

Міністерство освіти і науки України
Національний авіаційний університет

ЧІТАК ВІТАЛІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ



УДК 629.7.002:658.5

**КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІМІТАЦІЙНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ВІТЧИЗНЯНИХ ТРАНСПОРТНИХ
ЛІТАКІВ**

Спеціальність 05.07.02 – проектування, виробництво
та випробування літальних апаратів

Галузь знань 13 – механічна інженерія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на Державному підприємстві «АНТОНОВ»
Державного концерну «Укроборонпром»

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Бичков Сергій Андрійович,
Державне підприємство «АНТОНОВ»
Державного концерну «Укроборонпром»,
головний інженер.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гайдачук Віталій Євгенович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри конструювання і проектування
ракетної техніки;

кандидат технічних наук,
Матвієнко Валерій Андрійович,
Публічне акціонерне товариство
«Український науково-дослідний інститут
авіаційної технології»
Державного концерну «Укроборонпром»,
заступник директора

Захист відбудеться « 05 » грудня 2019 р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.06 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корп. 11, ауд. 220.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розіслано «___» _____ 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.06,
кандидат технічних наук, с.н.с.



О. Ю. Корчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для успішної конкуренції на міжнародному ринку продажів і послуг вітчизняних цивільних літаків необхідно постійне вдосконалення не тільки їх експлуатаційних характеристик, що зумовлюють зростання вагової віддачі, надійності, ресурсу та інших льотно-технічних властивостей, але й суттєве зниження їх вартості, яка, в першу чергу, залежить від їх техніко-економічних показників. Останні вимагають суттєвого скорочення тривалості термінів підготовки і всього циклу їх серійного виробництва, а також пов'язаних з цим витрат при забезпеченні високої якості продукції.

Реалізація цих вимог пов'язана, в першу чергу, з оптимізацією системи технологічної підготовки серійного виробництва, в загальному обсязі якої підготовка в сфері агрегатно-складального виробництва сягає 50 % трудомісткості і часових витрат, в загальній проблемі забезпечення високопродуктивного виробництва вітчизняних цивільних літаків, що включає концепції і методи використання основних принципів забезпечення повної і інтенсивної інформаційної підтримки технологічних процесів.

Викладене вище свідчить про актуальність проблеми розробки концепції проектування і імітаційного моделювання високопродуктивних процесів виробництва вітчизняних цивільних літаків.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В основу дисертації покладено матеріали, що узагальнюють дослідження, які виконувались автором протягом 2016-2019 рр. в межах реалізації науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з освоєння і впровадження у виробництво нових прогресивних процесів в системі технологічної підготовки серійного виробництва, обладнання і оснащення, спрямованих на виконання стратегії розвитку вітчизняної авіаційної промисловості до 2020 року.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є підвищення ефективності і скорочення циклів підготовки агрегатів складального виробництва вітчизняних цивільних літаків шляхом інформаційної підтримки і глибокої автоматизації технологічних процесів.

Для реалізації встановленої мети в роботі були сформульовані наступні **завдання**:

1. Розробити принцип системного застосування інтегрованих інформаційних технологій автоматизованого проектування в системах віртуальної реальності для технологічного планування агрегатно-складального виробництва літаків.

2. Реалізувати синтезований принцип випереджаючого запуску в серію цивільних літаків.

3. Розробити принцип використання оснащення першого літака у виробництві головної серії.

4. Впровадити результати дослідження у практику виробництва ДП «АНТОНОВ».

Другий та третій принципи також мають складові, що їх формують.

Об'єкт дослідження - технологічна підготовка серійного виробництва цивільних вітчизняних літаків.

Предмет дослідження - концепція проектування і імітаційного моделювання високопродуктивних процесів виробництва вітчизняних цивільних літаків.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконано на основі методів автоматизації проектування технологічних процесів, створення керуючих програм, автоматизації технологічної підготовки виробництва, їх візуалізації. При розробці і обґрунтуванні принципів випереджаючого запуску в серійне виробництво дослідних вітчизняних цивільних літаків і принципу використання в серійному виробництві агрегатного і складального оснащення дослідного виробництва і аналізу їх ефективності використано структурний метод, методи класифікацій, техніко-економічного аналізу і синтезу, експертних оцінок. При аналізі ефективності структури технологічної підготовки агрегатно-складального виробництва використано методи декомпозиції інформаційних організаційних функціональних блоків. Використані методи і математичні моделі, що їх реалізують, забезпечили достовірність одержаних результатів і висновків.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше запропоновано і реалізовано принцип системного використання інтегрованих інформаційних технологій автоматизованого проектування в системах віртуальної реальності для технологічного планування в агрегатно-складальному виробництві літаків.

Цей принцип інтегрує в собі три визначальні складові, що утворюють єдиний інформаційний простір:

- методику реалізації системи конструювання і виготовлення пристосовань при технологічній підготовці виробництва в режимі віртуальної реальності;
- концепцію використання програмно-технічного комплексу в середовищі віртуальної реальності в 3D-цифровій конструктивно-технологічній підготовці виробництва;
- концепцію і методику проектування оснащення для агрегатно-складального виробництва на базі електронного конструктивно-технологічного макету в середовищі CAD/CAM/CAE/PDM і віртуальної реальності.

2. Вперше синтезовано принцип випереджаючого запуску в серію цивільних літаків.

3. Одержав подальший розвиток принцип використання оснащення першого літака у виробництві головної серії.

Практичне значення одержаних результатів. Одержані результати і рекомендації дозволяють:

- розроблена в роботі програмно-орієнтована система конструювання і виготовлення пристосовань СКВП в режимі віртуальної реальності для технологічного планування виробництва забезпечує суттєве зниження трудомісткості проектних робіт до 70 % і часу виготовлення технологічного оснащення для агрегатно-складального виробництва до 80 % у порівнянні з існуючими показниками;
- система СКВП ВР, а також система комплексної автоматизації 3D-цифрової конструкторсько-технологічної підготовки виробництва на базі електрон-

них макетів забезпечують створення банку даних для накопичення, збереження і тиражування досвіду з метою його використання у подальших розробках;

- зміщення початку технологічної підготовки виробництва (ТПВ) на ранні етапи сертифікації нового літака дозволяє скоротити його запуск до серійного виробництва на 30 % при виробничому ризику не більше 5 %;

- реалізація принципу використання в серійному виробництві агрегатно-складального оснащення досвідного виробництва розробника забезпечує скорочення терміну ТПВ на 20-35 % і виробничих витрат на 15-20 %;

- використання основних результатів дисертації у виробництві цивільних літаків ДП «АНТОНОВ» становить розрахунковий річний економічний ефект 100 млн. грн.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, які становлять суть дисертаційної роботи, отримані автором особисто. Постановка завдання, аналіз і трактування основних результатів, формулювання наукових висновків виконані спільно з науковим керівником. У статтях, написаних у співавторстві, авторові належить таке: [3] – обґрунтовано основні положення концепції системи конструювання та виготовлення пристосувань в режимі віртуальної реальності і принципи її реалізації на основі електронних конструкторсько-технологічних макетів; [5] – запропоновано й обґрунтовано концепцію та методикку проектування оснащення агрегатно-складального виробництва для практичного впровадження в технологічну підготовку виробництва на прикладі центроплана літака Ан-148 на базі його електронного конструкторсько-технологічного макета в інтегрованій системі CAD/CAM/CAE/PDM і віртуальної реальності, а також сформульовано основні вимоги до складального оснащення в умовах 3D-цифрової конструкторсько-технологічної підготовки виробництва; [11] – принципи побудови системи автоматизованої конструкторсько-технологічної підготовки виробництва агрегатів аерокосмічної техніки; [12] – обґрунтовано принцип випереджаючого запуску в серійне виробництво нового літака до отримання сертифіката типу розробником як один з ефективних шляхів скорочення термінів початку серійного виробництва і отримання прибутку; [13-14] – запропоновано використовувати у автоматизованій системі пристроїв для формоутворення великогабаритних деталей силові приводи набірною пуансону гідравлічного або електромеханічного типів, а також нову конструкцію датчиків переміщення; [15] – запропоновано при формоутворенні підсилюючого елемента використовувати розділову плівку з липким шаром для уникнення хімічної взаємодії.

Апробація матеріалів дисертації. Окремі результати дисертації доповідалися на міжнародних українських конференціях і семінарах, в тому числі на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології у машинобудуванні ІКТМ-2017» (Харків, 2017 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми створення і забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» (Харків, 2019 р.), на 7-й Міжнародній науково-технічній конференції «Space Technologies: Present and Future» (Дніпро, 2019 р.), на Міжнародній науковій конференції з авіаційної і космічної техніки (м. Цзясін, провінція Чжецзян, Китай, 2019 р.), на відділенні Науково-технічної

Ради ДП «АНТОНОВ» (Київ, 2015-2019 рр.), а також на науково-технічному семінарі кафедри проектування літаків і вертольотів Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «ХАІ» (Харків, 2016-2019 рр.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано у 15 наукових працях, у тому числі: 9 статей (7 з них без співавторства) в збірках і журналах, що включені до переліку фахових видань МОН України, а також до міжнародної науково-метричної бази; 3 публікації в матеріалах конференцій і тезах доповідей та 3 патенти.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 124 найменувань та 2 додатків на 9 сторінках. Повний обсяг дисертації становить 214 сторінок. Основний текст дисертації включає 148 сторінок тексту і містить 72 рисунки і 10 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, її наукова новизна, практичне значення результатів, особистий внесок автора, наведені відомості про апробацію, публікації і структуру роботи.

У **першому розділі** проведено огляд і аналіз світових тенденцій розвитку цивільної авіації, основними з яких поряд з підвищенням вагового вдосконалення літака, зростанням ресурсу і надійності є:

- використання комп'ютерних інтегрованих технологій, що автоматизують технологічні процеси взагалі і агрегатно-складальні процеси зокрема;
- зниження трудомісткості проектних робіт конструкторсько-технологічної підготовки виробництва і її реалізації;
- скорочення часового циклу виготовлення оснащення;
- підвищення якості продукції;
- зниження вартості робіт на всіх етапах створення літака.

Реалізація цих тенденцій досягається в першу чергу шляхом розробки загальної концепції проектування і імітаційного моделювання високопродуктивних процесів виробництва вітчизняних цивільних літаків, яка забезпечує кардинальне підвищення ефективності і скорочення циклу агрегатно-складального виробництва, а також інформаційної підтримки і поглибленої автоматизації технологічних процесів.

У зв'язку з цим актуальним завданням є аналіз численних публікацій, що стосуються проблеми підвищення продуктивності виробництва вітчизняних цивільних літаків, який дозволив виділити основні принципи, що складають цю концепцію (рис. 1).

Другий розділ присвячено розробці основних складових принципу системного застосування інтегрованих інформаційних технологій автоматизованого проектування в системах віртуальної реальності (VR) для технологічного планування агрегатно-складального виробництва літаків, який включає до себе:

- методика реалізації системи автоматизованого конструювання і виготовлення пристосувань при технологічній підготовці літакобудівного виробництва в режимі віртуальної реальності;

- концепцію використання програмно-технічного комплексу в середовищі віртуальної реальності 3D-цифрової конструкторсько-технологічної підготовки виробництва агрегатів авіаційних конструкцій;
- концепцію і методику проектування оснащення агрегатно-складального виробництва літаків на базі електронних конструкторсько-технологічних макетів в середовищі CAD/CAM/CAE системи управління виробничою інформацією (PDM) і віртуальної реальності.

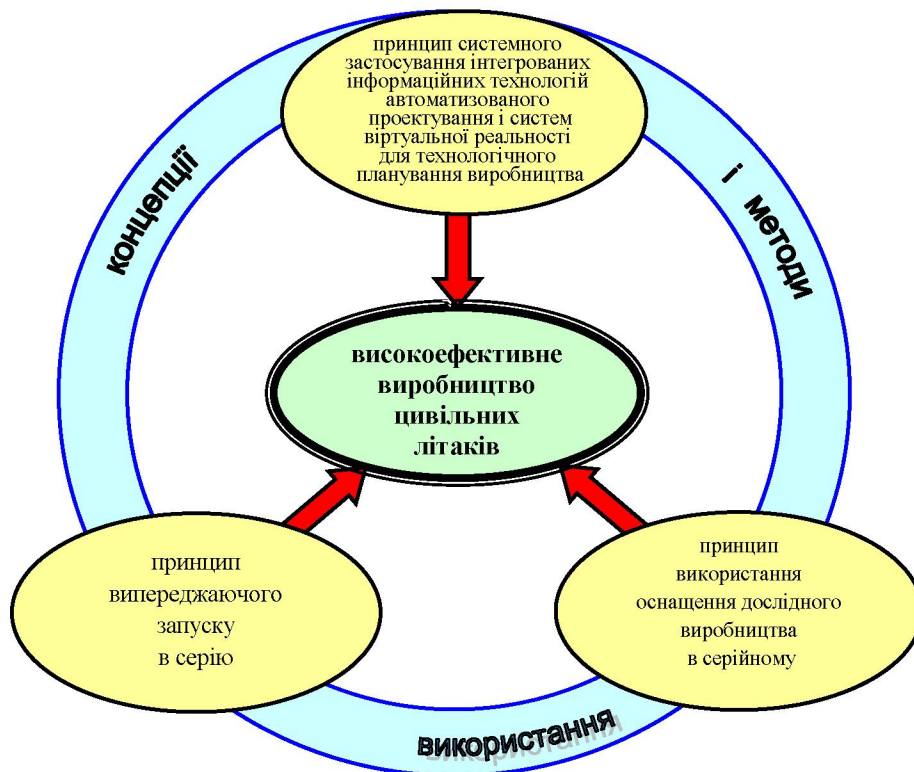


Рисунок 1 – Блок-схема концепції і методи використання основних принципів забезпечення високоефективного виробництва вітчизняних цивільних літаків в сучасних умовах

В рамках першої складової розроблено послідовність етапів симуляції виробничих технологій конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПВ) в режимі ВР, яку представлено на прикладі створення складального пристосування (СП) для агрегатно-складального виробництва центроплана близькомагістрального літака Ан-148. На цьому прикладі показано послідовність етапів проектування складального оснащення для виробництва агрегатів типу центроплан з використанням технологій ВР в єдиній інформаційній системі CAD/CAM/CAE і системі віртуальної реальності Virtolls (рис. 2).

Розроблено і реалізовано технологічні послідовності складання нижньої панелі і лонжерона центроплану літака Ан-148 в системі ВР (рис. 3).

В розділі синтезовані склад модулів системи ВР для комплексної автоматизації 3D-цифрової КТПВ, принципи інтеграції, системна і повна архітектура системи, а також принципи інтеграції на базі створення інтегрованого корпоративного середовища на основі технологій ВР для використання в 3D-цифровій

КТПВ у загальному виробництві літаків.

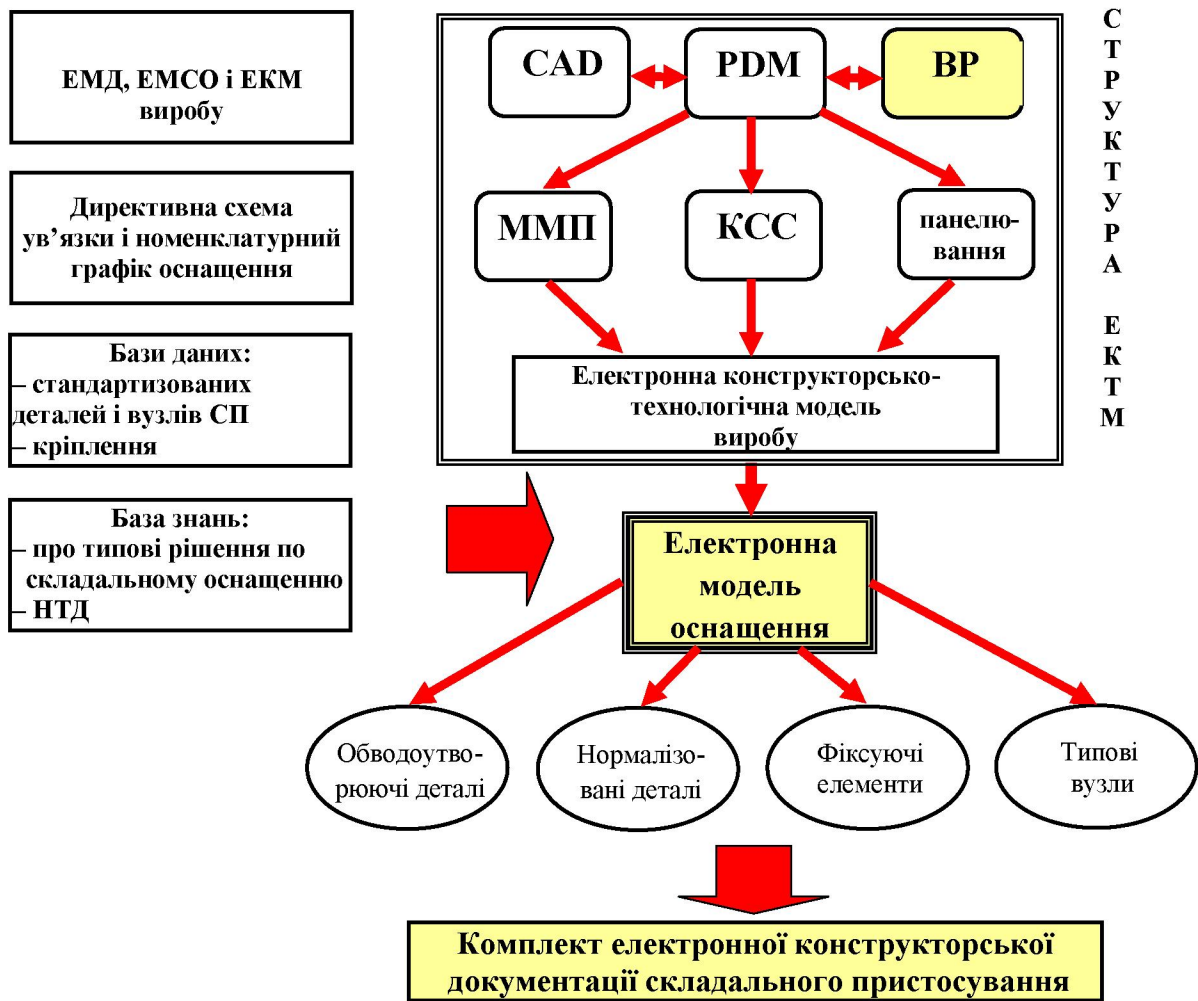


Рисунок 2 – Схема реалізації концепції проектування складальних пристосувань і стапелів на основі ЕКТМ виробу в середовищі CAD/CAM/CAE/PDM

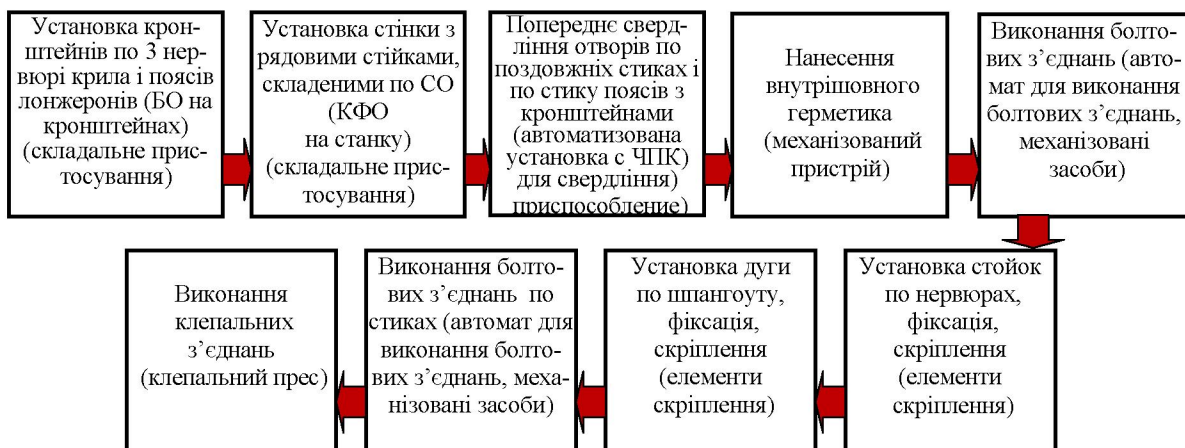


Рисунок 3 – Технологічна послідовність складання лонжерона центроплану літака Ан-148 в системі віртуальної реальності (всі операції виконуються в одному пристосуванні)

В даній методиці схема робіт з 3D-цифрової КТПВ центроплану середньомагістрального літака в розрізі інтегрованого інформаційного виробничого середовища викладено у вигляді п'яти послідовних етапів робіт (рис. 4).

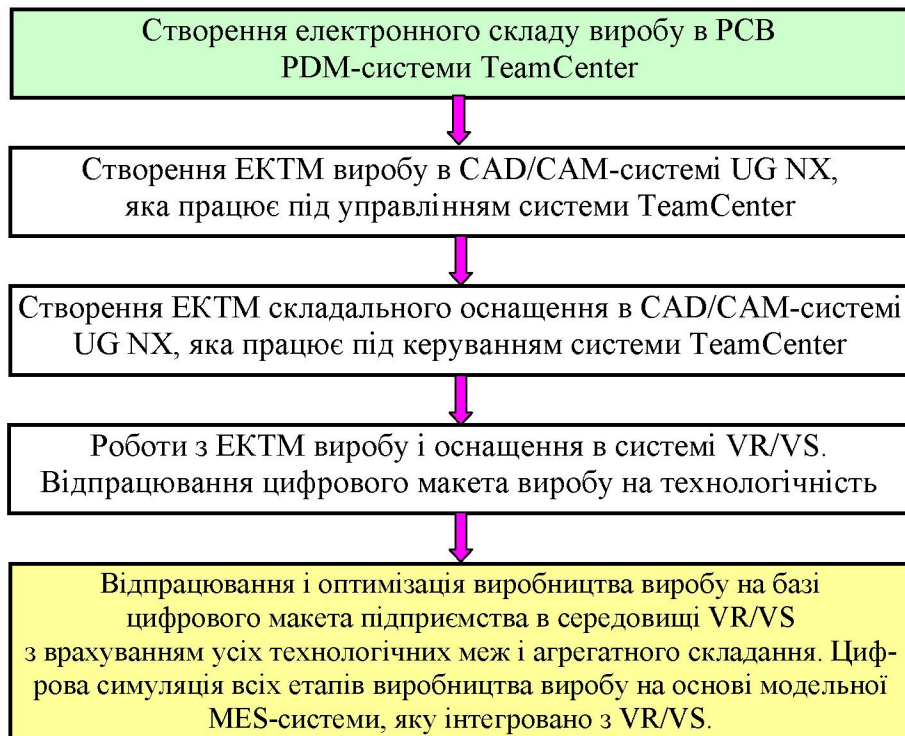


Рисунок 4 – Етапи 3D-цифрової КТПВ в розрізі інтегрованих інформаційних виробничих систем

На першому етапі в середовищі корпоративного PDM (в даному проекті використовується PDM TeamCenter Engineering 2007 MP8, надалі - TCE) створюється у редакторі структури виробу (PCB) електронний склад виробу.

На другому і третьому етапах відбувається створення ЕКТМ як самого центроплану (рис. 5), так і складального оснащення в середовищі CAD/CAM системи UG NX6, що працює під управлінням середовища TCE. На даних етапах виконуються робочі процедури зі створення і відпрацювання ЕКТМ центроплану літака Ан-148 (рис. 6, 7).

На четвертому етапі повинні виконуватися роботи з геометричної ув'язки, можливості складання і технологічності центроплану і стапельного оснащення, яке призначено для його складання в середовищі VR, і візуальної симуляції. Даний етап є визначальним для відпрацювання безпосередньо самої конструкції і стапельного оснащення для її складання.

На п'ятому етапі на початковій стадії створюється імітаційна модель цехів серійного заводу на основі геометричних параметрів цехів, вибраного обладнання, 3D-цифрових моделей агрегатів літального апарату і стапельного оснащення для їх складання. В даній імітаційній моделі можна виділити два підрівня: цифрова імітаційна модель серійного заводу і повний цифровий макет серійного заводу.

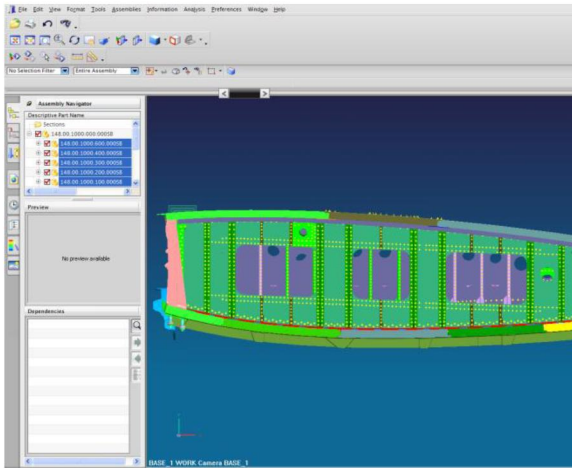


Рисунок 5 – Робота з центропланом в середовищі UG NX

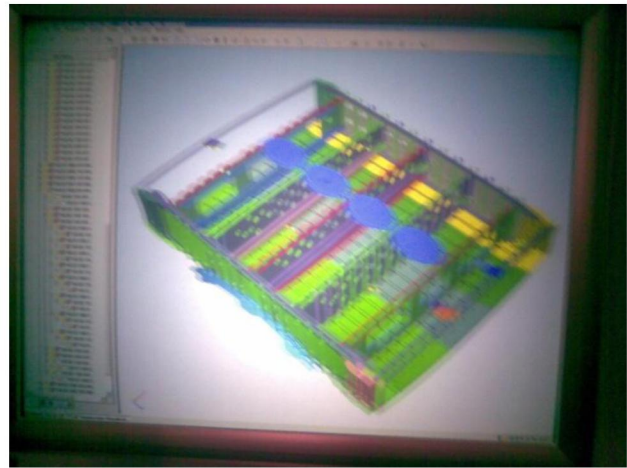


Рисунок 6 – Відпрацювання центроплана в середовищі віртуальної реальності і симуляції

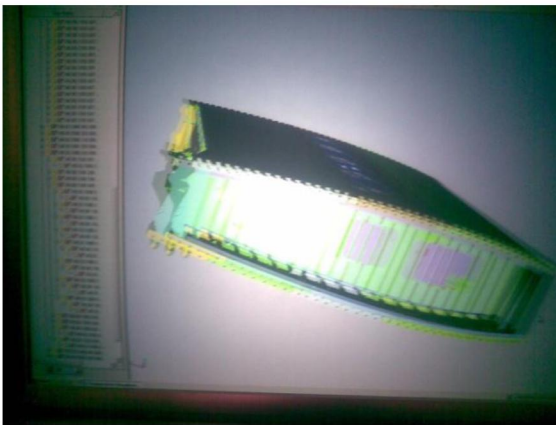


Рисунок 7 – Інженерна візуалізація центроплана в середовищі віртуальної реальності

На підставі даних моделювання, при отриманні близьких до оптимальних технологічних процесів, можна, при переході до цифрової КТПВ, знизити трудомісткість виготовлення агрегатів літальних апаратів, скоротити час запуску агрегату в серію, скоротити час виробничих операцій.

В розділі обговорюється концепція і методика використання оснащення для агрегатно-складального виробництва літаків на базі їх електронних конструкторсько-

технологічних макетів в середовищі інтегрованої системи CAD/CAM/CAE/PDM і ВР. Основним завданням, яке повинно вирішуватися при проектуванні складальних пристосувань (складального оснащення), є створення системи баз в дво- або тривимірному просторі для базування і фіксації при складанні деталей, вузлів, відсіків агрегатів, що складаються, для забезпечення якості стиків і потрібної точності розмірів і форми агрегатів після складання. Концепцію проектування складальних пристосувань і стапелів на основі ЕКТМ на прикладі центроплану літака Ан-148 в середовищі CAD/CAM/CAE/PDM представлено на схемі (рис. 8).

Наприкінці розділу 2 наведено процес відпрацювання ПТК-ВР на прикладі розробки директивної технології складання центроплана із застосуванням інтегрованих систем CAD/CAE/CAM/PDM, ЕКТМ стапеля складання центроплана Ан-148 корпоративної системи Pro Engineer / TCE. На рис. 9 наведено розроблену в системі ВР лінію крупновузлового складання центроплана з відпрацюванням на ергономічність.

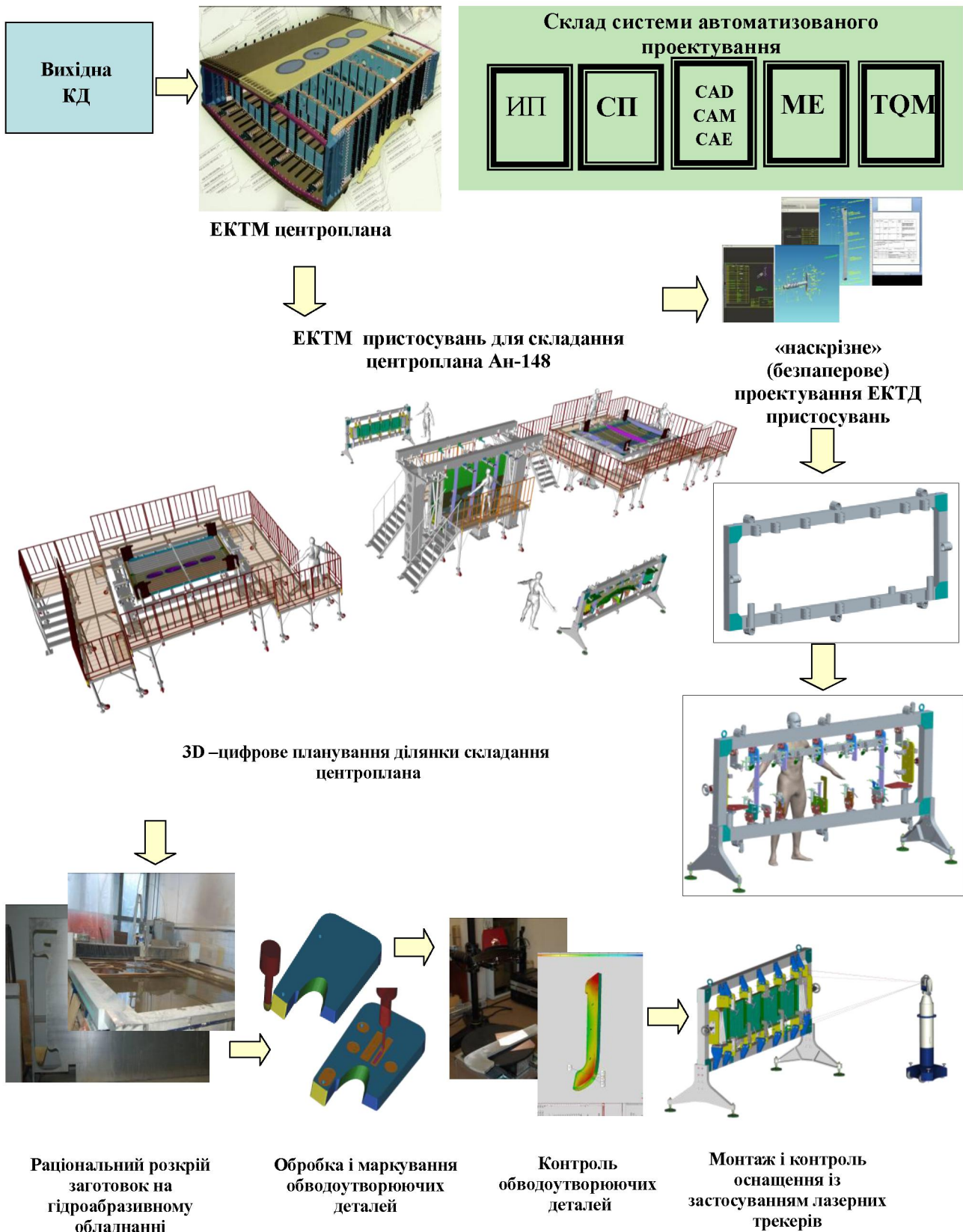


Рисунок 8 – Концепція проектування складального пристосування і стапелів на основі електронного конструкторсько-технологічного макета центроплана

В третьому розділі запропоновано і розроблено принцип випереджаючого запуску в серійне виробництво нового повітряного судна до отримання сертифіката типу.



Рисунок 9 - Лінія крупновузлового складання центроплана літака Ан-148, розроблена в системі віртуальної реальності. Загальний вигляд

Проведено аналіз можливості скорочення термінів початку серійного виробництва, що зумовлюється часом вичерпання строку кредитування серійного заводу τ_{m1} , який дорівнює:

$$\tau_{m1} = \tau_{\text{нон}} + \tau_{\text{ТПВ}} + \tau_{\text{гол.сер.}} + \tau_{\text{сер.вир.}} = \tau_{\text{нон}} + \sum_{i=1}^m \tau_i, \quad (1)$$

тут $\tau_{\text{нон}}$ - час до отримання сертифіката типу, ($\tau_{\text{нон}} \approx \sum_{i=1}^m \tau_i$), $\tau_{\text{ТПВ}}$, $\tau_{\text{гол.сер.}}$, $\tau_{\text{сер.вир.}}$ - час технологічної підготовки виробництва, час виготовлення головної серії, час серійного виробництва програми випуску m літаків ($m_1 \ll m$), відповідно.

При цьому τ_{m1} визначається як відношення встановлюваної трудомісткості $T_{\text{встан.}}$ до потрібної $T_{\text{1 погр.сер.}}$.

$$\tau_{m1} = \frac{T_{\text{встан.}}}{T_{\text{1 погр.сер.}}} \xi_{\text{вик.}}, \quad (2)$$

де $\xi_{\text{вик.}}$ - коефіцієнт використання $T_{\text{встан.}}$ ($\xi_{\text{вик.}} < 1$).

$T_{\text{встан.}}$ і $T_{\text{1 погр.сер.}}$ визначаються відомими формулами.

Можливість скорочення строків початку серійного виробництва визначається як можливостями зменшення $\sum_{i=1}^m \tau_i$, так і перенесенням його початку на більш ранні етапи розробки і виготовлення літака до одержання сертифіката типу (наприклад, з етапу 15 на етапи 5 або 6, рис. 10).

В розділі досліджено також залежність виробничого ризику \mathfrak{R} від терміну початку сертифікації (рис. 11), що визначається формулою

$$\mathfrak{R} = a \exp(\beta \bar{\tau}) \quad (3)$$

При граничних умовах:

$$\begin{aligned} \bar{\tau} = 0 & \quad \mathfrak{R} = 1 \\ \bar{\tau} = 1 & \quad \mathfrak{R} = 0,03 \end{aligned}$$

одержимо

$$\mathfrak{R} = \exp(-3,5\bar{\tau}), \quad (4)$$

де

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{\tau_{cert}}, \quad (5)$$

τ – час початку сертифікації, τ_{cert} – час одержання сертифіката типу.

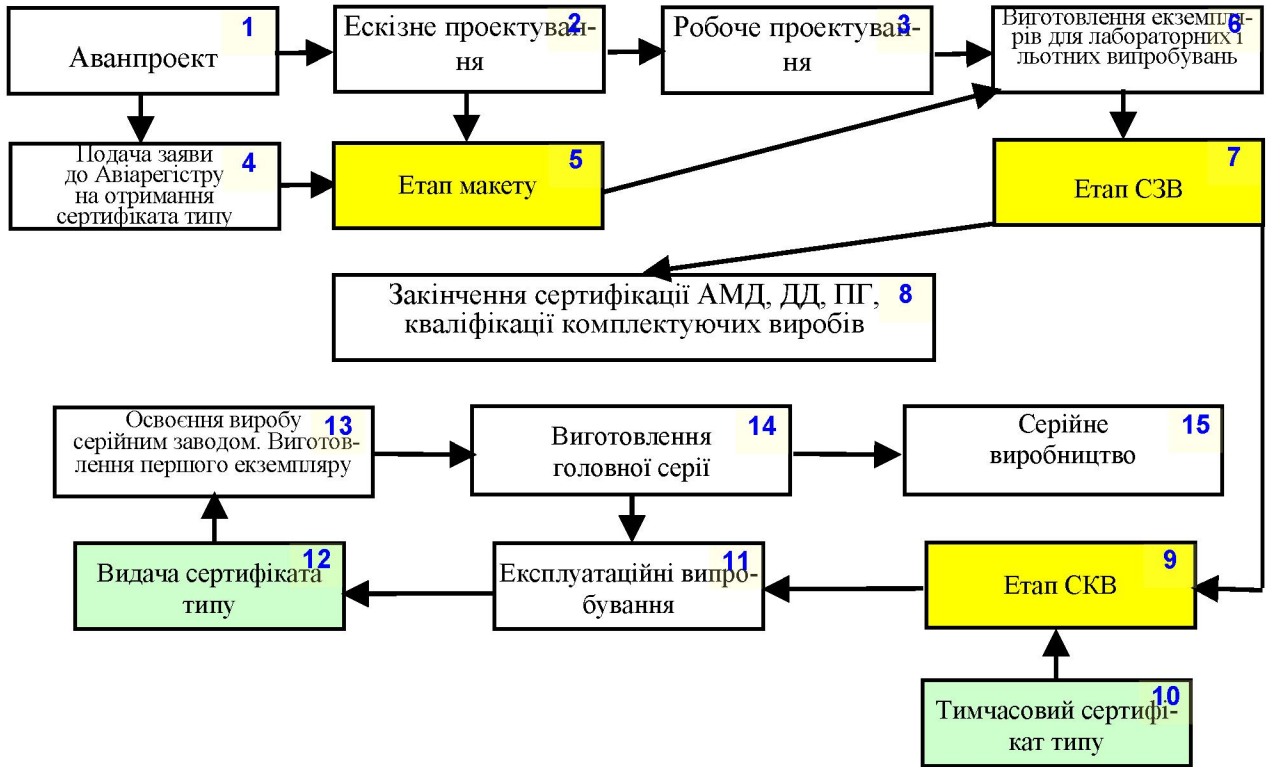


Рисунок 10 – Схема взаємозв'язку етапів розробки і виготовлення літака з етапами його сертифікації

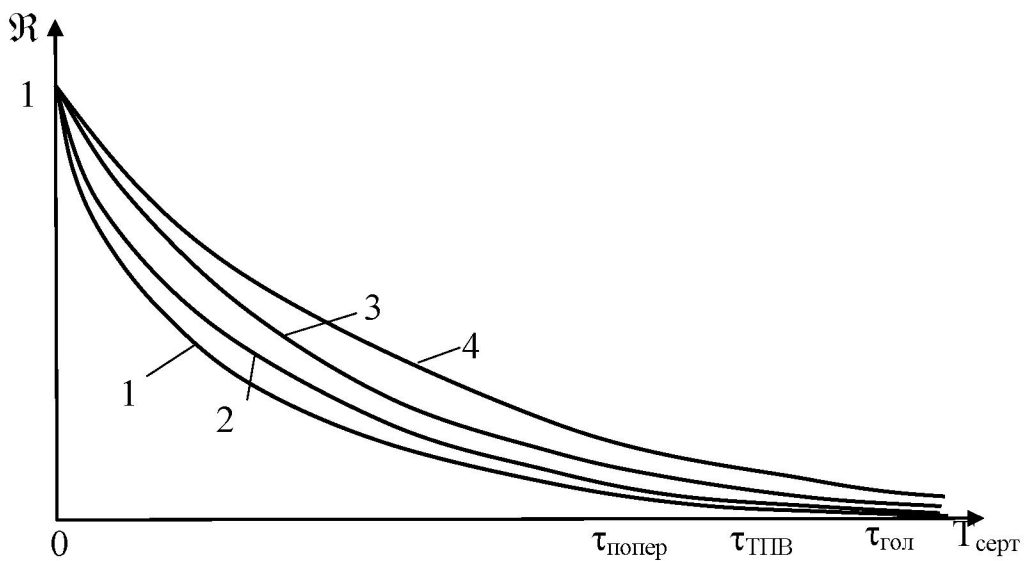


Рисунок 11 – Якісний графік кривої ризику раннього початку освоєння нового літака серійним заводом.

1, 2, 3, 4 – відповідають різним значенням β в формулі (3)

Як видно з (3), при $\bar{\tau} = 0,3$ ступінь ризику раннього початку серійного виробництва становить $\mathfrak{R} = 0,03$.

В розділі розроблено наближений метод прогнозування ефективності випереджуючого запуску нового літака в серійне виробництво, який базується на оцінюванні прибутку Π

$$\Pi = 0,33\Pi_{\text{баз}} \sum_{i=r_0}^m \left[1 + 0,005(\tau_i - \tau_0) (2\bar{K}_{\text{опп}} + \bar{K}_{\text{мв}}) \right] - \sum_{i=1}^m B_{\tau_i} a_{\tau_i} - 12,7T_{\text{цср}} \sum_{i=r_0}^m N^{-\alpha} e^{0,2\left(\frac{\tau_i - \tau_0}{\tau_0}\right) - \beta \frac{\tau_i}{\tau_{\text{срп}}}} \quad (6)$$

де $\sum_{i=1}^m B_{\tau_i} a_{\tau_i}$ - сума витрат на виробництво програми з m літаків; a_i - коефіцієнт приведення вартості у τ_i -му році; α - статистичний коефіцієнт; N - номер серійного ПС ($\alpha = 0,377 \dots 0,074$); β - коефіцієнт; $\bar{K}_{\text{опп}} = \frac{I_{\text{оппни}}}{I_{\text{оппки}}}$, $\bar{K}_{\text{мв}} = \frac{I_{\text{мвни}}}{I_{\text{мвки}}}$, $I_{\text{опп}}$, $I_{\text{мв}}$ - індекси оплати праці й матеріальних витрат.

На закінчення розділу 3 наведено укрупнену блок-схему реалізації концептуального підходу до прогнозування оптимального терміну випереджаючого запуску нового ПС у серійне виробництво (рис. 12).

Викладене вище дозволяє реалізувати принцип випереджаючого запуску в серійне виробництво нового ПС у вигляді науково-технічного комплексу робіт, блоки якого та їх взаємозв'язок представлено блок-схемою на рис. 12.

Верхній блок показує, що розвиток конкурентоспроможного авіабудування в Україні спирається на Державну програму, розраховану до 2022 року, виконання якої в першу чергу пов'язане з розробкою нових ПС на ДП «АНТОНОВ» та їх серійним виробництвом на ХДАВП.

Служби КБ ДП «АНТОНОВ» проводять інтенсивні маркетингові дослідження ринку збуту нових зразків авіаційної техніки та її модифікацій, які покладено в основу інноваційних проектів ПС, що затребувані сьогодні, а також в найближчий і більш віддалений час на відповідних секторах вітчизняного і закордонного ринків авіаперевезень.

Результати цих маркетингових досліджень є основою для розробки проекту нового ПС, його реалізації в дослідному зразку і проведення сертифікаційних випробувань при одночасному формуванні потенційного портфелю замовлень на дані ПС. Інформація про портфель замовлень і результатах реалізації вже перших етапів сертифікації безпосередньо і через КБ поступає на серійний завод, який зацікавлений у виробництві даного ПС самостійно або в рамках різних форм кооперації. Описана вище спрощена форма (в часі і просторі) руху інформаційного потоку від КБ до серійного заводу відображена у верхніх блоках схеми рис. 12.

Ця інформація в різних її аспектах відображена в попередніх розділах. Вона віддзеркалює і зміст початкових (стартових) розділів бізнес-плану як сучасного інструмента менеджменту - програми моделювання діяльності підприємства на перспективний (терміном 3-10 років) і поточний період часу.

Саме бізнес-план дозволяє вирішити питання організації виробництва і збуту продукції, кількості і терміну поставки її замовнику, економічної ефективності організації її виробництва, часових етапах перших і наступних доходів, розрахунках з інвесторами і ризиках.

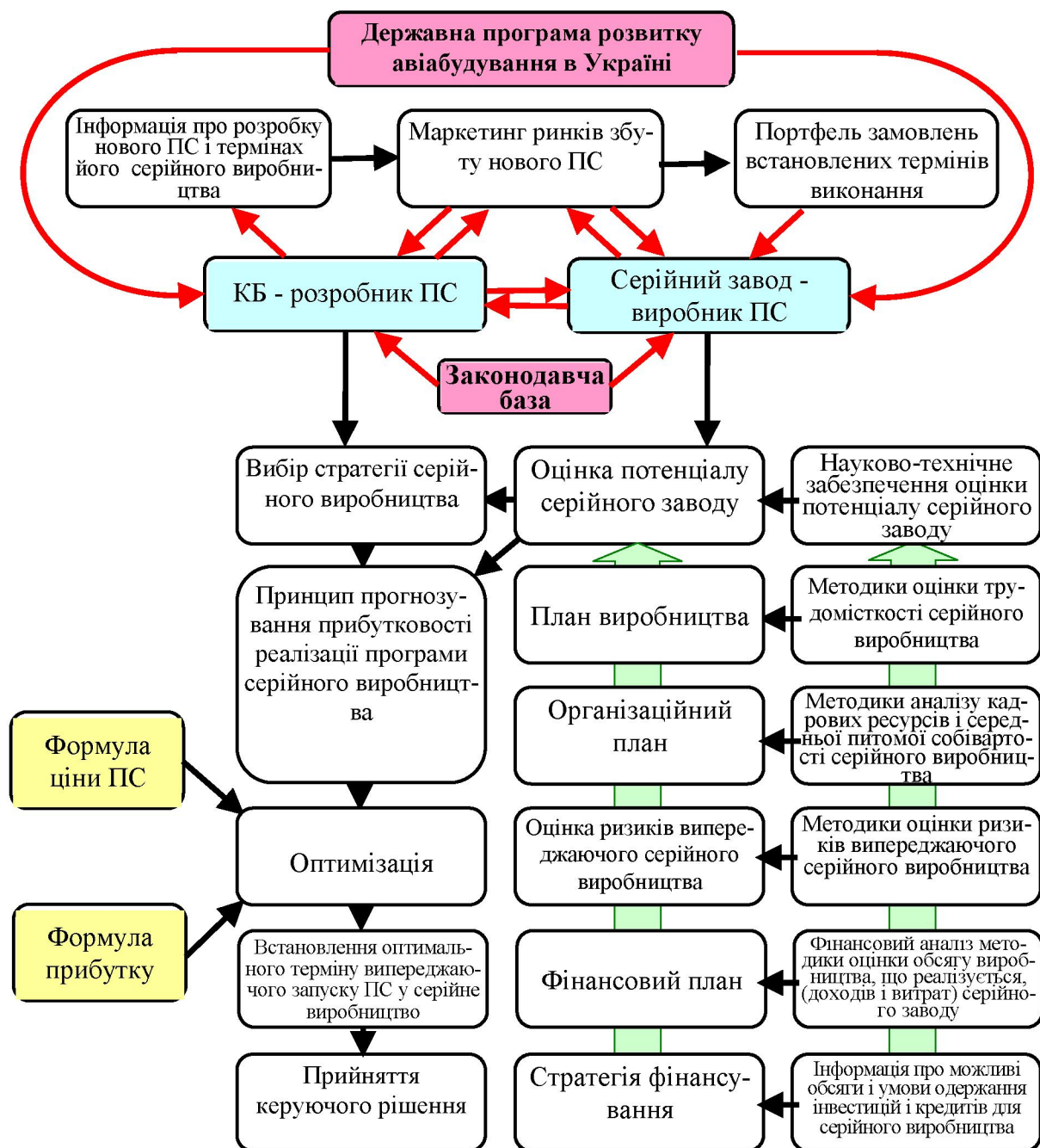


Рисунок 12 – Укрупнена блок-схема реалізації концептуального підходу до прогнозування оптимального терміну випереджаючого запуску нового ПС у серійне виробництво

В четвертому розділі досліджено ефективність використання в серійному виробництві агрегатно-складального оснащення дослідного виробництва розробника.

Розроблені техніко-економічні моделі аналізу ефективності підходу. Передбачається, що в перший рік запуску повітряного судна в серію відносна трудомісткість з урахуванням ризику її втрат від випереджаючого запуску визначається формулою

$$\frac{T_{встан}}{T_{1сер}} = \sum_{i=1}^n N_i^{-\alpha} (1 + \exp(-i\beta\bar{\tau}_i)) , \quad (7)$$

де $T_{встан}$, $T_{1сер}$ - встановлювана трудомісткість і трудомісткість у перший рік запуску в серію; N_i - порядковий номер серійного повітряного судна; α , β – статистичні коефіцієнти; $\bar{\tau}_i = \frac{\tau_i}{\tau_{сер}}$ - рік запуску, віднесений до року одержання сертифікату типу.

Алгоритм визначення числа умовних комплектів повітряних суден, що виробляються серійним заводом в перший рік запуску при виготовленні оснащення самим заводом, наступний.

Якщо відоме відношення значень трудомісткості в (7) менше, ніж її права частина, то завод може виготовляти в перший рік менше одного літака і цей комплект X_{nc1} визначається формулою (8). Приймаючи на другому кроці $n_l = 2$ або $N_l = 2$, визначаємо кількість неповних комплектів X_{nc1} за формулою (9). Кроки алгоритму продовжуються до $n_l = n$, при якому ліва частина рівності (7) не стане меншою за праву частину. При цьому кількість неповних комплектів літаків на першому році виробництва визначається за формулою (10)

$$\text{при } n_l = 1 \quad X_{nc1} = \left(\frac{1 + \exp(-\beta\bar{\tau}_1)}{\frac{T_{встан}}{T_{1сер}}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (8)$$

$$\text{при } n_l = 2 \quad X_{nc1} = \left(\frac{1 + \exp(-2\beta\bar{\tau}_1)}{\frac{T_{встан}}{T_{1сер}} - (1 + \exp(-\beta\bar{\tau}_1))} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (9)$$

$$\text{при } n_l = n \quad X_{nc1} = \left(\frac{1 + \exp(-n\beta\bar{\tau}_1)}{\frac{T_{встан}}{T_{1сер}} - \sum_{i=1}^{n-1} N_{n-1}^{-\alpha} (1 + \exp(-(i-1)\beta\bar{\tau}_i))} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (10)$$

Так, при $\frac{T_{встан}}{T_{1сер}}=3,5$, $\bar{\tau}_i=0,3$, $\beta=3,5$ формула (10) дає значення $X_{nc1} = 3,55$.

У разі використання частини ψ оснащення дослідного виробництва розробника $\psi T_{осн. дос.}$

$$T_{встан} = T_{1сер} \sum_{i=1}^k N_i^{-\alpha} (1 + \exp(-i\beta\bar{\tau}_i)) - \psi T_{осн. дос.} \quad (11)$$

При цьому реалізується попередній алгоритм покрокового пошуку кількості літаків, що виготовляються в перший рік серії (12) - (13).

$$X_{ПС II} = \left[\frac{1 + \exp(-\beta \bar{\tau}_1)}{T_{встан} + \psi T_{осн \frac{дос}{дос}}} \cdot \frac{1}{T_{1сер}} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (12)$$

$$X_{ПС II} = \left[\frac{1 + \exp(-k\beta \bar{\tau}_1)}{T_{встан} + \psi T_{осн \frac{дос}{дос}} - \sum_{i=1}^{k-1} N_{i-1}^{-\alpha} (1 + \exp(-(i-1)\beta \bar{\tau}_1))} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (13)$$

Відносна ефективність \bar{N} при використанні частини оснащення розробника визначається залежністю

$$\bar{N} = \frac{X_{ПС II}}{X_{ПС I}} = \left\{ \frac{(1 + \exp(-k\beta \bar{\tau}_1)) \left[\frac{T_{встан}}{T_{осн \frac{дос}{дос}}} - \sum_{i=1}^{n-1} N_{i-1}^{-\alpha} (1 + \exp(-(i-1)\beta \bar{\tau}_1)) \right]}{(1 + \exp(-n\beta \bar{\tau}_1)) \left[\frac{T_{встан} \psi T_{осн \frac{дос}{дос}}}{T_{осн \frac{дос}{дос}}} - \sum_{i=1}^{k-1} N_{i-1}^{-\alpha} (1 + \exp(-(i-1)\beta \bar{\tau}_1)) \right]} \right\} \quad (14)$$

Нижче наведено графіки залежності відносної ефективності \bar{N} при використанні різної частки оснащення розробника (рис. 13)

\bar{N}

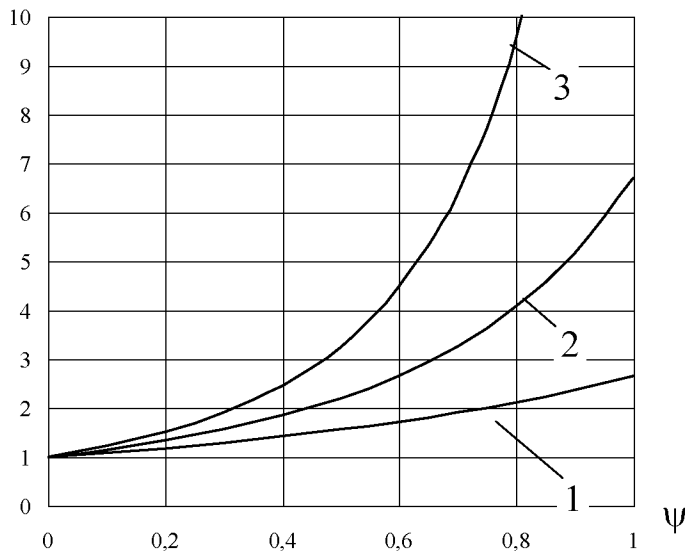


Рисунок 13 – Відносна ефективність \bar{N} при використанні різної частки оснащення:
 1 – при $T_{осн \frac{дос}{дос}} = 0,3T_{встан}$;
 2 – при $T_{осн \frac{дос}{дос}} = 0,5T_{встан}$;
 3 – при $T_{осн \frac{дос}{дос}} = 0,7T_{встан}$

В розділі також проведено попередній аналіз ефективності термінів виготовлення, введення до експлуатації серійного оснащення і змінення програми випуску серійних літаків. При цьому трудомісткість виготовлення всього комплексу оснащення визначається залежністю,

$$T_{компл} = \frac{C_{осн \frac{дос}{дос}} \xi_{ос} t_0}{1,15(1 + k_p)} - 0,87 \sum_{i=1}^n C_i n_i \mu_i \quad (15)$$

де $C_{\text{осн}_{\text{дос}}}$ - вартість оснащення дослідного виробництва, $\xi_{\text{ос}}$ - коефіцієнт зниження серійного оснащення, C_i - вартість одиниці оснащення, μ_i - коефіцієнт зайнятості оснащення, $k_p = (0,5 \dots 0,6)$ - коефіцієнт витрат на ремонт.

Скориставшись формулою (15), можна в першому наближенні прогнозувати економічно ефективні терміни введення до експлуатації серійного оснащення і певне зростання програми серійного виробництва.

Проте, перш ніж реалізувати описану вище можливість наближеного прогнозування цих термінів, необхідно визначити, в який термін може бути виготовлено серійне оснащення при тій самій встановлюваній річній трудомісткості серійного заводу з урахуванням того, що підприємство вже відпрацювало на дослідному оснащенні певний час.

В п'ятому розділі наведено відомості про впровадження і використання результатів роботи на підприємствах і в організаціях літакобудівної галузі України. На рис. 14 представлено інформаційну схему результатів впровадження.



Рисунок 14 – Інформаційна схема впровадження результатів дисертації

Так, на ДП «АНТОНОВ» впроваджено комплекс результатів, що охоплює принципи, які закладені в основу концепції проектування і імітаційного моделювання високопродуктивного виробництва вітчизняних цивільних літаків з очікуваним економічним ефектом 100 млн. грн, а також на ХДАВП, ВАТ «УкрНДІАТ» і в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

На підставі досвіду співпраці ДП «АНТОНОВ» і узагальнення результатів дисертації розроблено універсальний принцип різноманітних форм кооперації з закордонними партнерами стосовно організації сумісного виробництва цивільних літаків ДП «АНТОНОВ» в специфічних умовах замовника.

ВИСНОВКИ

1. Проведено огляд і аналіз світових тенденцій розвитку цивільного літакобудування, які виявили нові шляхи підвищення ефективності проектування і виробництва повітряних суден транспортної категорії, що пов'язані зі зростанням інформаційних і комп'ютерних технологій автоматизації процесів на всіх етапах життєвого циклу їх створення, а також з посиленням впливу скорочення термінів і обсягів технічної підготовки виробництва в забезпеченні високої продуктивності їх виробництва на сучасному етапі стану проблеми і шляхів її вирішення. Сформульовано мету і завдання дослідження.

2. Вперше сформульовано цілісну концепцію проектування і імітаційного моделювання високопродуктивних технологічних процесів виробництва вітчизняних цивільних літаків, яка заснована на реалізації в єдиному інформаційному просторі системи основних принципів забезпечення їх виробництва.

3. Вперше запропоновано і реалізовано принцип системного застосування інтегрованих інформаційних технологій автоматизованого проектування в системах віртуальної реальності для технологічного планування агрегатно-складального виробництва літаків.

4. Вперше синтезовано і впроваджено в практику проектування технологічної підготовки серійного виробництва основні складові принципу системного використання інтегрованих інформаційних технологій:

- методика реалізації системи автоматизованого конструювання і виготовлення пристосувань при технологічній підготовці літакобудівного виробництва в режимі віртуальної реальності;

- концепція використання програмно-технічного комплексу в середовищі віртуальної реальності 3D-цифрової конструкторсько-технологічної підготовки виробництва агрегатів авіаційних конструкцій;

- концепція і методика проектування оснащення агрегатно-складального виробництва літаків на базі їх електронних конструкторсько-технологічних макетів в середовищі CAD/CAM/CAE систем управління виробничою інформацією (PDM) і віртуальної реальності.

5. Методики і технологічні рекомендації, що розроблені, є першою роботою в галузі застосування і практичного впровадження у технологічну підготовку виробництва літальних апаратів технології віртуальної реальності з ви-

користанням ПТК-ВР на прикладі ЕКТМ центроплана ближньомагістрального літака Ан-148 в інтеграції з корпоративними системами CAD, PDM, ВР.

6. Вперше запропоновано і реалізовано на практиці принцип випереджаючого запуску в серійне виробництво нового повітряного судна для одержання сертифіката типу, обґрунтовані залежності виробничого ризику від терміну початку серійного виробництва ПС і розроблено наближений метод прогнозування ефективності реалізації концептуального підходу до прогнозування оптимального терміну випереджаючого запуску нового ПС у серійне виробництво.

7. Одержав подальший розвиток принцип використання в серійному виробництві агрегатного і складального оснащення дослідного виробництва розробника. Розроблено техніко-економічну модель аналізу ефективності використання дослідного оснащення в серійному виробництві та проведено попередній аналіз ефективних термінів виготовлення, введення до експлуатації серійного оснащення і змінення програми випуску ПС.

8. Результати дослідження впроваджені для використання при проектуванні і розробці технологічної підготовки виробництва цивільних літаків на ДП «АНТОНОВ» с очікуваним економічним ефектом 100 млн. грн, а також на ХДАВП і ВАТ «УкрНДІАТ» і в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» у вигляді методик і технологічних рекомендацій при підготовці висококваліфікованих фахівців для літакобудівної галузі України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях, що включені до переліку наукових фахових видань України, та входять до міжнародних наукометричних баз (Index Copernicus)

1. Читаков В.Г. Состояние и перспективы развития авиастроения Украины в современных условиях / В.Г. Читаков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (94).– Х., 2018. – С. 7 – 18.

2. Читаков В.Г. Анализ современного состояния информационной поддержки автоматизированных технологических процессов производства отечественных гражданских самолетов / В.Г. Читаков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3 (95).– Х., 2018. – С. 7 – 20.

3. Бычков С.А. Методика реализации системы автоматизированного конструирования и изготовления приспособлений при технологической подготовке самолетостроительного производства в режиме виртуальной реальности / С.А. Бычков, В.Г. Читаков // Открытые информационные и компьютерные интегрируемые технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (82).– Х., 2018. – С. 47-59.

4. Читаков В.Г. Концепция применения программного технического комплекса в среде виртуальной реальности в 3D-цифровой конструкторско-

технологической подготовке производства агрегатов самолетных конструкций / В.Г. Читак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1 (83). – Х., 2018. – С. 35-45.

5. Кондратьев А.В. Концепция и методика проектирования оснастки агрегатно-сборочного производства самолетов на базе их электронных конструкторско-технологических макетов / А.В. Кондратьев, В.Г. Читак // Mechanics and Advanced Technologies. – Том 85, №1. К., 2019. – С. 5-12.

6. Читак В.Г. Способы реализации принципа опережающего запуска в серию опытных отечественных гражданских самолетов. Сообщение 1. О возможности сокращения сроков начала серийного производства нового гражданского самолета / В.Г. Читак // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (96). – Х., 2018. – С. 7 – 20.

7. Читак В.Г. Эффективность использования в серийном производстве агрегатного и сборочного оснащения опытного производства разработчика / В.Г. Читак // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (96). – Х., 2018. – С. 21 – 33.

8. Читак В.Г. Способы реализации принципа опережающего запуска в серию опытных отечественных гражданских самолетов. Сообщение 2. Зависимость производственного риска от времени начала серийного производства гражданского самолета / В.Г. Читак // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1 (97). – Х., 2019. – С. 7 – 20.

9. Chitak V. Principles of Advanced Computer-Aided Technologies Application in Informational Support of Technological Preparation of Production of National Civil Aircrafts / V. Chitak // Proceedings of the National Aviation University. – №1(78). – К., 2019. – Pp. 60–64.

Тези доповідей

10. Читак В.Г. Основные составляющие высокоэффективного производства отечественных транспортных самолетов и их взаимосвязь / В.Г. Читак // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ 2017 : тези доп. Всеукраїнської наук.-техн. Конф. –Х., 2017. –Т.1. – С. 190-191.

11. Chitak V.G. Concept of automated system of design and technological pre-production of aerospace units /V.G. Chitak, T.P. Nabokina // 7-th International conference Space technologies: present and future, Dnipro 21 – 24 May 2019. – Dnipro, 2019. – Pp. 167.

12. Читак В.Г. Принцип опережающего запуска в серийное производство нового летательного аппарата до получения сертификата типа / В.Г. Читак, Т.П. Набокина // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки : тези доп. міжнарод. наук.-техн. конф. Нац. аерокосм. у-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків 17 – 18 квітня 2019 р. – Х., 2019. – С. 102.

Патенти

13. Патент на корисну модель № 130937 – Автоматизована система пристроїв для формоутворення великогабаритної деталі із заготовки із листового матеріалу або з пресованої панелі / Донець О.Д., Лупкін Б.В., Бичков С.А., Чітак В.Г., Корольков Ю.Я. – 26.12.2018. Бюл. №24.

14. Патент на корисну модель № 130936 – Автоматизована система пристроїв для формоутворення великогабаритної деталі із заготовки із листового матеріалу або з пресованої панелі / Донець О.Д., Лупкін Б.В., Бичков С.А., Чітак В.Г., Корольков Ю.Я. – 26.12.2018. Бюл. №24.

15. Патент на корисну модель № 135434 – Спосіб виготовлення підсилюючого елемента повітряного судна з полімерної композиції / Бичков С.А., Андреев О.В., Чітак В.Г., Лупкін Б.В., Корольков Ю.Я. – 25.06.2019. Бюл. № 12.

АНОТАЦІЯ

***Чітак В.Г.* Концепція проектування та імітаційного моделювання високопродуктивних технологічних процесів виробництва вітчизняних транспортних літаків.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.02 – Проектування, виробництво та випробування літальних апаратів. – Національний авіаційний університет, Київ, 2019.

Метою роботи є підвищення ефективності агрегатно-складального виробництва літаків шляхом інформаційної підтримки і поглибленої автоматизації технологічних процесів, скорочення термінів початку серійного виробництва нового цивільного літака.

Вперше запропоновано принципи концептуального проектування і імітаційного моделювання технологічних процесів виробництва літаків, що включають принцип системного використання інтегрованих інформаційних технологій автоматизованого проектування в системах віртуальної реальності для технологічного планування агрегатно-складального виробництва, принцип випереджаючого запуску в серію нового літака до одержання сертифіката типу і принцип використання в серійному виробництві агрегатно-складального оснащення дослідного виробництва розробника.

Наведено відомості про використання основних результатів дисертації на підприємствах і в організаціях літакобудівної галузі України.

Ключові слова: вітчизняні цивільні літаки, агрегатно-складальне виробництво, технологічна підготовка серійного виробництва, концепція проектування і імітаційного моделювання, інформаційна підтримка, автоматизація технологічних процесів, принцип системного використання інтегрованого проектування.

АННОТАЦИЯ

Читак В.Г. Концепция проектирования и имитационного моделирования высокопродуктивных технологических процессов производства отечественных транспортных самолетов. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, производство и испытание летательных аппаратов. – Национальный авиационный университет, Киев, 2019.

Целью работы является повышение эффективности и сокращение цикла агрегатно-сборочного производства отечественных гражданских самолетов путем информационной поддержки и углубленной автоматизации технологических процессов, установление основных составляющих высокоэффективного производства отечественных самолетов, анализ современного состояния и основных принципов обеспечения высокопродуктивных технологических процессов их производства.

Проведен обзор и анализ мировых тенденций развития гражданского самолетостроения, которые выявили новые пути повышения эффективности проектирования и производства воздушных судов транспортной категории. Общей тенденцией является возрастание роли информационных и компьютерных технологий автоматизации процессов на всех этапах жизненного цикла создания воздушного судна, а также усиление влияния сокращения сроков и объемов технической подготовки производства в обеспечении высокой продуктивности производства.

Впервые предложены и разработаны основные принципы концептуального проектирования и имитационного моделирования высокопродуктивных технологических процессов производства отечественных гражданских самолетов, включающие принцип системного применения интегрированных информационных технологий автоматизированного проектирования в системах виртуальной реальности для технологического планирования агрегатно-сборочного производства, принцип опережающего запуска в серию нового самолета до получения сертификата типа и принцип эффективного использования в серийном производстве агрегатно-сборочного оснащения опытного производства разработчика.

Разработана методика реализации системы автоматического конструирования и изготовления приспособлений при технологической подготовке самолетостроительного производства в режиме виртуальной реальности, которая опробована на примере центроплана ближнемагистрального самолета Ан-148.

Разработанные методики и технологические рекомендации являются первой работой в области применения и практического внедрения в технологическую подготовку производства летательных аппаратов технологий виртуальной реальности.

Синтезирована концепция применения программно-технического комплекса в среде виртуальной реальности 3D-цифровой конструкторско-технологической подготовки производства агрегатов авиационных конструкций.

Предложена и обоснована концепция и методика проектирования оснастки агрегатно-сборочного производства самолетов на базе их электронных конструкторско-технологических макетов в среде CAD/CAM/CAE систем управления производственной информацией (PDM) и виртуальной реальности. Показано, что применение разработанной программно-ориентированной системы конструирования и изготовления приспособлений в режиме виртуальной реальности для технологического планирования производства обеспечивает существенное снижение трудоемкости проектных работ до 70 % и времени изготовления технологической оснастки для агрегатно-сборочного производства до 80 % в сравнении с существующими показателями.

Раскрыты возможности сокращения сроков начала серийного производства нового гражданского самолета. Показано, что реализация принципа использования в серийном производстве агрегатно-сборочной оснастки опытного производства Разработчика обеспечивает сокращение срока технологической подготовки производства до 35 % и производственных затрат до 20 %.

Обоснована зависимость производственного риска от времени начала производства воздушного судна. Установлено, что смещение начала технологической подготовки производства на ранние этапы сертификации нового самолета позволяет сократить его запуск в серийное производство на 30 % при производственно риске не более 5 %.

Разработан приближенный метод прогнозирования эффективности использования в серийном производстве агрегатно-сборочной оснастки опытного производства Разработчика. Предложена технико-экономическая модель анализа эффективности использования опытной оснастки в серийном производстве и проведен предварительный анализ эффективных сроков изготовления, ввода в эксплуатацию серийной оснастки и изменения программы выпуска воздушного судна.

Проведена реализация концептуального подхода к прогнозированию оптимального срока опережающего запуска нового самолета в серийное производство.

Приведены сведения о внедрении и использовании основных результатов диссертации при проектировании и разработке технологической подготовки производства гражданских самолетов на предприятиях и в организациях самолетостроительной отрасли Украины, а также в учебном процессе Национального аэрокосмического университета им. М.Н. Жуковского «Харьковский авиационный институт» в виде методологических материалов и рекомендаций при подготовке высококвалифицированных кадров для самолетостроительной отрасли Украины.

Ключевые слова: отечественные гражданские самолеты, агрегатно-сборочное производство, технологическая подготовка серийного производства, концепция проектирования и имитационного моделирования, информационная поддержка, автоматизация технологических процессов, принцип системного использования интегрированного проектирования.

ANNOTATION

***Chitak V.G.* The concept of designing and simulation modeling of highly-efficient manufacturing processes for production of indigenous transport aircraft.** - Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.07.02 - Design, Manufacture and Testing of aircraft. – National Aviation University, Kyiv, 2019.

The aim of the work is to increase the efficiency of unit-assembly production of aircraft through information support and in-depth automation of manufacturing processes, reduce the start date for mass production of a new civil aircraft.

For the first time, the basic principles of conceptual design and simulation modeling of manufacturing processes for production of aircraft were proposed, including the principle of systematic use of integrated information technologies of computer-aided design in virtual reality systems for technological planning of unit-assembly production, the principle of advanced launch of serial production of new aircraft before obtaining a type certificate and the principle of use in mass production of unit-assembly equipment from the developer's prototype production.

Information on use of the main results of the thesis at enterprises and organizations of aircraft manufacturing industry of Ukraine were provided.

Key words: indigenous civil aircraft, unit-assembly production, pre-production phase of serial production, concept of design and simulation, information support, automation of manufacturing processes, the principle of system use of integrated design.

Підписано до друку 25.10.2019 р.

Формат 60 × 84/16. Папір офсетний. Офс. друк.

Ум. друк. арк. 1,1. Наклад 100 прим. Замовлення № 3600

Віддруковано: Державне підприємство «АНТОНОВ»
1, вул. Академіка Туполєва, м. Київ, 03062, Україна
E-mail: press@antonov.com