	Контроль зовнішніх обводів панелі згідно з ТУ	Шаблон еквідістантний, щуп конічний	$T_3 = 0,08 \frac{N^{0,8}}{Z^{0,2}}$, Z – величина зазору, мм, N – кількість контрольних точок
4	Контроль стикових торців панелі на прямолінійність	Лінійка, щуп пластинчастий	$T_4 = L_4^{0,4}$, L_4 – довжина стику, мм
5	Перевірити якість клепаних з'єднань між деталями: - розміри і форму замикаючих головок заклепок, - виступання закладних головок потайних заклепок	Шаблон, індикатор	Див. типову операцію клепання панелі
Ескіз типової операції		- Характеристики деталей і оснащення	
		<p>Контрольні шаблони виконувати еквідістантно контуру панелі за кроком контрольних перетинів. Панель у складанні повинна цілком відповідати кресленню і технічним умовам на складання. У ложементах контрольного пристрою передбачити вирізи під стрингерний набір панелі</p> 	

2.8. Оцінка ефективності технологічних процесів виробництва ЛА

2.8.1. Витрати на створення і порівняльний техніко-економічний аналіз варіантів складання

Як уже було зазначено, технологічний процес складання конструкцій ЛА є багатоваріантним. Велика кількість варіантів залежить як від індивідуальних підходів технологів-проектувальників, які керуються при розробці технологічних процесів власним досвідом або досвідом попередніх розроблювачів, так і від прийнятих методів складання в авіабудуванні.

З аналізу існуючих методів проектування технологічних процесів, основаних на використанні техніко-економічних критеріїв, випливає, що розробляти і приймати до виконання необхідно найбільш раціональний, оптимальний варіант із числа можливих. Оптимізаційними технологічними рішеннями можуть бути завдання по вибору технологічних баз при обробці деталей і складанні складальних одиниць схем послідовності виконання операцій при виготовленні деталей і складанні виробів, інструменту і технологічних засобів оснащення для виготовлення і складання виробів; устаткування і режимів обробки та ін. Такий підхід до проектування технологічного процесу, як у цілому для виготовлення деталей і складання виробів, так і для кожного окремого технологічного завдання, потребує розробки оптимізаційної моделі та методу її вирішення.

Оптимізаційні моделі за своєю побудовою багато в чому залежать від способу проектування технологічного процесу: автоматизованого або неавтоматизованого проектування завдання пошуку оптимального рішення.

При неавтоматизованому способі проектування число аналізованих варіантів невелике, оцінка варіантів і добір найраціональнішого з них здійснюється на основі особистого досвіду розроблювача (технолога) за обмеженим числом кількісних і якісних критеріїв.

При автоматизованому способі проектування за допомогою комп'ютерної техніки повнота кількісного опису проектного процесу, форма його виразу як системи багатьох функціональних параметрів розширюється, що дозволяє дістати та проаналізувати велике число варіантів, аргументовано оцінити одержані рішення за кількісними критеріями і на підставі цього вибрати найкращий (оптимальний) варіант.

Критерій оптимальності залежить від специфіки розв'язуваного завдання і у будь-якому випадку виражається як функція параметрів технологічного процесу, які оптимізуються (наприклад, очікувана точність виготовлення деталі або

складання складальної одиниці та витрати на досягнення цієї точності; швидкість, подача ріжучого інструмента і трудомісткість виготовлення виробу та ін.).

При економічній оцінці варіантів технологічного процесу найповнішим критерієм оптимальності вважаються зведені витрати (Π_B) на їхнє виконання:

$$\Pi_B = C_n \cdot N + E_n \cdot K,$$

де C_n – повна собівартість одиниці продукції; N – програма річного випуску виробів; E_n – нормативний коефіцієнт окупності капіталовкладень; K – капітальні вкладення.

Тоді економію зведених витрат можна визначити як

$$\mathcal{E}_{np} = \Pi_B^{(1)} - \Pi_B^{(2)} = [C_n^{(1)} \cdot N + E_n \cdot K^{(1)}] - [C_n^{(2)} \cdot N + E_n \cdot K^{(2)}],$$

де $C_n^{(1)}$, $C_n^{(2)}$ – собівартість, відповідно, двох варіантів технологічних процесів або двох варіантів методів складання; $K^{(1)}$, $K^{(2)}$ – капітальні витрати; N – програма випуску виробів у рік. Перетворивши попередню формулу, одержимо

$$\mathcal{E}_{np} = [C_n^{(1)} - C_n^{(2)}]N - [K^{(1)} - K^{(2)}]E_n.$$

Позначивши $N[C_n^{(1)} - C_n^{(2)}] = \mathcal{E}_{yp}$ (економія по собівартості (умовна річна економія)), а $[K^{(1)} - K^{(2)}] = K_d$ (додаткові капітальні вкладення, необхідні для здійснення більш раціонального технологічного процесу чи методу складання), запишемо:

$$\mathcal{E}_{np} = \mathcal{E}_{yp} - E_n \cdot K_d.$$

Слід мати на увазі, що економію по собівартості в даному випадку потрібно визначати не за повною, а за частковою технологічною собівартістю, тобто за тими витратами, що безпосередньо залежать від варіанта технологічного процесу. Тому розрахункам економічної ефективності повинен передувати ретельний аналіз структури витрат, які змінюються при здійсненні варіантів технологічного процесу.

При визначенні економічного ефекту методу складання головними складовими є: витрати на технологічні засоби (витрата матеріалів на складальні пристрої, інструмент, устаткування з урахуванням трудомісткості їхнього виготовлення); заробітна плата виробничих робітників; витрати основного виробництва в зв'язку зі зниженням трудомісткості складання, зі зміною кількості робітників, продуктивності праці та виробничих площ.

Наведемо розрахунок зазначених показників економічного ефекту при використанні різних методів складання конструкцій ЛА.

Розрахунок економічних показників вартості оснащення $C_{\text{осн}}$ і собівартості складальних робіт $C_{\text{скл}}$ може бути здійснений таким способом.

Витрати на оснащення

$$C_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i(1+K_p)n_i p_i}{t_n}$$

де C_i – вартість одиниці технологічного оснащення, необхідної для складання даним методом; K_p – коефіцієнт, що враховує витрати на ремонт пристрою ($K_p = 0,5 - 0,6C_i$); n_i – число пристроїв даного типорозміру для використання варіанта методу складання; p_i – коефіцієнт зайнятості пристрою; t_n – термін погашення вартості оснащення ($t_n = 1 + 3$ роки).

Вартість одиниці оснащення

$$C_i = Z_o + M_o + P_{\text{нцо}}$$

де Z_o – повна заробітна плата, яка витрачається на виготовлення одиниці оснащення; M_o – вартість матеріалів, що витрачаються на одиницю оснащення (масу елементів оснащення розраховують за кресленнями); $P_{\text{нцо}}$ – сума непрямих витрат цеху оснащення.

Заробітна плата

$$Z_o = 1,15 \cdot T_o \cdot l_c$$

де T_o – трудомісткість виготовлення одиниці оснащення (трудомісткість може бути визначена за результатами нормування виготовлення конкретного оснащення); l_c – середня годинна ставка по цеху оснащення.

Вартість матеріалів на одиницю оснащення

$$M_o = \sum_{i=1}^k q_{mi} \Pi_{mi} K_{\text{тз}}$$

де q_{mi} – норма витрати матеріалу i -го типорозміру на одиницю оснащення; Π_{mi} – ціна i -го типорозміру матеріалу; $K_{\text{тз}}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати ($K_{\text{тз}} = 1,05 \dots 1,08$).

Непрямі витрати по цеху оснащення

$$P_{\text{нцо}} = P_{\text{ey}} + P_{\text{ц}} = 3_{\text{ц}} (a_{\text{ey}} + v_{\text{ц}})$$

де $P_{cy}, P_{ц}$ – витрати на експлуатацію устаткування і цехові витрати; Z_n – заробітна плата; $a_{cy}, B_{ц}$ – відповідно відсоток витрат на експлуатацію та цехові витрати від заробітної плати.

Зниження собівартості складання виробу $\Delta C_{скл}$ можна досягти за рахунок зменшення трудомісткості складання, вивільнення робітників, підвищення продуктивності праці та зниження потреби у виробничих площах шляхом впровадження більш прогресивного методу складання, тобто

$$\Delta C_{скл} = \Delta T_{скл} + \Delta E_p + \Delta \Pi + \Delta E_{пл}$$

Зменшення трудомісткості складання виробу

$$\Delta T_{скл} = \sum_1^n (t_i^{(1)} S_i^{(1)} - t_i^{(2)} S_i^{(2)}) N_i,$$

де $t_i^{(1)}, t_i^{(2)}$ – трудомісткість складання виробу першого та другого методів; N_i – програма виготовлення складальних одиниць.

Вивільнення робітників дає економію ΔE_p , тобто

$$\Delta E_p = \frac{\sum_1^n (t_i^{(1)} - t_i^{(2)}) N_i}{\Phi_d \cdot K_{вн}}$$

де $t_i^{(1)}, t_i^{(2)}$ – трудомісткість порівнюваних методів складання; Φ_d – дійсний фонд часу роботи складальників; $K_{вн}$ – коефіцієнт виконання норм.

Підвищення продуктивності праці в результаті зниження трудомісткості складальних робіт

$$\Delta \Pi = \frac{t}{100 - t} \cdot 100,$$

де $\bar{t} = \frac{t^{(1)} - t^{(2)}}{t^{(1)}} \cdot 100$.

Економія за рахунок зменшення потреби у виробничих площах

$$\Delta E_{пл} = \sum_1^n \Delta S_i \Pi_{плі} = \sum_1^n (n_i^{(1)} S_i^{(1)} - n_i^{(2)} S_i^{(2)}) \Pi_{плі},$$

де $n_i^{(1)}, n_i^{(2)}$ – число одиниць оснащення порівнюваних варіантів; $S_i^{(1)}, S_i^{(2)}$ – питомі площі на одиницю оснащення; $\Pi_{плі}$ – ціна метра квадратної площі.

2.8.2. Ефект від використання типових технологічних операцій (ТО)

Ефект від заміни багатьох індивідуальних технологічних процесів одним типовим визначають за формулою

$$E_{\text{тп}} = n_{\text{ср}} \cdot C_{\text{ср}} - K \cdot C_{\text{тп}},$$

де $n_{\text{ср}}$ – середнє число процесів, розроблених за рік для групи виробів; $C_{\text{ср}}$ – середня вартість розробки одного індивідуального процесу; K – коефіцієнт, що враховує тривалість дії типового процесу ($K = 1$ при тривалості один рік, $K = 0,2$ при тривалості п'ять років); $C_{\text{тп}}$ – вартість розробки типового технологічного процесу.

Ефект від скорочення термінів технологічної підготовки виробництва визначається залежно від ефективності виробу, який підготовляється до виробництва, тобто

$$\mathcal{E}_{\text{вир}} = \mathcal{E}_{\text{вир}} (T_{\text{ін}} - T_{\text{тп}}) E_{\text{н}},$$

де $E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E = 0,12$); $\mathcal{E}_{\text{вир}}$ – ефект від випуску виробів за розрахунковий рік; $T_{\text{ін}}, T_{\text{тп}}$ – період підготовки виробництва при розробці індивідуальних і типового технологічних процесів.

Ефект від підвищення продуктивності праці, застосування прогресивного устаткування і технологічного оснащення:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{пп}} = & \sum_1^m [(t_{\text{ін}} \cdot 3_{\text{ін}} - t_{\text{тп}} \cdot 3_{\text{тп}}) + \\ & + (t_{\text{ін}(0)}^{(1)} \cdot \Pi_{\text{ін}(0)}^{(1)} - t_{\text{тп}(0)}^{(2)} \cdot \Pi_{\text{тп}(0)}^{(2)}) + \\ & + E_{\text{н}} \frac{1}{\Phi_y} \left(\frac{\Pi_y^{(1)} \cdot t_{\text{ін}(0)}^{(1)}}{K_3^{(1)}} - \frac{\Pi_y^{(2)} \cdot t_{\text{тп}(0)}^{(2)}}{K_3^{(2)}} \right)] \cdot N, \end{aligned}$$

де $t_{\text{ін}}, t_{\text{тп}}$ – норма часу робітника на операцію; $3_{\text{ін}}, 3_{\text{тп}}$ – повна заробітна плата за одиницю часу робітника; $t_{\text{ін}(0)}, t_{\text{тп}(0)}$ – час завантаження устаткування однією операцією (відрізняється від $t_{\text{ін}}, t_{\text{тп}}$ при багатOVERSTATному обслуговуванні);

$\Pi_{\text{ін}(0)}^{(1)}, \Pi_{\text{тп}(0)}^{(2)}$ – вартість однієї хвилини (або години) роботи устаткування; $E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_{\text{н}} = 0,12$); Φ_y –

річний фонд часу роботи устаткування; $\Pi_y^{(1)}$, $\Pi_y^{(2)}$ – вартість устаткування;

$K_3^{(1)}$, $K_3^{(2)}$ – коефіцієнт завантаження устаткування.

Ефект від скорочення тривалості циклу виробництва:

$$\Delta_{\text{пр}} = C_{\text{вир}} \cdot N \cdot E_{\text{н}} (1 + \Delta C_{\text{м}}) \left(T_{\text{ин(ц)}} - T_{\text{тп(ц)}} \right) \frac{1}{2 \cdot \Phi_{\text{пр}}}$$

де $C_{\text{вир}}$ – собівартість виробу; N – програма випуску; $E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень; $\Delta C_{\text{м}}$ – питома вага матеріалів і покупних виробів у собівартості; $T_{\text{ин(ц)}}$, $T_{\text{тп(ц)}}$ – тривалість виробничого циклу; $\Phi_{\text{пр}}$ – річний фонд часу роботи підприємства.

2.8.3. Оцінка продуктивності нових технологій

Технологічний процес є інформаційною моделлю виробничого процесу, що являє собою організовані дії засобів праці над предметами праці. Саме тому від рівня досконалості технологічного процесу, реалізованого в ході виконання виробничого процесу, істотно залежить якість готового виробу. Рівень досконалості технологічного процесу може бути охарактеризований відношенням показників якості порівнюваного й аналогічного технологічних процесів:

$$\alpha = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{а}}} \cdot 100\%$$

де $K_{\text{н}}$ – показник якості нового технологічного процесу; $K_{\text{а}}$ – показник якості аналогічного технологічного процесу.

Як правило, кращим є той технологічний процес, в якому застосовуються більш досконалі знаряддя праці, що забезпечують високу якість виробу і продуктивність праці, наприклад, використання пресового клепання при складанні виробів замість клепання молотками. Однак не слід при цьому забувати, що застосування більш досконалих знарядь праці потребує великих первісних витрат, що в більшості випадків справджує себе лише при крупносерійному і масовому виготовленні виробів. Підбір оптимального технологічного процесу для заданих виробничих умов слід здійснювати шляхом порівняння варіантів можливих технологічних процесів і відбору їх за мінімумом зведених витрат:

$$\Delta_{\text{пр}} = (C_1 - C_2)N - E_{\text{н}}(K_2 - K_1),$$

де C_1 – технологічна собівартість виробу, досягнута за першим і другим варіантами; K_1 – капітальні витрати на реалізацію першого та другого варіантів

технологічного процесу; E_{II} - нормативний коефіцієнт окупності капітальних витрат ($E = 0,12$); N - обсяг випуску виробів у заданому періоді часу.

Знаряддя праці, головним чином машини, верстати, складальні установки довгострокової дії, можуть бути використані для виробництва однотипних виробів або виробів, що виготовляються протягом ряду років. Такі знаряддя праці протягом їхньої експлуатації повинні забезпечувати заданий рівень продуктивності, що диктується соціально-економічними потребами суспільства, що розвивається, і повинен зростати щорічно.

Рівень продуктивності характеризується відношенням продуктивності нових і діючих технологій:

$$\lambda = \frac{P_{II}}{P_a} \cdot 100\%$$

де P_{II} - продуктивність нової технології; P_a - продуктивність аналога. Коректне рішення про продуктивність нового технологічного процесу або знаряддя праці можна скласти на основі співвідношення між обсягом виробничої продукції та сумарних витрат, які були потрібні для його випуску:

$$P = \frac{Q\tau}{T_{II} + (T_v + T_j) \cdot \tau}$$

де Q - кількість продукції (у штуках, тоннах і т.д.), випущеної за одиницю часу (рік); τ - кількість років експлуатації знарядя праці; T_{II} - одноразові витрати минулої праці на виготовлення засобів праці й освоєння нового технологічного процесу; T_v - поточні витрати минулої праці на виготовлення інструменту, вироблення електроенергії, одержання заготовок і т.п.; T_j - поточні витрати живої праці на виготовлення продукції (зарплата).

Якщо виразити минулу працю в частках живої праці як

$$T_{II} = k \cdot T_j, \quad T_v = m \cdot T_j,$$

то продуктивність праці на новому обладнанні

$$P = \frac{Q\tau}{T_j (k + \tau(m + 1))}$$

де k - коефіцієнт, що визначає співвідношення між живою і минулою працею та характеризує ступінь технічної озброєності живої праці; m - коефіцієнт, що показує співвідношення між живою працею і поточними витратами минулої праці та характеризує енергоматеріаломісткість живої праці.

Аналіз формули продуктивності праці свідчить про те, що упредметнена праця, вкладена в створення знарядь праці за новим технологічним процесом, може за певних умов відігравати двояку роль: або забезпечувати заданий рівень продуктивності праці, або відставати від нього (рис. 2.11).

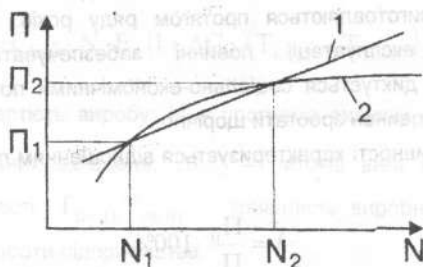


Рис. 2.11. Графік залежності $\Pi=f(N)$: 1 - задана продуктивність; 2 - одержувана продуктивність

На ділянці $N_{1\text{кр}}^1 - N_{2\text{кр}}^2$ нові знаряддя праці (новий технологічний процес) забезпечують задану суспільно необхідну продуктивність (або перевершують її).

На ділянці $> N_{2\text{кр}}^2$ продуктивність нової технології сповільнюється і вступає в протиріччя з розвитком продуктивності суспільної праці, тому що запланований ріст продуктивності виявляється вище того, який може забезпечити дане знаряддя праці. Настає так зване можливе старіння техніки, на зміну якої повинна прийти нова, більш досконала, що забезпечує заданий ріст продуктивності праці.

Ріст продуктивності порівнюваних технологій може бути виражений залежністю

$$\lambda = \frac{\Pi_n}{\Pi_a} = \frac{Q_2 T_{ж}^1}{Q_1 T_{ж}^2} \cdot \frac{K_1 + \tau(m_1 + 1)}{K_2 + \tau(m_2 + 1)}$$

Аналіз формули росту продуктивності праці показує, що нові технології виробництва будуть ефективні в таких випадках:

- підвищення кількості продукції, що виготовляється за одиницю часу;
- зменшення витрат живої праці;
- зменшення витрат на створення нових технологій;
- зменшення витрат на електроенергію, інструмент, заготовки.

Ця формула дозволяє також оцінити і фактор часу введення в експлуатацію нової технології. Дійсно, якщо введення нової технології в експлуатацію зсунути в

часі, то може виникнути ситуація, зображена на графіку (рис. 2.12). З наведеного графіка видно, що нова технологія дає найбільший ефект, якщо вона вводиться в експлуатацію відповідно до кривої 1, і не буде ефективною, якщо її ввести в експлуатацію згідно з кривою 3, тому що нова технологія і засоби для її здійснення морально застарівають вже в той момент, який відповідає початку їхнього проектування.

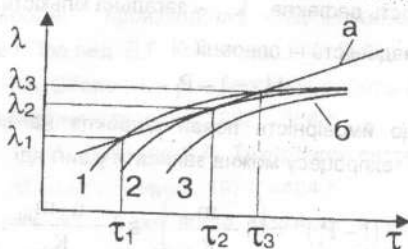


Рис. 2.12. Графік залежності $\lambda=f(\tau)$: а - заданий рівень продуктивності; б - рівень (1,2,3) продуктивності, який досягається

Таким чином, ще на стадії проектування шляхом розрахунків можна установити терміни морального зносу нових знарядь праці, що дозволяє науково обґрунтувати періоди змінюваності засобів виробництва і своєчасно готувати нові прогресивні знаряддя праці замість застарілих.

2.8.4. Оцінка надійності технологічного процесу

Якість продукції, що випускається, залежить не тільки від рівня досконалості технологічних процесів, але й від його надійності.

Якщо під надійністю техпроцесу розуміти виготовлення придатних деталей, які відповідають технічній документації, то кількісно надійність будь-якого технологічного процесу можна виразити як відношення кількості придатних виробів до сумарної кількості виготовлених:

$$H_{\text{тп}} = \frac{n_{\text{п}}}{n_{\Sigma}}$$

Оскільки технологічний процес складається з ряду операцій, які, в свою чергу, можна виконати з певним ступенем надійності, то

$$H_{\text{тп}} = \sum_{i=1}^n H_i \cong \prod_{i=1}^n H_i \cong H_i^n,$$

де H_i – надійність i -ї операції техпроцесу; n – кількість робочих місць.

Ймовірність появи браку може бути охарактеризована відношенням середньої кількості дефектів при виконанні операцій на одному робочому місці до загальної кількості операцій, що виконуються на тому ж самому робочому місці:

$$P_i = \frac{m_{in}}{k_{in}}$$

де m_{in} – середня кількість дефектів, k_{in} – загальна кількість операцій.

У такому випадку надійність i -ї операції

$$H_i = 1 - P_i$$

Якщо вважати, що ймовірність появи дефектів на всіх робочих місцях однакова, то надійність техпроцесу можна записати у вигляді

$$H_i = (1 - P_i)^n = \left(1 - \frac{m_{in}}{K_{in}}\right)^n \cong 1 - \frac{n \cdot m_{in}}{K_{in}}$$

де n – кількість робочих місць при виконанні техпроцесу.

Аналіз цієї залежності показує, що надійність технологічного процесу тим більше, чим менше кількість робочих місць, що дають потенційно можливі дефекти при виготовленні продукції.

Виявлення таких техпроцесів, які схильні до виготовлення дефектної продукції, є важливим завданням у вирішенні проблеми якості виробів, що випускаються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабушкин А.И. Методы сборки самолетных конструкций. - М.: Машиностроение, 1985. - 248 с.
2. Бабушкин А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1990. - 240 с.
3. Технология производства летательных аппаратов: Курсовое проектирование / Под ред. В.Г. Кононенко. - К.: Вища школа, 1974. - 224 с.
4. Зернов И.А. Сборочные и монтажные работы в производстве космических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1992. - 304 с.
5. Гаврилов А.Н., Лебедев И.А. Технология систем управления летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1971. - 484 с.
6. Чернышев А.В. Технология монтажа и испытаний бортовых систем летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1977. - 336 с.
7. Иващенко И.А. Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1981. - 224 с.
8. Шекунов Е.П. Основы технологического членения конструкций самолетов. - М.: Машиностроение, 1968. - 167 с.
9. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. - М.: Машиностроение, 1973. - 640 с.
10. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. - М.: Наука, 1968. - 288 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
Розділ 1. СКЛАД І ЗМІСТ РОБІТ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА НОВИХ ЛА	6
1.1. Роль і місце підготовки виробництва у життєвому циклі ЛА	6
1.2. Основні задачі та методи технологічної підготовки виробництва (ТПВ)	8
1.3. Етапи і зміст робіт по підготовці виробництва нових ЛА	9
1.4. Директивні матеріали і директивні технологічні процеси	11
1.5. Вартість і тривалість розробки нових ЛА	16
1.6. Шляхи скорочення термінів підготовки виробництва нових ЛА	18
1.7. Забезпечення технологічності конструкцій ЛА	19
1.7.1. Загальні правила відпрацювання конструкцій виробу на технологічність і показники технологічності	20
1.7.2. Правила вибору показників для оцінки технологічності конструкції ЛА	28
1.7.3. Способи забезпечення технологічності конструкцій ЛА	30
Розділ 2. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ РОБОЧОЇ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ	33
2.1. Склад робіт	33
2.2. Оптимальне членування планера ЛА на підскладання	34
2.3. Розробка схем базування при складанні конструкції планера ЛА	36
2.4. Вибір методу складання частин планера ЛА	39
2.5. Розрахунки очікуваної точності конструкцій планера ЛА	42
2.5.1. Утворення розмірів і форм виробів при складанні	42
2.5.2. Класифікація похибок, що визначають точність складання виробів	45
2.5.3. Розмірні ланцюги для розрахунків точності складання виробів	47
2.5.4. Основні аналітичні залежності, які описують етап складання, для визначення очікуваної точності виробів	49
2.5.5. Методика розрахунку розмірних ланцюгів	52
2.6. Розробка технологічних схем складання конструкцій ЛА	56
2.6.1. Вибір послідовності встановлення складальних елементів при складанні	56
2.6.2. Моделювання послідовності встановлення елементів конструкції при складанні	63
2.6.3. Оптимізація технологічних схем складання	68
2.7. Розробка робочих технологічних процесів	71
2.7.1. Вихідні дані для розробки технологічного процесу	71
2.7.2. Етапи проектування технологічного процесу	72
2.7.3. Типові технологічні процеси і технологічні операції	83
2.8. Оцінка ефективності технологічних процесів виробництва ЛА	89
2.8.1. Витрати на створення і порівняльний техніко-економічний аналіз варіантів складання	89
2.8.2. Ефект від використання типових технологічних операцій (ТО)	93
2.8.3. Оцінка продуктивності нових технологій	94
2.8.4. Оцінка надійності технологічного процесу	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	99

Анатолій Іванович Бабушкін
Георгій Олексійович Кривов
Олександр Анатолійович Бабушкін

**ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
ДОКУМЕНТАЦІЇ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА
НОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Редактор Л.О. Кузьменко
Коректор А.М. Ємленінова

в. план, 2001

ідписано до друку

28.01.2001

ормат 60X84 $\frac{1}{16}$

Папір офс. №2. Офс. друк.

мовн.-друк. арк. 5,6.

Облік.-від. арк. 6,31. Т. 500 прим.

амовлення 79

Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
Ротапринт друкарні «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17