

А. И. БАБУШКИН, А. А. БАБУШКИН

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В АВИАПРОМЫШЛЕННОСТИ

Изложены результаты исследований сравнительной экономической эффективности принятия инженерных решений при различных методах создания сборочных приспособлений в авиастроении – традиционных и с использованием информационных технологий (ИТ) выполнения проектно-конструкторских и производственных разработок. Показано, что ИТ технологии с использованием ЭВМ обеспечивают значительное уменьшение вероятных ошибок при принятии инженерных решений и обеспечивают значительное повышение экономических показателей эффективности затрат времени на проектно-конструкторские работы и снижение материальных расходов на создание конструкций сборочных приспособлений, ускоряют темпы освоения в производстве новых летательных аппаратов, что повышает их конкурентные возможности на международных рынках сбыта.

Ключевые слова: авиастроение, сборочные приспособления, информационная технология, принятие инженерных решений, эффективность принятия решений, интерактивный программный комплекс.

Введение

Обеспечение функциональной эффективности современных грузопассажирских самолетов на всех активных участках полета зависит главным образом от качества аэродинамических обводов планера (фюзеляжа, крыльев, хвостового оперения, мотогондол), определяемого точностью изготовления форм и размеров контурообразующих внешних поверхностей. Добиться требуемых высокой точности и взаимной увязки форм и

размеров частей планера самолета возможно только с помощью специальных сборочных приспособлений (СП).

В связи с тем, что большинство СП представляют собой конструктивно сложные инженерные сооружения и составляют большую номенклатуру технологической оснастки в подготовке серийного производства самолета, то на проектирование, изготовление и эксплуатацию сборочных приспособлений требуются огромные трудовые затраты (трудоемкость проектных и производственных процессов достигает $(8-16)10^4$ н.ч.) и расход металла (порядка 2-3 тыс. тонн.) на полный комплект СП для серийного производства самолетов. Отрицательное воздействие больших затрат на создание СП сказывается не только на увеличении стоимости самолета, но главным образом на длительности сроков и темпов освоения производства нового самолета и вывода его на конкурентный рынок сбыта. Время выхода на рынок сбыта, особенно в международной конкуренции производителей авиационной техники, играет чрезвычайно важную роль: побеждает тот, кто первым занял лидирующее положение.

Поэтому проблема разработки методов и средств сокращения сроков и затрат на создание СП является актуальной.

Состояние решения проблемы

Применяемые в настоящее время в авиастроении традиционные методы создания СП исчерпали свои инженерные возможности, а прогрессивные информационные технологии, основанные на использовании компьютерных комплексов CAD/CAM/CAE, находятся в стадии разработки и апробирования [1, 2]. Предлагаемые разработанные человеко-машинные методы и системы [3-6] для принятия решений при создании сложных проектов в различных предметных областях не получили своего применения и развития в авиастроении в силу большой сложности в них абстрактного аппарата обработки разноуровневой информации и формализации реальных процессов, происходящих в создаваемых проектах, а также из-за недостаточной достоверности получаемых результатов принятия решений.

В наших разработках [7-9] изложен подход знаниеориентированной разработки информационной технологии создания СП, а в [10] окончательно оформлен рабочий интерактивный программный комплекс (ИПК)

интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) для создания СП, основанный на методе разноуровневых алгоритмических квантов знаний (РАКЗ-метод).

ИПК «ИСППР» позволяет в человеко-машинном режиме производить: 1) формирование массивов исходной информации баз данных и знаний, представление их в виде формализованных порций (квантов), описывающих конкретное событие для компьютерного воспроизведения умозаключений и рассуждений средствами математической логики и теории алгоритмов; 2) формирование моделей для нахождения вариантов (альтернатив) принятия решений на всех этапах создания СП, а именно: при разработке технологических и технических условий на проектирование; выработке конструктивных и экономических предложений для обоснования принципиальной схемы СП и эскизного проекта конструктивной компоновки СП; при формировании расчетно-аналитического облика и разработки конструкторского рабочего проекта СП в виде чертежей общего вида и входящих деталей; 3) анализ и оценку вариантов принятия решений и выбор лучшей альтернативы по заранее принятым критериям.

В данной статье приводятся результаты разработки и исследований математической модели определения экономической эффективности создания СП в системе ИПК «ИСППР».

Экономическая оценка эффективности ИПК «ИСППР СП»

Существует множество подходов к оценке эффективности принимаемых решений при создании сложных технических систем [11-13]. Большинство авторов подчеркивают субъективность в выборе критериев оценки полученных результатов и допускают определенный уровень риска и достоверности принятых решений.

В нашем случае эффективность принятых решений оценивается: 1) величиной риска, допустимого при выводе квантов знаний, т.е. величиной вероятности ошибочного решения, вычисляемого по результатам контрольных выборов, а также 2) сравнительной оценкой вариантов принятия решений по экономическим показателям затрат на проектно-производственные работы создания сборочных приспособлений.

Высокая эффективность технической системы (в нашем случае – сборочного приспособления) может быть обеспечена только при принятии правильных решений на каждом этапе создания ТС. Неверное решение, на каком либо этапе, сказывается отрицательно на всех последующих. Так, неверные решения, принятые на этапе выбора облика СП, равносильно в дальнейшей разработке нерациональной конструкции СП в целом. Неверные решения на этапе проектирования элементов СП (каркаса, базово-фиксирующих устройств) не позволит эффективно использовать их в составе конструкции СП, вызовет сложности в эксплуатации СП, трудности в экономичном изготовлении элементов в заданные сроки и в материальных затратах. Поэтому первостепенное значение имеет оценка возможного риска принятия неверных решений на всех этапах создания СП. ИПК «ИСППР» способна решать задачи значительного снижения риска принятия неправильных решений.

Экспериментальные исследования эффективности квантовых моделей в ИПК «ИСППР СП», произведенные на примерах тестовых задач и на примере производственной задачи для изготовления сборочных приспособлений, показали, что вероятность получения ошибочных решений лежит в пределах 3-10%. Сравнение этого результата с результатами INTEREXPERT (фреймовые и производционные системы) при величине контрольной выборки $T(100, 20)$ свидетельствуют в возможности снижения риска принятия ошибочных решений в 2-4 раза[10].

При оценке вариантов проектно-производственных решений очевидно, что то решение будет предпочтительным, которое в наилучшей мере обеспечивает его соответствие поставленным задачам при оптимальных (приемлемых) затратах для их достижения в денежном (стоимостном) и временном аспектах (сроках выполнения проектных и производственных работ). При разработке ИПК «ИСППР СП» главное внимание было уделено снижению трудоемкости проектных, конструкторских и производственных затрат, снижению материалоемкости сборочных приспособлений.

Произведенные экономические расчеты показателей затрат на проектирование, конструирование и изготовление сборочных приспособлений для пассажирских самолетов 4-х типов (легких, типа АН-24; средних, типа АН-140; тяжелых, типа АН-124) показали, что в сопоставлении с заво-

дскими отчетными данными ИПК «ИСППР СП» обеспечивает снижение трудоемкости проектно-конструкторских работ на 20-30%, трудоемкости изготовления сборочных приспособлений на 15-25% и металлоемкости конструкций сборочных приспособлений на 10-25% (табл. 1). В таблице 1 использованы реальные отчетные данные Харьковского и Воронежского авиационных заводов.

Таблица 1

Экономическая оценка затрат на создание СП
для пассажирских самолетов

Наименование сборочных единиц, собираемых в СП	Кол-во потребных сборочных приспособлений	Показатели затрат					
		Металлоемкость СП (тонн)		Трудоемкость проектирования СП (н/ч)		Трудоемкость изготовления СП (н/ч)	
		Метод $T_{\text{мат}}$ (традиционный)	Метод СППР _{мат} (с использованием СППР)	Метод $T_{\text{проект}}$ (традиционный)	Метод СППР _{проект} (с использованием СППР)	Метод $T_{\text{изг}}$ (традиционный)	Метод СППР _{изг} (с использованием СППР)
Самолет ТУ-134 (изготовитель – Харьковский авиазавод)							
Фюзеляж	22	305	225	86926	62480	268970	218263
Крыло	24	133	99	56540	40378	169640	136913
Оперение	12	77	67,5	16377	11966	58120	47248
Итого	74	585	447	188510	139521	600730	486224
Величина ожидаемого экономического эффекта		138		48989		114506	
Самолет ИЛ-62 (изготовитель – Воронежский авиазавод)							
Фюзеляж	26	795	589	173200	130707	575200	473400
Крыло	34	855	639	91045	68496	405333	321869
Центроплан	18	462	345	48023	35985	217067	177207
Гондолы двигателей	20	157	120	32400	24500	139800	114570
Итого	98	2269	1693	344668	259661	1337400	1087046
Величина ожидаемого экономического эффекта		576		85007		250354	

Поскольку характеристики составных частей планера самолетов и их номенклатура носят устойчивый характер, то следует ожидать таких же результатов от использования ИСППР для создания СП всех современных и перспективных самолетов, при постановке их на серийное производство.

Следовательно, для расчетов экономических показателей затрат на создание комплектов сборочных приспособлений для сборки новых конструкций ЛА необходимо иметь достоверную теоретическую и информационную базы для определения нормативных затрат на оснащение сборочных цехов и те оптимальные объемы сборочных приспособлений, которые обеспечат эффективный уровень технико-экономических показателей сборочного производства. В авиационной промышленности выявлены и использованы закономерности формирования затрат на изготовление сборочной оснастки применительно к конкретным классам и типам самолетов. На основании этих закономерностей разработаны эмпирические модели [14, 15], в которых решающую роль играют следующие характеристики самолетов: габариты и масса пустого планера, количество наименований деталей в собираемых сборочных единицах, объемы годового выпуска самолетов (требуемые, как правило, дополнительное количество дублеров сборочных приспособлений).

Применительно к классу пассажирских и грузопассажирских самолетов всех типов (легких, средних, тяжелых и сверхтяжелых) экономико-математическая модель для определения прогнозируемых затрат на создание комплекта необходимых сборочных приспособлений имеет следующий обобщенный вид:

$$Z_{СП} = A G_n^{\lambda_1} Q_{ЛА}^{\lambda_2} N_D^{\lambda_3} K_i, \quad (1)$$

где $Z_{СП} = (T_{изг}(СП), T_{пр}(СП), Z_m)$ – затраты (трудоемкость) на изготовление, проектирование и затраты на материалы при создании СП;

A – неизменяемая часть собственных затрат для данного типа ЛА;

G_n – масса пустого ЛА (в тоннах);

$Q_{ЛА}$ – приведенный объем годового выпуска ЛА (в тыс. н/ч);

N_D – количество наименований деталей, поступающих на сборку;

K_i – поправочные коэффициенты:

$K_{изг}$ – коэффициент, учитывающий снижение трудоемкости при изготовлении СП с использованием оборудования с ЧПУ;

$K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий сокращение трудоемкости на проектирование СП в системе ИСППР;

K_m – коэффициент снижения материальных затрат за счет более эффективных способов расчета конструкции СП на прочность и жесткость;

$\lambda_i, i = 1, 2, 3$ – значения степенных показателей при факторах, влияющих на затраты при создании СП, полученные по результатам обработки статистических данных для ЛА класса «грузопассажирские самолеты» для типов, классифицированных по признаку «габарит-масса». В таблице 2 приведены значения λ_i и K_i (получены по результатам расчетов затрат трудоемкости и металлоемкости при принятии конструкторско-технологических решений на этапах создания СП (см. табл. 1)).

Таблица 2

Значения показателей степени λ_i [14] и поправочных коэффициентов K_i

Классификационные типы самолетов грузопассажирского класса	Масса пустого ЛА (тонн)	Значения показателей				Значения поправочных коэффициентов		
		A	λ_1	λ_2	λ_3	$K_{изг}$	$K_{пр}$	K_m
ЛА легкого типа	от 10 до 20	65,93	0,41	0,07	0,12	0,85	0,7	0,9
ЛА среднего типа	от 20 до 50	169,15	0,05	0,12	0,19	0,85	0,75	0,8
ЛА тяжелого типа	от 50 до 100	8,64	0,65	0,02	0,32	0,75	0,8	0,75
ЛА сверхтяжелого типа	свыше 100	17,92	0,97	0,02	0,07	0,75	0,8	0,75

Приняв расчетные данные табл. 1 в качестве базовых и с учетом всех показателей табл. 2, произведены по математической модели (1) расчеты экономических показателей на создание сборочных приспособлений для аналогичной номенклатуры сборочных единиц планера современных ЛА. Расчеты сведены в общую табл. 3.

Итоговые числовые значения показателей имеют двойное обозначение в соответствии с двойным диапазоном рассматриваемых весовых характеристик ЛА каждого типа.

Сравнительный анализ показателей, полученных для методов создания СП – традиционным способом («заводским») и с помощью ИПК «ИСППР СП», свидетельствует о значительной эффективности последнего для всех типов ЛА.

Следует обратить внимание, что как следует из данных таблицы 3, темпы освоения новых видов ЛА в сборочном производстве при использовании ИПК «ИСППР СП» могут быть увеличены за счет сокращения времени подготовки сборочного производства в среднем на 20% для всех типов ЛА. Последнее позволит начать серийное производство новых ЛА, а, следовательно, и выпустить их на рынки сбыта на 0,6-1,2 года раньше, что имеет неоспоримое преимущество в конкурентной борьбе на международной арене.

Графическое представление полученных расчетных экономических показателей создания СП, изображенное на рис. 1 и 2, позволяет наглядно убедиться в эффективности ИПК «ИСППР СП» и определить численные значения затрат для ЛА любой массы.

Последнее является весьма важным достижением (результатом) исследования, т.к. при необходимости предварительной оценки затрат на создание СП при запуске в производство новых конструкций ЛА позволяет заранее прогнозировать ожидаемый экономический эффект от использования ИПК «ИСППР СП».

Таблиця 3
Результати сравнительных расчетов экономических показателей по двум вариантам создания
сборочных приспособлений для грузопассажирских самолетов

Класс летательного аппарата – грузопассажирские самолеты		Экономические показатели									
		Масса комплекта сборочных приспособлений (тонн)		Трудоемкость проектирования СП (тыс н/ч)		Трудоемкость изготовления СП (тыс н/ч)		Количество лет подготовки сборочного производства		Количество необходимых исполнителей (технологов, конструкторов, рабочих) для создания СП	
Тип самолета	Масса пустого самолета (тонн)	При традиционных способах создания СП	При применении ИСППР СП	При традиционных способах создания СП	При применении ИСППР СП	При традиционных способах создания СП	При применении ИСППР СП	При традиционных способах создания СП	При применении ИСППР СП	При традиционных способах создания СП	При применении ИСППР СП
Легкий тип (АН-24, ИЛ-114)	10-20	80-200	64-160	75-150	55-100	250-450	200-370	2,0 3,0	1,6 2,4	40-100 30-75	30-90 25-60
Средний тип (ТУ-134, АН-74, АН-140, АН-148)	20-50	200-600	160-480	150-250	100-180	450-750	370-615	3,0 4,0	2,4 3,2	75-120 55-90	60-100 45-75
Тяжелый тип (ИЛ-62, АН-70)	50-100	600-1500	480-1200	250-450	180-325	750-1200	615-985	4,0 5,0	3,2 4,0	90-160 70-130	75-130 55-100
Сверхтяжелый тип (ИЛ-86, АН-225)	100 и более	более 1500	более 1200	450-600	325-430	1200-1450	985-1190	5,0 6,0	4,0 4,8	130-175 110-145	100-110 90-120

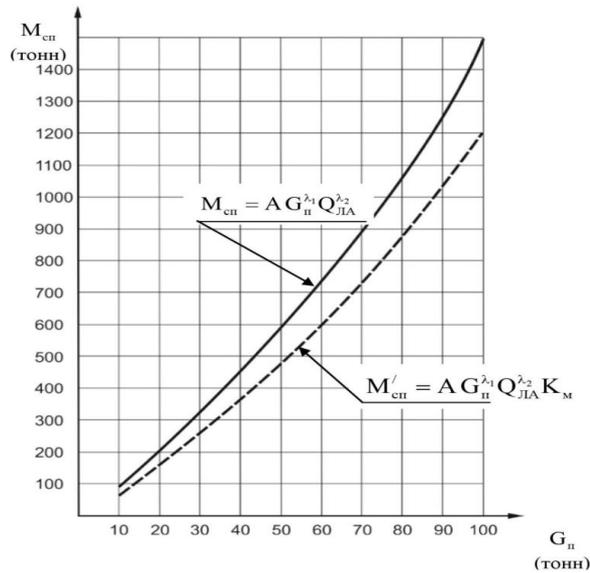


Рис. 1. Результаты сравнения по показателю металлоемкости сборочных приспособлений изготовленных с помощью системы ИСППР ($M'_{\text{сп}}$) с традиционными способами ($M_{\text{сп}}$)

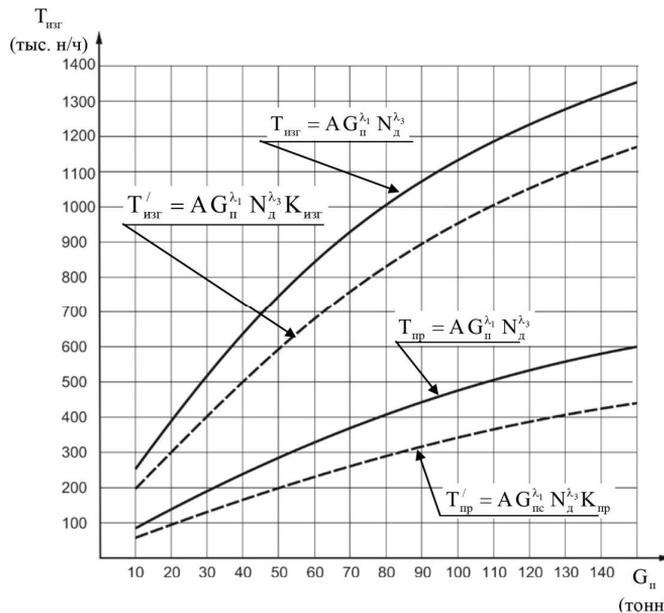


Рис. 2. Результаты сравнения по экономическим показателям трудоемкости проектирования и трудоемкости изготовления сборочных приспособлений по ИСППР ($T'_{\text{пр}}$ и $T'_{\text{изг}}$) с традиционными способами ($T_{\text{пр}}$ и $T_{\text{изг}}$)

Выводы

1. Для оценки эффективности создания сборочных приспособлений в авиастроении разработана экономико-математическая модель, учитывающая возможность ее применения в условиях перехода к информационной технологии принятия решений на всех этапах проектирования, конструирования и изготовления сборочных приспособлений.

2. На основе экспериментальных тестовых и практических задач показано, что система ИПК «ИСППР» обеспечивает значительную эффективность используемых материальных и временных затрат на создание сборочных приспособлений для всех типов современных пассажирских самолетов.

3. Экономико-математическая модель позволяет прогнозировать экономический результат для вновь запускаемых в серийное производство летательных аппаратов в случае использования предлагаемой системы ИПК «ИСППР».

Литература

1. Самсонов, О. Проблемы интеграции прикладных систем [Электронный ресурс] / О. Самсонов, Ю. Тарасов // САПР и графика. – 2000. – № 1. – Режим доступа: <http://sapr.ru/article.aspx?id=6645&iid=272#begin>. – 10.09.2013.

2. Давыдов, Ю. Современные средства конструирования наукоемких изделий [Текст] / Ю. Давыдов, В. Суров // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К. : Техника, 2001. – С. 184-206.

3. Трахтенгерц, Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений [Текст] / Э. А. Трахтенгерц. – М. : СИНТЕГ, 1988. – 376 с.

4. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О. И. Ларичев. – М. : Университетская книга. Логос, 2006. – 392 с.

5. Галушкин, А. Н. Теория нейронных систем [Текст] / А. Н. Галушкин. – М. : ИЖОР, 2000. – 380 с.

6. Геловани, В. А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений [Текст] / В. А. Геловани, А. А. Башлыков. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.

7. Бабушкин, А. А. Методологические подходы при создании САПР сборочных приспособлений в самолетостроении [Текст] / А. А. Бабушкин

// Труды харьковского авиационного института «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии». – X. : ХАИ, 1999. – С. 225 – 232.

8. Бабушкин, А. А. Концепция знаниеориентированной методологии принятия решений при автоматизации проектирования сборочных приспособлений в самолетостроении [Текст] / А. А. Бабушкин, А. И. Бабушкин, И. Б. Сироджа // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сб. науч. тр. ХАИ. – 2009. – Вып. 42. – С. 58-79.

9. Сироджа, И. Б. Формализация компьютерной поддержки принятия решений при проектировании стапельно-сборочной оснастки летательных аппаратов [Текст] / И. Б. Сироджа, А. А. Бабушкин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 1(58). – С. 89-96.

10. Бабушкин, А. А. Знаниеориентированная информационная технология для компьютерной поддержки принятия решений при создании сборочных приспособлений в самолетостроении [Текст] / А. А. Бабушкин, И. Б. Сироджа, А. И. Бабушкин // Вісник інженерної академії України. – Вип. 3-4. – 2010. – С. 12-28.

11. Трахтенгерц, Э. А. Субъективность в компьютерной поддержке принятия решений [Текст] / Э. А. Трахтенгерц. – М. : СИНТЕГ, 2001. – 350 с.

12. Юхимчук, С. В. Математичні моделі ризику для систем підтримки прийняття рішень [Текст] : моногр. / С. В. Юхимчук, А. О. Азарова. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2003. – 188 с.

13. Бабушкин, А. И. Проблемы экономии затрат и обеспечение точности аэродинамических контуров ЛА на этапе технологической подготовки производства [Текст] / А. И. Бабушкин, А. А. Бабушкин // Вісник інженерної Академії України. – 2008. – Вип. 2. – С. 9-13.

14. Руководство по технологичности самолетных конструкций [Текст]/ под ред. П. Н. Белянина. – М. : НИИТ, 1983. – 718 с.

15. Григорьев, А. А. Закономерности формирования и зависимости для определения объемов оснащения агрегатно-сборочного производства [Текст]/ А. А. Григорьев, Б. А. Медведев // Авиационная промышленность. – 1991. – №4. – С. 48-52.

Поступила в редакцию 11.09.2013, рассмотрена на редколлегии 11.10.2013

Рецензент: д-р экон. наук, проф., президент инженерной академии Украины **А. И. Васильев**, Харьков.

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ СТВОРЕННІ СКЛАДАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ В АВІАПРОМИСЛОВОСТІ

А. І. Бабушкін, О. А. Бабушкін

Викладено результати досліджень порівняльної економічної ефективності прийняття інженерних рішень при різних методах створення складальних пристроїв в авіабудуванні – традиційних і з використанням інформаційних технологій виконання проектно-конструкторських і виробничих розробок. Показано, що ІТ технології з використанням ЕОМ забезпечують значне зменшення ймовірних помилок при прийнятті інженерних рішень і забезпечують значне підвищення економічних показників ефективності затрат (трудових і матеріальних) на створення конструкцій складальних пристроїв в період підготовки виробництва нових літальних апаратів.

Ключові слова: авіабудування, складальні пристрої, інформаційна технологія, прийняття інженерних рішень, ефективність прийнятих рішень, інтерактивний програмний комплекс ІТ.

ECONOMIC EVALUATION INTELLECTUAL SUPPORT SYSTEMS DECISION UNDER CREATION ASSEMBLY JIGS AT THE AIRCRAFT INDUSTRY

A. I. Babushkin, A. A. Babushkin

The results of the comparative study of economic efficiency of decision-engineered solutions for various methods of creating assembly equipment in the aircraft industry - traditional and implementation of information technology engineering and manufacturing development. It is shown that IT technology using computers provide a significant reduction of possible errors in making engineering decisions and provide a significant increase in economic performance costs (labor and material) to create structures of assembly units during pre-production of new aircraft.

Keywords: aircraft, assembly devices, information technology, engineering decision-making, efficiency decisions, an interactive software package IT.

Бабушкін Анатолій Іванович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри економічної теорії, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Харків.

Бабушкін Александр Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедри фінансов, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Харків.