

doi: 10.32620/oikit.2023.97.08

УДК 629.73:338.45.05(477)

Толстой С.А.¹,
Сухов В.В.²,
д.т.н., проф.

Деякі технологічні аспекти складання агрегатів сучасних літаків

¹Київський авіаційний фаховий коледж, ²НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Розглянуто структуру трудомісткості виготовлення ЛА, в якій більшу частину займає саме агрегатне та остаточне складання. Сформована необхідність перерозподілу робіт між різними видами виробництв для подальшого зменшення трудомісткості складання шляхом формування додаткових вимог до конструктивних елементів, які відрізняються від конструкторської документації та виконання яких передбачувалося би при складанні. Визначено основні шляхи зменшення трудомісткості агрегатного і остаточного складання сучасних ЛА, які полягають у підвищенні рівня виробничої технологічності конструкцій, комплексній механізації та автоматизації виробництва.

Розглянуто основні тенденції орієнтації авіаційного виробництва на використання сучасних засобів технологічного оснащення. Запропоновано конкретизацію використання в технічній літературі понять «складальний пристрій» та «стапель» для визначення чітких орієнтирів для встановлення певного виду технологічного оснащення в залежності від ряду чинників. Виконано огляд вітчизняних та зарубіжних технологій складання і стикування агрегатів авіаційних конструкцій, сформовано прогностичні дані щодо точності отримуваних стиків. Зроблено висновок щодо наявності вітчизняної (радянської, у своїй більшості) практики авіабудування, яка передбачає виконання операцій з'єднання тут же, в стапелі, з використанням, переважно, вбудованих (переносних) або ручних механізованих інструментів, що веде до великого обсягу ручної праці, а необхідність доведення стиків відсіків і агрегатів «на місці» також унеможлиблює забезпечення високих точностних параметрів зони стику. Розглянуто приклади процесів стикування відсіків фюзеляжу літаків закордонного виробництва з використанням стендів безстапельного стикування або мобільних роботизованих платформ, які інтегруються з системою координат літака і дозволяють з високою точністю розміщувати отвори, свердлили їх та ставити кріпильні елементи. Виконано аналіз чинників, які впливають на кінцеву точність при складальних і стикувальних роботах, за різних «шкіл» складання авіаційних конструкцій. Зроблено огляд деяких представників технологічного автоматизованого оснащення для виконання складальних робіт. Запропоновано перелік оптимальних критеріїв оцінювання виробничої технологічності при виконанні з'єднань при складанні авіаційних конструкцій.

Ключові слова: складання; засоби технологічного оснащення; технологічність; точність; стикування; оцінювання технологічності.

Вступ

Фінальна стадія створення літального апарата (далі – ЛА), а саме остаточне складання, передбачає фактично передостанню (перед першим випробувальним польотом) перевірку правильності всіх закладених в конструкцію інженерних ідей. Саме тут, в агрегатно-складальних цехах та цехах остаточного складання основного виробництва авіабудівного підприємства, об'єднуються між собою компоненти, які надійшли на склади цих виробничих площ від суміжників, розташованих як на одній території з заводом, так і в інших містах та країнах світу. І роль технології при виконанні таких робіт грає неабияку роль.

Як відомо [1], у структурі трудомісткості виготовлення ЛА більшу частину займає саме агрегатне та остаточне складання. Зменшення навантаження на ці

види виробництва є актуальною задачею для технологів, нормувальників, працівників планових служб. Одним із очевидних та простих вирішень такої задачі є зниження трудомісткості вказаних фінальних стадій виробництва за рахунок збільшення трудомісткості інших видів виробництва (заготівельно-штампувального, механоскладального тощ). «Класичним» способом реалізації такого підходу є отримання конструктивних елементів (отворів, контурів, обводів, розмірів тощо) на деталях і складальних одиницях (далі – Скл.Од.), не передбачених конструкторською документацією (далі – КД), на стадії їх виробництва; при цьому, виконання цих конструктивних елементів передбачено КД на відсіки, агрегати, планери, які виробляються саме у складальних цехах.

Пропозиції щодо переносу частини таких робіт зі складального цеху в цеха інших видів виробництва повинні вносити технологи саме складального цеху, причому оперативно, безпосередньо після отримання і опрацювання КД. Такі пропозиції на авіаційних підприємствах колишнього СРСР, а зараз і на українських, реалізуються у вигляді технічних умов постачання складових частин на складання (далі – ТУ на складання). Форми цих ТУ можуть різнитися, але інформативна складова їх однакова: визначення додаткових вимог до конструктивних елементів, які відрізняються від КД та виконання яких передбачувалося би при складанні.

Фактично наявність ТУ на складання веде до збільшення обсягів роботи технологів-складальників і технологів суміжних цехів інших видів виробництва, які повинні прийняти і узгодити ці ТУ, з урахуванням поточних виробничих потужностей конкретного виробництва, технічної можливості їх реалізації, доцільності. Саме останнє – доцільність – має найбільші негативні наслідки, адже призводить до бюрократизації процесу, збільшенню циклів узгоджень і підписань, що веде до зростання трудомісткості процесу, зменшення якого було метою всіх робіт із розробки і погодження ТУ на складання [2].

Відмова від додаткових вимог до конструктивних елементів можлива за умови внесення інформації в КД щодо виконання відразу всіх її вимог, згідно кресленню, електронної моделі чи іншого виду документації. За такої ситуації, у технолога складального цеху не буде необхідності в розробці ТУ на складання, а у технологів суміжних цехів – очікування на вказаний документ від колег-складальників. Таким чином, впливає досить проста методологія зменшення трудомісткості складальних робіт: це забезпечення високого ступеня виробничої технологічності, яка як раз і полягає у мінімізації трудових і матеріальних витрат на виготовлення виробів на конкретному підприємстві, за конкретною програмою випуску, із застосуванням конкретних же засобів технологічного оснащення [3] (далі – ЗТО).

Щодо останнього тезису, то наявність сучасних ЗТО на підприємстві є необхідною умовою його розвитку та забезпечення конкурентоздатності зі збереженням вигідних позицій на ринку [4]. Собівартість продукції, яка включає в себе відповідні загальновиробничі та інші витрати, пов'язані з експлуатацією ЗТО, тим оптимальніша, чим сучасніші засоби використовуються. Радянська і пострадянська (а тепер, на жаль, і загальноукраїнська) тенденція до економії витрат на закупівлю ефективних прогресивних ЗТО на виробництво в сучасному світі викликає зрозумілий подив і відмову від співпраці зі сторони потенційних і часто вже існуючих замовників, які мали змогу побувати на виробництві такого виконавця робіт. Технічне переозброєння виробництва, таким чином, стає не просто показником дохідності, а просто нагальною потребою для існування фірми, яка має на меті створення ЛА.

Орієнтація виробництва на сучасні ЗТО повинна відбуватися в наш час виключно з точки зору забезпечення комплексної механізації і автоматизації [5], і це в повній мірі стосується складальних процесів. Ряд консалтингових та (або) інжинірингових компаній, акредитованих на виконання робіт в авіаційній сфері – BrötjeAutomation (Німеччина), Torres (Іспанія), Gemcor (США) та ін. – займають впевнені позиції на ринку надання послуг із

- аналізу стану існуючого виробництва;
- розробки програми технічного переозброєння існуючого виробництва;
- формування концепції та ідеології нового виробництва під конкретні виробничі площі та програми випуску;
- проектування, виготовлення, постачання, монтаж, налаштування відповідних спеціальних ЗТО, а також навчання персоналу замовника.

Вказані фірми мають спільну рису, яка полягає у забезпеченні згаданого вище комплексного підходу до забезпечення виробництва відповідними ЗТО, а питання осучаснення виробництва розглядають виключно із цієї позиції. Автоматизація ж виробництва в цілому чи окремих технологічних процесів вказаними фірмами визначається як абсолютна необхідність.

1. Вітчизняна школа агрегатного складання і стикування

Як у складі СРСР, так і після його розпаду, в Україні успішно функціонували три авіабудівні майданчики: два – у Києві (КБ О. К. Антонова, він же Київський механічний завод, згодом – АНТК ім. О. К. Антонова, і Київський державний авіаційний завод «Авіант») та один – у Харкові (Харківський авіаційний завод, згодом – Харківське державне авіаційне виробниче підприємство, ХДАВП). Як відомо, з 2009 р. два київських підприємства об'єдналися в одне – ДП «АНТОНОВ», а ХДАВП приблизно із цього часу і до сьогодні перебуває в режимі стагнації та фактично знаходиться на стадії підготовки до офіційного статусу банкруту. Виробничі потужності обох підприємств зазнавали різних коливань останні три десятиріччя, а особливо у 1990-х рр., але в цілому по всіх видах виробництв, як у Києві, так і Харкові, парк ЗТО суттєво не змінився, у тому числі на розглядуваному у статті агрегатному і остаточному складанні ЛА [6]. Те ж стосується і, в цілому, виробничих традицій обох підприємств, які напряму залежать від використовуваних ЗТО.

Агрегатне складання (фюзеляжу, крила, оперення тощо) передбачає наявність засобів складального оснащення, які несуть на собі відповідні складальні бази [7]. Доволі часте розділення в технічній літературі складального оснащення на складальні пристосування (далі – СП) та, окремо, стапелі може розглядатися як намагання визначити чіткі орієнтири для призначення того чи іншого виду технологічного оснащення, в залежності від ряду чинників. Проведений авторами огляд та систематизація таких чинників дозволив зробити висновок, що стапелем є складальне оснащення для складання відсіків і агрегатів ЛА. Для складання ж вузлів, панелей і секцій найчастіше використовується термін «СП». Саме з урахуванням цієї тези розглядатимуться процеси остаточного складання агрегатів далі.

Враховуючи, що поняття «складання агрегату» передбачає комплекс робіт з базування, закріплення і виконання з'єднань між собою відсіків, секцій, панелей, вузлів і деталей, які надходять на складання цього агрегату, можна говорити про стапель як оснащення, конструкція якого передбачає виконання перших двох із означених операцій, а саме базування і закріплення (далі разом – установка [8]).

Вітчизняна (як і радянська у своїй більшості) практика авіабудування передбачає виконання операцій з'єднання тут же, в стапелі, з використанням, переважно, вбудованих (переносних) або ручних механізованих інструментів (далі – МІ) [9].

Стикування виготовлених агрегатів планера є дуже важливим та відповідальним процесом, від якого також залежить остаточний результат складання всього літака. Основна задача стикувальних робіт – отримання повністю складеного планера, із забезпеченням заданих вимог до якості стиків відсіків фюзеляжу, крила та оперення, їх взаємного позиціонування, вписуваності, геометричних параметрів, тощр.

Операція стикування відсіків (агрегатів) ЛА на вітчизняних підприємствах передбачає аналогічні складанню операції, але виключно в зоні стику; замість стапеля використовується інше технологічне оснащення – стикувальні стенди, які фактично представляють собою візки з ложементами [10] та іншими базовими і закріплюючими елементами (рисунок 1).



Рис. 1. Стикування агрегатів літака на ДП «Антонов»:

а – Ан-148, серійний зразок [фото <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD-178#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Antonov178Peru.jpg>];

б – Ан-140, перший дослідний зразок [фото <https://www.antonov.com/en/history/an-140>]



Рис. 2. Стенд для стикування відсіків фюзеляжу літака Ан-148

[фото https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39401/1/Vukhor_magistr.pdf]

Базування відсіків (агрегатів) при стикуванні відбувається, як правило, по базовим поверхням ложементів візків, з подальшою взаємною орієнтацією вже на місці. Як і при складанні, такий підхід передбачає великий обсяг ручної праці,

а необхідність доведення стиків відсіків і агрегатів «на місці» також унеможливує забезпечення високих точностних параметрів зони стику.

На рисунку 2 показаний процес стикування відсіків фюзеляжу за допомогою стикувального стенда.

При цьому агрегати базуються по поверхні рубильників або ложементів, а також по базовим отворах (далі – БО). З'єднання в зоні стику виконуються вручну, із застосуванням МІ. Якість і точність стику в цьому випадку залежить від точності та якості виготовлення базових елементів оснастки та самих агрегатів. Даний спосіб має досить низьку точність і високу трудомісткість. А необхідність підгонки з'єднаних агрегатів на місці, трудомісткі процедури взаємного позиціонування та контролю вписуваності тягнуть за собою збільшення циклу виготовлення фюзеляжу, самого літака, що веде, зрозуміло, до збільшення його вартості.

2. Зарубіжна школа агрегатного складання і стикування

Починаючи з 1970-х рр., західні авіабудівні компанії вже активно впроваджували в своє виробництво нові технології складання і стикування агрегатів літаків. Поступовий перехід до проектування конструкцій в САД-системах дозволив виконати технологічне переоснащення виробничих потужностей новим складальним і стикувальним обладнанням. Всі ці зміни дозволили значно підвищити продуктивність праці та зменшити трудомісткість виготовлення агрегатів і літаків в цілому, забезпечивши виконання надвисоких вимог до якості складальних конструкцій.

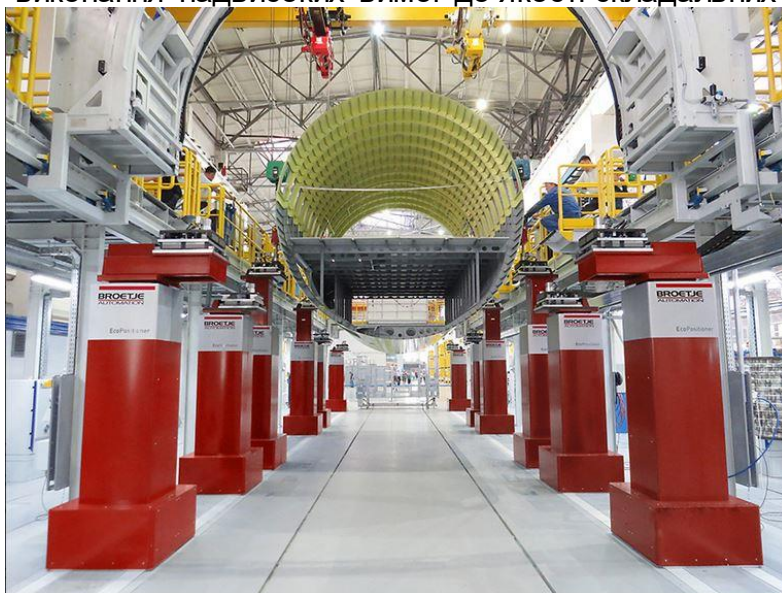


Рис. 3. Стенд безстапельного стикування фюзеляжу
[фото http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39401/1/Vykhor_magistr.pdf]

На провідних авіабудівних підприємствах стикувальний процес максимально автоматизований завдяки використанню високотехнологічного обладнання [11]. Так, при стикуванні відсіків фюзеляжу використовуються стенди безстапельного стикування (рисунок 3) або мобільні роботизовані платформи (рисунок 4), які інтегруються з системою координат літака і дозволяють з високою точністю розміщувати отвори, свердлили їх та ставити кріпильні елементи.



Рис. 4. Роботизована мобільна платформа
[фото http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39401/1/Vykhor_magistr.pdf]

Базування об'єктів стикування на стенді / роботизованій установці виконується без фізичного оснащення, шляхом інформаційного суміщення систем координат. Таке базування також називають інформаційним базуванням. Для цього застосовуються лазерні трекери (рисунок 5), які мають дуже високу точність вимірювання.



Рис. 5. Використання лазерних трекерів
для точного позиціонування агрегатів при стикуванні
[фото http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39401/1/Vykhor_magistr.pdf]

Висока точність процесу досягається завдяки використанню 3D-моделей агрегатів та лазерних трекерів, які дають відхилення до $\pm 0,003$ мм. При стикуванні створюється система координат стенду за допомогою трекера, сканується реальна поверхня агрегату і порівнюється з CAD-моделлю. Далі отриманий масив точок порівнюється з реальним, і створюється єдина система координат для стенду та агрегату, який стикується. Таким чином, потреба в фізичній спільній базі відпадає, що дає дуже високу точність стикування, зменшення матеріальних і часових витрат [12].

Додатково контроль положення отворів на стиках та контуру стику можли-

вий з використанням цифрового щупа (рисунок 6), який діє по принципу фотограметрії: сканування і відображення координат об'єкту на комп'ютері.



Рис. 6. Сканування поверхні цифровим щупом
[фото http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39401/1/Vykhor_magistr.pdf]

Процес стикування з використанням такого обладнання дозволяє зменшити цикл виготовлення приблизно на 30...40 %, а вплив «людського фактору» майже нівелюється при забезпеченні точності стику.

Щодо складання, то все більшого розвитку на зарубіжних авіабудівних підприємствах набирають роботизовані платформи (рисунок 7), які самостійно виконують переміщення по заданим координатам та виконують клеपालні операції.



Рис. 7. Роботизована система Brötje Automation для виконання автоматичного клепання [фото <https://broetje-automation.de/company/group/ba-usa/>]

При складанні літаків компанії «Boeing» та «Airbus» виконання з'єднань займає переважну позицію: вони в автоматичному режимі реалізують операції виконання отворів і клепання у легкодоступних і обмежено доступних місцях конструкції (рисунок 8), а відсоток ручної праці залишається мінімальним і виключно

у важкодоступних місцях. Для переміщення агрегатів та їх тимчасового позиціонування під час складальних і стикувальних робіт широко використовуються мобільні платформи з ЧПК (рисунок 9), які мають високу (до 20 і більше тон) вантажопідйомність і найоптимальніші траєкторії переміщення у виробничих приміщеннях.



Рис. 8. Роботи німецької компанії KUKA виконують клепальну операцію, самостійно переміщуючись вздовж відсіку фюзеляжу [фото http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39401/1/Vykhor_magistr.pdf]



Рис. 9. Мобільна платформа компанії KUKA [фото <https://www.kuka.com/fr-ch/notre-entreprise/presse/nouvelles/2016/11/kuka-omnimove-for-airbus-in-stade>]

3. Забезпечення технологічності стиків

Технологічна конструкція, як відомо [14], полягає у відповідності вимог до Скл.Од., закладених у КД, і можливостей конкретного підприємства-виробника

(технології, ЗТО тощо). Розділяючи поняття «технологічність» на дві категорії, а саме виробничу і експлуатаційну, саме перша є визначаючою для складання авіаційних конструкцій.

Технологічний виріб є запорукою отримання оптимальних витрат на технологічну підготовку виробництва, мінімального циклу процесу складання і умовою співпраці із суміжниками, для яких це поняття є одним із головних при укладанні договорів щодо коопераційних зв'язків. Технологічність як властивість конструкції підпорядковується досить жорстким вимогам «тут» і «тепер», що означає оптимальні умови виготовлення на даному підприємстві (-вах), із забезпеченням планованої програми випуску, а тому є досить суб'єктивним поняттям. Створити технологічний виріб як такий – це результат плідної системної роботи конструкторів і технологів конкретного виробництва (або виробництв, об'єднаних спільними технологіями і застосовуваними ЗТО).

У радянські часи вітчизняне нормативно-технічне забезпечення оцінювання рівня виробничої технологічності [15, 16 та ін.] було досить вичерпним і дозволяло проаналізувати авіаційну конструкцію з точки зору можливості її виготовлення на усередненому підприємстві, тому що, в цілому, забезпечення авіаційних підприємств країни відповідними ЗТО і рівень техніко-технологічного стану виробництв був ідентичний. Наразі, коли кожне авіабудівне підприємство має власне бачення розвитку, а намагання зберегти конкурентні позиції на ринку вимагає проведення технічного переоснащення [2] відповідно до створюваних прогресивних технологій, необхідно змінювати і підхід до оцінювання рівня технологічності.

Так, згідно [16], оцінювання рівня технологічності може проводитися за якісними і кількісними критеріями. Якісна оцінка заснована на інженерно-візуальних методах та проводиться по окремим конструктивним і технологічним ознакам і, як правило, передує кількісній оцінці, але цілком сумісна з нею на всіх стадіях проектування. Якісна оцінка одного конструктивного виконання виробу здійснюється на підставі аналізу відповідності його основним вимогам до технологічності по критеріях «добре – погано», «допустимо – неприпустимо», «технологічно – нетехнологічно» тощо.

Аналіз ряду публікацій і нормативно-технічних документів, присвячених темі оцінювання рівня технологічності, дав змогу сформулювати узагальнені рекомендації щодо відповідності авіаційних конструкцій (а саме зон стиків відсіків і агрегатів, які є об'єктами остаточного складання) вимогам технологічності за якісними критеріями:

1) Вимоги до нерознімних з'єднань. При виборі виду нерознімних з'єднань із числа з'єднань, які мають рівну міцність, стійкість до зовнішніх впливів і т.д., слід надавати перевагу з'єднанню, яке може бути утворене при мінімальних витратах ресурсів та є більш раціональним технологічно при виконанні операцій контролю. Характеристики застосовуваних матеріалів і форми заготовок, як правило, повинні бути такими, щоб в результаті виконання з'єднуючих операцій не виникала необхідність у додаткових операціях обробки і контролю.

2) Вимоги до рознімних з'єднань. При виборі виду рознімних з'єднань із чи-

сла з'єднань, що мають рівні техніко-експлуатаційні характеристики, слід застосовувати той вид з'єднання, який вимагає найменших витрат на виконання операцій монтажу і демонтажу в умовах виробництва, транспортування, технічного обслуговування і ремонту. У конструкції з'єднання слід використовувати такі форми конструктивних елементів і матеріали, які дозволяють формувати або розформувати з'єднання за допомогою мінімального числа операцій монтажу і демонтажу та виключати, при цьому, необхідність подальшої додаткової обробки елементів з'єднання і можливість зниження його надійності в експлуатації.

Оцінювання рівня технологічності за кількісними критеріями повинно проводитися, як правило, після оцінювання за якісними критеріями. Результати такої роботи більш об'єктивні, адже, на відміну від якісного, є можливість отримати саме величини показників, виражені у відсотках від максимального (який приймається за одиницю або 100 %). Необхідність кількісної оцінки технологічності конструкції виробів, а також номенклатуру показників і методику їх визначення встановлюють галузеві стандарти або стандарти підприємства, залежно від виду виробів, типу виробництва та стадії розробки конструкторської документації. Єдиного підходу до визначення номенклатури кількісних показників нема, і навіть у згаданих нормативно-технічних документах радянського періоду системне бачення у вирішенні цього питання відсутнє.

Враховуючи, що переважаючою операцією при стикуванні відсіків і агрегатів планеру літака є операція виконання з'єднань, пропонується наступна авторська номенклатура кількісних критеріїв технологічності зон стиків:

1) Коефіцієнт пресового kleпання $K_{пк}$:

$$K_{пк \text{ шв}} = \frac{n_{закл. пр. шв}}{n_{закл. \Sigma \text{ шв}}}, \quad (1)$$

де $n_{закл. пр. шв}$ – кількість заклепок у шві, що клепаються пресовим способом, шт.;
 $n_{закл. \Sigma \text{ шв}}$ – кількість заклепок у шві всього, шт.

2) Коефіцієнт автоматичного зварювання $K_{аз}$:

$$K_{аз \text{ шв}} = \frac{l_{зв. авт. шв}}{l_{зв. \Sigma \text{ шв}}}, \quad (2)$$

де $l_{зв. авт. шв}$ – довжина ділянки у зварному шві, отриманою автоматичним способом, мм;
 $l_{зв. \Sigma \text{ шв}}$ – довжина зварного шва, мм.

3) Коефіцієнт уніфікації кріпильних елементів (далі – KE) $K_{ун. KE}$:

$$K_{ун. KE \text{ шв}} = \frac{n_{KE \text{ уніф. шв}}}{n_{KE \Sigma \text{ шв}}}, \quad (3)$$

де $n_{KE \text{ уніф. шв}}$ – кількість уніфікованих KE у шві, шт.;
 $n_{KE \Sigma \text{ шв}}$ – кількість KE у шві всього, шт.

4) Коефіцієнт виступання голівок KE $K_{вз. KE}$:

$$K_{\text{вг KE шв}} = \frac{n_{\text{KE вист гол. шв}}}{n_{\text{KE } \Sigma \text{ шв}}}, \quad (4)$$

де $n_{\text{KE вист. гол. шв}}$ – кількість KE з виступаючими голівками у шві, шт.;
 $n_{\text{KE } \Sigma \text{ шв}}$ – кількість KE у шві всього, шт.

5) Коефіцієнт доступності місць з'єднань $K_{\text{дмз}}$:

$$K_{\text{дмз шв}} = \frac{n_{\text{з. вільн. дост. шв}}}{n_{\text{KE } \Sigma \text{ шв}}}, \quad (5)$$

де $n_{\text{звільн. дост. шв}}$ – кількість з'єднань з вільним доступом* у шві, шт.

*Примітка. Маються на увазі з'єднання, виконання яких потребує стандартних ЗТО з «класичними» робочими органами, переважно, прямого виконання (для МІ – прямого і «пістолетного» виконання).

6) Коефіцієнт вільних посадок $K_{\text{вп}}$:

$$K_{\text{вп шв}} = \frac{n_{\text{кріп. точ. зазор. шв}}}{n_{\text{KE } \Sigma \text{ шв}}}, \quad (6)$$

де $n_{\text{кріп. точ. зазор. шв}}$ – кількість кріпильних точок з отворами з посадками з зазором у шві, шт.

7) Коефіцієнт зрізання пакету $K_{\text{зп}}$:

$$K_{\text{зп зон}} = \frac{n_{\text{дет. 2 пак. зон}}}{n_{\text{дет. } \Sigma \text{ пак зон}}}, \quad (7)$$

де $n_{\text{дет. 2 пак. зон}}$ – кількість кріпильних точок з поєднанням не більше двох деталей в пакеті у вибраній зоні конструкції, шт.;
 $n_{\text{дет. } \Sigma \text{ пак зон}}$ – кількість кріпильних точок з зі всіма можливими поєднаннями деталей в пакеті у вибраній зоні конструкції, шт.

8) Коефіцієнт скупчення KE $K_{\text{с KE}}$:

$$K_{\text{с KE шв}} = \frac{l_{\Sigma \text{ норм. крок KE шв}}}{l_{\Sigma \text{ крок KE шв}}}, \quad (8)$$

де $l_{\Sigma \text{ норм. крок KE шв}}$ – сумарна довжина нормативних кроків KE у шві, мм;
 $l_{\Sigma \text{ крок KE шв}}$ – сумарна довжина всіх кроків KE у шві, мм.

9) Коефіцієнт тарованого згвинчування $K_{\text{тз}}$:

$$K_{\text{тз KE шв}} = \frac{n_{\text{KE і гайк. нетар. згвинч. шв}}}{n_{\text{KE і гайк } \Sigma \text{ шв}}}, \quad (9)$$

де $n_{\text{KE і гайк. нетар. згвинч. шв}}$ – кількість KE i -того типу, які мають гайки та які не підлягають тарованому згвинчуванню, у шві, шт.;
 $n_{\text{KE і гайк. } \Sigma \text{ шв}}$ – кількість всіх KE i -того типу, які мають гайки, у шві, шт.

Даний перелік кількісних критеріїв може бути застосований також для відповідних зон конструкції, які містять ряд швів КЕ; він не є вичерпним, адже кожна окрема конструкція стику і самого з'єднаного відсіку (агрегату) повинна розглядатися з точки зору як доцільності застосування тих чи інших критеріїв, так і кількості застосовуваних критеріїв.

Методологія якісного і кількісного оцінювання рівня технологічності сучасних авіаційних конструкцій повинна ґрунтуватися на міркуваннях найменшої трудомісткості самого процесу оцінювання, але за системно обґрунтованим переліком самих критеріїв. Тоді рівень відповідності конструкції вимогам (критеріям) технологічності буде тотожно рівним або перевершувати рівень конкурентоздатного виробу, технологічна виконуваність якого [15] є головним чинником вибору оптимального конструкторського рішення. Об'єднання цих процесів: забезпечення технологічної виконуваності і вибір оптимальних рішень в конструкції – стає основою відпрацювання Скл.Од. на технологічність у сучасних умовах, коли застосування CAD/CAM/CAE-систем у проектуванні ЛА вже стало буденністю.

Висновки

Собівартість сучасного ЛА напряму залежить від рівня технології, за якою він створюється. Сама авіаційна конструкція, будучи, за замовчуванням, конкурентоздатною, передбачає відповідність вимогам технологічності, яка у сукупності із застосовуваними ЗТО і формує технологічний облік виробу. Зменшення трудомісткості, як додатковий фактор осучаснення конструкції, може відбуватися різними шляхами, в тому числі у напрямку орієнтування ЛА і його Скл.Од. на забезпечення найвищого рівня технологічності. І якщо потужний і талановитий кадровий потенціал авіаційного підприємства існує (створений або збережений), то необхідною умовою його плідної роботи є відповідний техніко-технологічний потенціал.

В наш час наявність універсального, спеціального і спеціалізованого обладнання для виконання відповідних технологічних операцій не є запорукою успішності, адже вікі можливості цих ЗТО можуть не відповідати вимогам замовника і загальносвітовому та/або загальнодержавному розвитку авіації як такої. Потреба комплексного підходу до вирішення проблеми забезпечення виробництва інструментом і обладнанням ставить перед спеціалістами комплексне ж питання відповідності існуючого (проектного, створюваного) виробництва новому, потрібному ринку повітряному судну, і навпаки – характеристик останнього можливостям реального виробництва, тобто забезпечення виробничої технологічності. При цьому, застосування, переважно, автоматизованого обладнання є беззаперечним фактом, а не предметом дискусії.

Застосування обладнання нового покоління, при складанні сучасних авіаційних конструкцій, неможливе без врахування наявності в конструкціях композиційних матеріалів (далі – КМ). Вони, маючи високі жорсткісні характеристики і габарити (а в сучасних літаках це й використання у якості силових елементів), вимагають сучасних же підходів і до обладнання, зокрема, складального, яке б враховувало ці характеристики. Застосування спеціальних підходів до методології складання, при цьому [17], на перших етапах впровадження нових автоматизованих ЗТО для складання конструкцій, які містять елементи із КМ, не є першочерговим.

Методи оцінювання рівня виробничої технологічності: а саме за якісними і

кількісними критеріями – залишаються актуальними і зараз, але сам склад критеріїв потребує перегляду, не тільки для відповідних класифікаційних груп авіаційних конструкцій, а і для галузі в цілому, з урахуванням динаміки змін вимог до них. І процес цей повинен бути законодавчо прописаний у загальногалузевих стандартах, а також у корпоративній нормативно-технічній документації відповідних підприємств. Саме тоді з'явиться і новітня система оцінювання, яка ще ефективніше дозволить функціонувати системі «конструктор-технолог-робочий».

Список літератури

1. Пекарш, А. И., Тарасов, Ю. М., Кривов, Г. А., Громашев, Г. А. и др. Современные технологии агрегатно-сборочного производства летательных аппаратов. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
2. Толстой С. А. Комплексний підхід до забезпечення механізації та автоматизації складальних робіт на вітчизняних авіабудівних підприємствах. – Матеріали XVII науково-технічної конференції студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених. – К.: НАУ, Інститут новітніх технологій та лідерства, 2020.– С. 20-25.
3. Колганов, И. М., Дубровский, П. В., Архипов, А. Н. Технологичность авиационных конструкций. Пути повышения (часть 1). – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 148 с.
4. Кривов, Г. А., Матвиенко, В. А. Конкурентоспособность в современном авиационном производстве. Пути достижения и поддержания. – Технологические системы, 2006. – Вып. 2. – С. 16-22.
5. Матвиенко, В. А., Гирш Р. И., Стрижиус В. Е., Пастушенко В. Н., Толстой С. А., Шитоба Е. Г., Еремин М. В. Механизированные технологии и инструмент для выполнения заклепочных и болт-заклепочных соединений элементов конструкции планера самолетов семейства SSJ. – Технологические системы, 2009. – Вып. 5. – С. 100-106.
6. Чорна Т. М., Гожуловський С. С. Сучасні тенденції та напрямки розвитку авіабудування в Україні. – Економічні горизонти, 2017. – Вип. 1 (2). – С. 29-34.
7. РТМ 1.4.1864 Сборка агрегатов широкофюзеляжных самолетов.
8. ОСТ 1.42064 Сборка самолетов. Термины и определения.
9. Терещенко, Ю. М., Волянська, Л. Г., Животовська, К. А. та ін., за ред. Ю. М. Терещенка. Технологія виробництва літальних апаратів: Підручник; У 2 кн. – Кн. 2. Технологія складання літальних апаратів. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. – 492 с.
10. ОСТ 1.42140 Стыковка агрегатов тяжелых типов изделий с помощью лазерной центрирующей измерительной системы. Методы контроля.
11. DiegoAlonsoTabares, Félix Mora-Camino. Aircraft Ground Handling: Analysis for Automation. – Materials for 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. – Denver, Colorado, 2017.
12. Кривцов, В. С., Воронько В. В., Зайцев, В. Е. Современные перспективы развития технологии сборки авиационных конструкций. – Naukainnov., 2015. – Вип. 11 (3). – С. 12-20.
13. Абибов, Б. А. Технология самолетостроения: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1982. – 357 с.
14. ОСТ1.41085 Технологичность конструкций агрегатов. Основные понятия. Общие положения.

15. ОСТ 1.41711 Конструкторско-технологическая обработка агрегатов. Порядок проведения.

16. ОСТ 1.41708 Технологическое обеспечение разработки и постановки на производство ЛА. Порядок обработки конструкции изделия на производственную технологичность.

17. Мальцев, О. Ю., Толстой, С. А., Конотоп, Д. І., Сухов, В. В. Особливості складання планерів літаків, які містять елементи із композиційних матеріалів. – Відкриті інформаційні та комп'ютерні технології, 2022. – Вип. 95. – С. 29-44.

References

1. Pekarsh, A. Y., Tarasov, Yu. M., Kryvov, H. A., Hromashev, H. A. y dr. *Sovremennye tekhnolohyy ahrehatno-sborochnoho proyzvodstva letatelnykh apparatov.* – M.: Ahraf-press, 2006. – 304 s.

2. Tolstoi S. A. Kompleksnyi pidkhid do zabezpechennia mekhanizatsii ta avtomatyzatsii skladalnykh robot na vitchyzniannykh aviabudivnykh pidpriemstvakh. – *Materialy XVII naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv, doktorantiv ta molodykh uchenykh.* – K.: NAU, Instytut novitnykh tekhnolohii ta liderstva, 2020. – S. 20-25.

3. Kolhanov, Y. M., Dubrovskiy, P. V., Arkhypov, A. N. *Tekhnolohychnost avyatsyonnykh konstruktsyi. Puty povysheniya (chast 1).* – Ulianovsk: UIHTU, 2003. – 148 s.

4. Kryvov, H. A., Matvyenko, V. A. *Konkurentosposobnost v sovremen-nom avyastroenyy. Puty dostyzheniya y podderzhaniya.* – *Tekhnolohycheskye systemy*, 2006. – Vyp. 2. – S. 16-22.

5. Matvyenko, V. A., Hyrsh R. Y., Stryzhyus V.E., Pastushenko V.N., Tolstoi S.A., Shytokha E.H., Eremyn M.V. *Mekhanizyrovannye tekhnolohyy y ynstrument dlia vypolneniya zakleпочnykh y bolt-zakleпочnykh soedyneniya elementov konstruktsyy planera samoletov semeistva SSJ.* – *Tekhnolohycheskye systemy*, 2009. – Vyp. 5. – S. 100-106.

6. Chorna T. M., Hozhulovskiy S. S. *Suchasni tendentsii ta napriamky rozvytku aviabuduvannya v Ukraini.* – *Ekonomichni horyzonty*, 2017. – Vyp. 1 (2). – S. 29-34.

7. RTM 1.4.1864 *Sborka ahrehatov shyrokoфуzeliazhnykh samoletov.*

8. ОСТ 1.42064 *Sborka samoletov. Термумы y opredeleniya.*

9. Tereshchenko, Yu. M., Volianska, L. H., Zhyvotovska, K. A. ta in., za red. Yu. M. Tereshchenka. *Tekhnolohiia vyrobnytstva litalnykh aparativ: Pidruchnyk; U 2 kn.* – Kn. 2. *Tekhnolohiia skladannia litalnykh aparativ.* – K.: Knyzhkove vydavnytstvo NAU, 2006. – 492 s.

10. ОСТ 1.42140 *Стыковка ahrehatov tiazhelykh tyrov yzdelyi s pomoshchiu lazernoi tsentryruiushchei yzmyrytelnoi systemy. Metody kontrolya.*

11. DiegoAlonsoTabares, Félix Mora-Camino. *Aircraft Ground Handling: Analysis for Automation.* – *Materials for 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference.* – Denver, Colorado, 2017.

12. Krytsov, V. S., Voronko V. V., Zaitsev, V. E. *Sovremennye perspektivy razvytia tekhnolohy sborky avyatsyonnykh konstruktsyi.* – *Naukainnov.*, 2015. – Vyp. 11 (3). – S. 12-20.

13. Abyov B. A. *Tekhnolohiya samoletostroeniya: ucheb. posobyе.* – M.: Mashynostroenye, 1982. – 357 s.

14. OST1.41085 Tekhnolohychnost konstruktsyi ahrehatov. Osnovnye poniatyia. Obshchye polozhenyia.
15. OST 1.41711 Konstruktorsko-tekhnolohycheskaia otrabotka ahrehatov. Poriadok provedenyia.
16. OST 1.41708 Tekhnolohycheskoe obespechenye razrabotky y postanovky na proyzvodstvo LA. Poriadok otrabotky konstruktsyy yzdelyia na proy-zvodstvenniu tekhnolohychnost.
17. Maltsev, O. Yu., Tolstoj, S. A., Konotop, D. I., Sukhov, V. V. Osobly-vosti skladannia planeriv litakiv, yaki mistiat elementy iz kompozytsiinykh materi-aliv. – Vidkryti informatsiini ta kompiuterni tekhnolohii, 2022. – Vyp. 95. – S. 29-44.

Надійшла до редакції 17.04.2023, розглянута на редколегії 17.04.2023

Some technological aspects of the assembly units of modern aircraft

The structure of the labor intensity of aircraft manufacturing is considered, in which the largest part is occupied by the aggregate and final assembly. The need for redistribution of work between different types of production has been formed in order to further reduce the labor intensity of assembly by forming additional requirements for structural elements that differ from the design documentation and the fulfillment of which would be expected during assembly. The main ways to reduce the labor intensity of the unit and final assembly of modern aircraft have been identified, which consist of increasing the level of production manufacturability of structures, integrated mechanization and automation of production.

The main trends in the orientation of aviation production towards modern means of technological equipment are considered. A specification of the use in the technical literature of the concepts “assembly device” and “slipway” is proposed to determine clear guidelines for establishing a certain type of technological equipment, depending on a number of factors. A review of domestic and foreign technologies for assembling and joining assemblies of aircraft structures was completed, and forecast data on the accuracy of the resulting joints was generated. It is concluded that there is a domestic (as well as Soviet, for the most part) aircraft manufacturing practice, which involves performing connection operations here, in the slipway, using mainly built-in (portable) or manual mechanized tools, which leads to a large amount of manual labor, and the need to complete the joints of compartments and units “on site” also makes it impossible to ensure high precision parameters of the joint zone. Examples of processes for joining fuselage compartments of foreign-made aircraft using standless docking stands or mobile robotic platforms are considered, which are integrated with the aircraft coordinate system and allow holes to be placed with high precision, drilled and fasteners installed. An analysis of the factors influencing the final accuracy during assembly and docking work in various “schools” of assembling aircraft structures was carried out. A review of some representatives of technological automated equipment for performing assembly work was carried out. A list of optimal criteria for assessing production manufacturability when making connections during the assembly of aircraft structures is proposed.

Keywords: assembly; technological equipment; manufacturability; accuracy; docking; assessment of manufacturability.

Відомості про авторів:

Толстой Сергій Анатолійович – завідуючий відділення виробництва авіаційних літальних апаратів спеціальності «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», Київський авіаційний фаховий коледж, Київ, Україна, e-mail: graf.tolstoi84@gmail.com, тел.: +380975224494.

Сухов Віталій Вікторович – д.т.н., проф., професор кафедри авіа- та ракетобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail: sukhovkpi@gmail.com, тел.: +380675061412.

About the Autors

Sergey Tolstoy Anatolyevich – Head of the Department of Aviation and Rocket and Space Technology, Kyiv Aviation Professional Co-Ledge, Kyiv, Ukraine, e-mail: graf.tolstoi84@gmail.com, tel.: +380975224494.

Sukhov Vitaliy Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Aviation and Ra-Keto Construction, National Technical University of Ukraine "Kyiv Poly-Technical Institute. Igor Sikorsky", Kyiv, Ukraine, e-mail: sukhovkpi@gmail.com, tel.: +380675061412.