

УДК 629.7

А. А. КОЦЮБА

Государственное предприятие «Антонов», Киев, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭТАПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АГРЕГАТОВ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ

На основе анализа многочисленных источников установлен комплекс взаимосвязанных составляющих технологической подготовки производства гражданских самолетов, среди которых выделена технологичность конструкций агрегатов, наиболее полно отражающая качество изделия. Проведена декомпозиция комплекса технологичности, состоящего из взаимосвязанных компонент проектной, производственной и эксплуатационной составляющих технологичности. Предложен новый вариант методики оценки полной технологичности авиационного узла или агрегата, основанной на экспертных оценках вкладов взаимного влияния ее составляющих, представляющий открытую систему, способную к дальнейшему расширению или свертыванию в зависимости от условий и масштабов производства. Рассмотрен гипотетический демонстрационный пример формирования эффективности этапа технологической подготовки производства агрегата гражданского самолета.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, агрегаты самолета, технологичность, методика экспертной оценки вкладов составляющих.

Введение

Реализация проекта нового самолета в первую очередь зависит от надлежащего уровня технологической подготовки его производства [1 – 2].

Известно, что под технологической подготовкой производства (ТПП) в общем случае понимается большой комплекс подготовительных работ, выполняемых во времени параллельно или параллельно-последовательно перед запуском в производство новых образцов авиационной техники, включающих в себя [1 – 7]:

- разработку директивных технологических материалов или директивной технологии;
- разработку временного и серийного технологических процессов изготовления изделия;
- проектирование и изготовление технологической оснастки; специального оборудования, средств механизации и контроля;
- разработку технологических нормативов для определения трудоемкости изделия и определение потребности в рабочей силе, оборудовании, технологической оснастке, производственных площадях, материалах, полуфабрикатах, топливе, энергии для технологических целей;
- разработку документации технологического планирования и расцеховку изделия, т.е. установление номенклатуры и объемов работ цехов основного производства;
- отладку всех технологических и контрольно-испытательных операций, предусмотренных серийным технологическим процессом на соответствующих рабочих местах.

Работы по ТПП выполняются в определенной последовательности и в сроки, предусмотренные графиком подготовки производства самолета. Анализ источников [1 – 7] и ряда других позволяет сформировать блок-схему состава ТПП, включающую в себя его основные составляющие (рис. 1).

Наиболее масштабной является ТПП серийного выпуска нового самолета. Однако большой объем составляет ТПП опытного самолета, при которой также в полной мере реализуются главные принципы организации составляющего комплекса работ: принцип совмещения, типизации технологических процессов, преемственности технологического оснащения, последовательности оснащения производства, подробно описанные в [3].

Методической и организационной основой совершенствования ТПП являлись государственные стандарты единой системы ТПП (ЕСТПП) [4], устанавливающие для всех этапов управления состав и порядок решения задач обеспечения высокого уровня технологичности изделия при его проектировании, разработке технологических процессов на основе типовых решений и средств технологического оснащения.

Отмечая важность всех составляющих ТПП, представляется необходимым особо выделить комплекс работ по обеспечению технологичности конструкций агрегатов самолета, наиболее полно отражающей обеспечение качества изделия.

Углубленный анализ источников, содержащих анализ показателей технологичности самолета [1 – 7, 14 – 19] позволяет синтезировать основной состав этой категории (рис. 2).

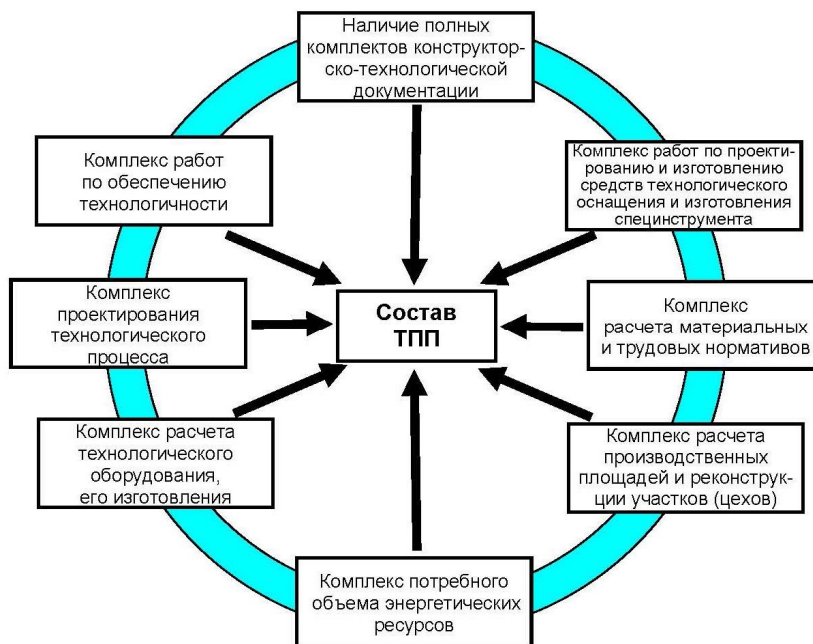


Рис. 1. Блок-схема основных составляющих комплекса технологической подготовки производства авиационной техники

В этих и других источниках нечетко просматривается три составляющих (аспекта) понятия технологичности, также взаимосвязанных между собой, закладываемых (формируемых) в большинстве своем на этапах проектирования изделия (проектная технологичность), и реализуемых на стадии производства (производственная технологичность) и в

процессе эксплуатации (эксплуатационная технологичность). На рис. 2 эти составляющие в соответствующих блоках помечены символами: К – конструктивная (проектная) технологичность; П – производственная технологичность и Э – эксплуатационная технологичность. Ниже приведен анализ взаимосвязей этих составляющих технологичности.

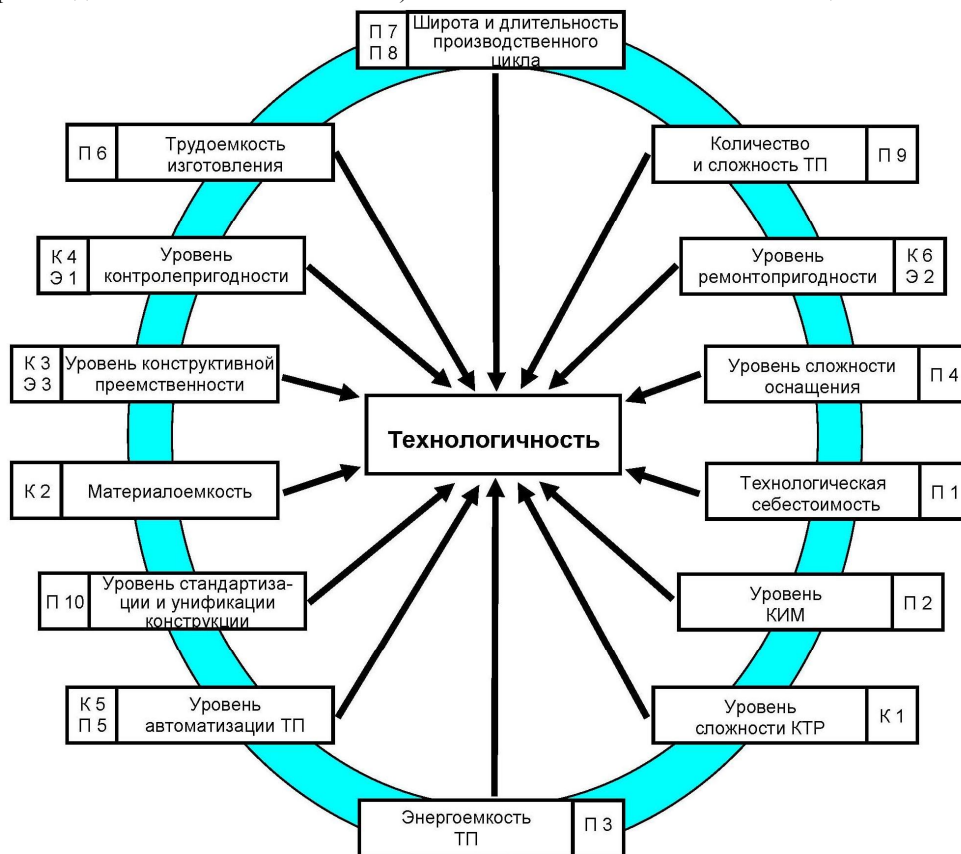


Рис. 2. Состав показателей технологичности

Анализ проблемы и постановка цели исследования

Само понятие качества изделия в соответствии с ДСТУ ISO 9000-200 [18] определяется как степень, до которой совокупность собственных отличительных свойств удовлетворяет сформулированным общепонятным или обязательным требованиям или ожиданиям.

Так как качество изделия закладывается в проект в процессе его разработки [2 – 3, 18], а реализуется процессами его производства, обеспечивающими ТПП, то ее эффективность будет предопределяться такими основными понятиями, как технологичность и ее составляющими: себестоимость, длительность временного и производственного цикла и др. Эти компоненты технологичности взаимосвязаны между собой (рис. 2).

Как уже отмечалось выше, проектная технологичность закладывается на всех этапах проектирования, начиная со стадии технического предложения, а затем – эскизного рабочего проектирования и этапа постройки опытной партии изделия [2, 14 -19]. Поэтому уровни конструктивной (проектной) технологичности предопределяются взаимосвязями между ее составляющими, а также между показателями производственной и эксплуатационной технологичности.

Рассмотрим подробнее эти взаимосвязи.

К1. Уровень сложности конструктивно-технологических решений (КТР) предопределяется: характером и уровнем воздействий на узел (агрегат), его ответственностью и отражается на уровнях технологической себестоимости (П1), сложности оснащения (П4) контролепригодности (К4, Э1), уровне ремонтпригодности (К6, Э2), количестве и сложности технологических процессов (ТП) (П9), уровне сложности оснащения (П4), уровне коэффициента использования материала (КИМ) (П2), уровнях автоматизации (П5, К5), широты и длительности производственного цикла (П7, П8), а также на уровне стандартизации и унификации (П10).

К2. Уровень материалоемкости (количество различных материалов, используемых в узле) зависит от уровня сложности КТР (П1) затрудненности обеспечения его несущей способности одним или несколькими материалами.

К3. Уровень конструктивной приемственности узла предопределяется подтвержденным положительным опытом изготовления и эксплуатации аналогичных узлов, отражающим их высокую технологичность, несущую способность, массовую эффективность, надежность и ресурс в эксплуатации и приемлемую трудоемкость в изготовлении (П6), технологическую себестоимость (П1), высокий КИМ (П2), допустимые уровни ремонтпригодности

(К6, Э2), контролепригодности (К4, Э1), материалоемкости (К2), сложности (К1) и другими позитивными показателями технологичности.

К4. Уровень контролепригодности обеспечивается доступностью контрольных средств ко всем зонам узла в изготовлении и эксплуатации (Э1).

К5. Уровень автоматизации предопределяется как предрасположенностью КТР узла по простоте формы (К1), так и по трудоемкости изготовления (П6), приемлемому количеству и сложности реализации ТП (П9), уровню сложности оснащения (П4) и технологической себестоимости (П1).

К6. Уровень ремонтпригодности зависит от уровня сложности КТР (К1).

Аналогичные взаимосвязи имеют место между производственной технологичностью, проектной и эксплуатационной.

П1. Уровень технологической себестоимости узла предопределяется уровнем сложности КТР (К1), трудоемкостью его изготовления (П6), сложности оснащения (П4), количества и сложности ТП (П9), уровнями материалоемкости (К2), автоматизации ТП (П5, К2), стандартизации (П10), энергоемкости ТП (П3), сложности оснащения (П4), широты и длительности производственного цикла (П7, П8).

П2. Уровень КИМ (П2) зависит от материалоемкости (К2), частично – от количества и сложности ТП (П9);

П3. Энергоемкость ТП предопределяется уровнем сложности КТР (К1), автоматизации ТП (П5, К5), материалоемкости (К2), трудоемкости изготовления (П6), количества и сложности ТП (П9), широты и длительности производственного цикла (П7, П8) и в меньшей степени от других факторов.

П4. Уровень сложности оснастки зависит от количества и сложности ТП (П9), трудоемкости изготовления узла (П6), уровней автоматизации ТП (П5, К5), сложности КТР (К1) и других факторов, включая объем производства.

П5. Уровень автоматизации взаимосвязан с энергоемкостью ТП (П3), уровнем сложности КТР (К1), количеством и сложностью ТП (П9).

П6. Трудоемкость изготовления узла предопределяется уровнем сложности КТР (К1), сложностью оснащения (П1), уровнями автоматизации ТП (П5, К5), конструктивной приемственностью (К3, Э3), количеством и сложностью ТП (П9), широтой и длительностью производственного цикла (П7, П8).

П7. Широта производственного цикла зависит от количества и сложности ТП (П9), уровней сложности КТР (К1), автоматизации ТП (К5, П5), стандартизации и унификации конструкции (П10).

П8. Длительность производственного цикла зависит от тех же факторов, что и П7, включая также энергоемкость ТП (П3).

П9. Количество и сложность ТП взаимосвязана с уровнем сложности КТР (К1), уровнем сложности оснащения (П4), трудоемкостью изготовления изделия (П6), уровнем конструктивной преемственности (К3, Э3), а также уровнями стандартизации и унификации конструкции (П10) и автоматизации ТП (П5, К5).

П10. Уровень автоматизации и унификации конструкции предопределяется сложностью КТР (К1), конструктивной преемственностью (К3, Э3), а также самой спецификой изделий из ПКМ, в значительной степени не предрасположенных к этому показателю технологичности.

Взаимосвязь показателей эксплуатационной технологичности также имеет место с проектной (конструктивной) и производственной составляющими этой категории.

Э1. Уровень контролепригодности зависит от уровня сложности КТР (К1) и конструктивной преемственности (К3).

Э2. Уровень ремонтпригодности связан с теми же факторами, что и Э1.

Э3. Уровень конструктивной преемственности зависит от самой возможности ее реализации (К3), а также от сложности КТР (К1), количества и сложности ТП, а также частично от технологической себестоимости (П1) и трудоемкости изготовления (П6).

Обсуждаемый выше аспект взаимозависимости составляющих технологичности на этапах формирования проекта по видимому является только исходным пунктом разработки методики оценки полной технологичности изделия (узла), предшествующим последующему этапу учета характера, вида и степени влияния и взаимовлияния составляющих технологичности в иерархическом порядке, а именно: проектная технологичность (в которой уже учтены показатели производственной и эксплуатационной составляющих этапа отработки на технологичность) рассматривается как исходная во все составляющие, которой оцениваются вклады производственной и эксплуатационной. Затем анализируется взаимное влияние параметров производственной технологичности и влияние на них факторов эксплуатационной технологичности. Эксплуатационная технологичность включает только взаимовлияния ее составляющих. Эти аспекты анализируются ниже.

Понятие технологичности конструкции можно сформулировать как комплекс ее свойств, позволяющих изготавливать эту конструкцию с меньшими производственными затратами по сравнению с другими вариантами при одинаковых или лучших значениях заданных параметров конструкции, ремонтпригодности и при одинаковом количественном выпуске [2].

Близкая по содержанию формулировка технологичности приведена в [8, 18, 19]: технологичность конструкции определяется совокупностью ее свойств, позволяющих применить при изготовлении прогрессивные технологические процессы, высокопроизводительное автоматизированное или автоматическое оборудование, новые материалы и обеспечить высокое качество при минимальных затратах труда и времени.

ТПП агрегата самолета из полимерных композиционных материалов (ПКМ) содержит все отмеченные выше составляющие, но соответствующим образом трансформированные с учетом специфических особенностей объекта и его объема в структуре основного производства [8]. Специфика конструкций из ПКМ, как известно [5, 8 – 10, 13 – 19] состоит как в самом композите, создаваемом в процессе изготовления изделия, так и в следующих из этого технологических процессах и реализующего их оснащения [20] (рис. 3). Отсюда вытекает автономия композитного производства относительно основного, заключающаяся в необходимости как создания специальных обслуживающих это производство подразделений; формируемых специалистами: конструкторами, технологами, химиками и др., а также, производственных участков, лабораторий, цехов, количество которых и относительная мощность возрастала с увеличением доли композитного производства, как в составе опытного КБ, проектирующего самолет, так и на серийных заводах его производства [9 – 11]. При достаточно большом объеме композитных агрегатов самолета и высоком уровне их ответственности, а также масштабах производства оно структурно и организационно выделялось в отдельные предприятия. В последние десятилетия за рубежом успешно функционируют фирмы, производящие композитные агрегаты [12, 13].

Ниже анализируется формирование эффективности этапа ТПП агрегатов гражданских самолетов из ПКМ на основе состава показателей технологичности (рис. 2) как ключевой составляющей эффективности ТПП.

Как отмечено в [18] в настоящее время существует пять методов оценки технологичности вариантов конструкций: качественный и четыре количественных. Качественный, разработанный НИАТом оценивает технологичность ее составляющих в относительных единицах, перечень которых приведен в [18] к базовому аналогу. При этом не ясно, кто и как устанавливает эти относительные единицы. По-видимому, это осуществляется методом экспертных оценок или каких-то формул. В любом случае метод обретает количественную форму.

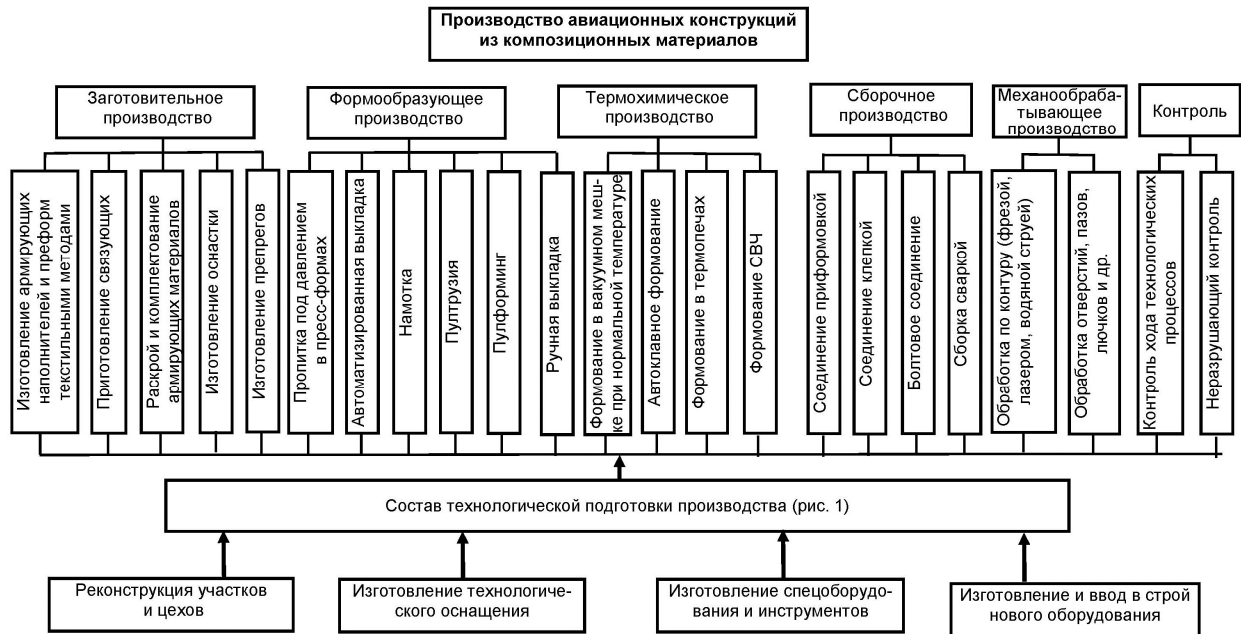


Рис. 3. Основные составляющие технологической подготовки и производства авиаконструкций из ПКМ

Автор [18] к количественным методам относит метод экспертных оценок, основным недостатком которого он считает его субъективность, хотя отмечает его использование для коррекции поправочных коэффициентов в формулах расчетов показателей технологичности путем сравнения с изделием-аналогом.

Вторым количественным методом автор называет метод расчета показателей технологичности по изделию-аналогу, трактуемый как корректирующий известные значения технико-экономических показателей изделия-аналога поправочными коэффициентами, вводимым в формулы коэффициентами – удельными значениями параметров в долях от единицы либо в баллах. Так или иначе, но эти коэффициенты ассоциируются с экспертными оценками.

Третий метод, называемый методом структурных показателей, основным содержанием которого является расчет показателей распределения элементов конструкции по ряду характерных признаков, примерный состав которых приведен в табл. 3.11 [18]. Отмечается, что методика расчета показателей технологичности изложена в [17].

Последним из количественных методов оценки технологичности автор [18] приводит аналитический метод, реализуемый с помощью компьютерных технологий, находящийся в стадии отработки [20], основным содержанием которого является оценка комплексных показателей технологичности на основе математического моделирования составных частей изделий и производственных систем изготовления.

Таким образом, резюмируя масштабные работы, связанные с разными аспектами оценки технологичности машиностроительных конструкций и

авиационной техники в частности [2 – 3, 14 – 20], следует отметить достаточное многообразие, в том числе директивных материалов, посвященных данной проблеме [16 – 17], на протяжении десятилетий обеспечивающих создание эффективных авиационных конструкций отечественных гражданских самолетов, в том числе включающих в себя ответственные узлы и агрегаты из ПКМ.

Тем не менее, необходимость дальнейшего совершенствования научно-исследовательской базы, способствующей формированию эффективности этапа технологической подготовки производства агрегатов отечественных гражданских самолетов, в первую очередь из ПКМ, диктует целесообразность создания усовершенствованного метода, в определенной степени обобщающего и развивающего известные методы прогнозирования общей технологичности узлов и агрегатов самолета, учитывающего взаимовлияния их составляющих.

Ниже изложены основы такого метода, включающего известные и оправдавший себя на практике метод экспертных оценок [22] с использованием десятибалльной шкалы.

Основная часть

1. Вводится 10-балльная шкала оценки уровней проектной, производственной и эксплуатационной составляющих общей технологичности.

2. Оценивается относительная значимость показателей проектной технологичности α_i

$$\bar{K}_i = K_i \alpha_i, \quad (1)$$

где α_i – коэффициент относительной значимости показателей проектной технологичности ($\alpha_i \leq 1$)

$$\sum_{i=1}^6 \alpha_i = r_{\bar{K}}, \quad (2)$$

где $r_{\bar{K}}$ – нормирующий коэффициент приведения вкладов проектной технологичности к доле единицы.

3. Оцениваются вклады коэффициентов взаимного влияния показателей проектной технологичности

$$\varphi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{K}_i) \quad (3)$$

– коэффициенты влияния i -го показателя относительной проектной технологичности \bar{K}_i на её j -й показатель ($i = 1, 2, \dots, 5$; $j = 1, 2, \dots, 5$).

4. Оценивается относительная значимость показателей производственной технологичности β_i , ($\alpha_i \leq 1$)

$$\bar{\Pi}_i = \Pi_i \beta_i, \quad (4)$$

где β_i – коэффициент относительной значимости показателей производственной технологичности ($\beta_i \leq 1$)

$$\sum_{n=1}^{10} \beta_i = r_{\bar{\Pi}}, \quad (5)$$

где $r_{\bar{\Pi}}$ – нормирующий коэффициент приведения вкладов производственной технологичности к доле единицы.

5. Оцениваются вклады коэффициентов влияния каждого показателя производственной технологичности $\bar{\Pi}_i$ ($i = 1, 2, \dots, 10$) на каждый показатель проектной (конструктивной) технологичности \bar{K}_j ($j = 1, 2, \dots, 5$)

$$\varphi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{\Pi}_i), \quad (6)$$

где $\varphi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{\Pi}_i)$ – коэффициенты влияния каждого i -го относительного показателя производственной технологичности $\bar{\Pi}_i$ на каждый относительный показатель проектной технологичности \bar{K}_j ($i = 1, 2, \dots, 10$; $j = 1, 2, \dots, 6$).

6. Оцениваются вклады коэффициентов взаимного влияния каждого относительного показателя производственной технологичности

$$\varphi_{\bar{\Pi}_{ij}}(\bar{\Pi}_i), \quad (7)$$

где $\varphi_{\bar{\Pi}_{ij}}(\bar{\Pi}_i)$ – коэффициент взаимного влияния i -го показателя производственной технологичности на j -й ее показатель ($i = 1, 2, \dots, 10$; $j = 1, 2, \dots, 10$).

7. Оценивается относительная значимость показателей эксплуатационной технологичности γ_i :

$$\bar{\Xi}_i = \Xi_i \gamma_i, \quad 0 \leq \gamma_i \leq 1, \quad (8)$$

где γ_i – коэффициент относительной значимости показателей эксплуатационной технологичности:

$$\sum_{n=1}^3 \gamma_i = r_{\bar{\Xi}}, \quad (9)$$

$r_{\bar{\Xi}}$ – нормирующий коэффициент приведения вкладов эксплуатационной технологичности к доле единицы.

8. Оцениваются вклады коэффициентов влияния каждого показателя эксплуатационной технологичности $\bar{\Xi}_j$ ($j = 1, 2, 3$) во все показатели проектной технологичности \bar{K}_i ($i = 1, 2, \dots, 6$)

$$\varphi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{\Xi}_j), \quad (10)$$

где $\varphi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{\Xi}_j)$ – коэффициенты влияния каждого относительного i -го показателя эксплуатационной технологичности $\bar{\Xi}_j$ на каждый показатель проектной технологичности \bar{K}_i ($i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, \dots, 6$).

9. Оцениваются вклады коэффициентов влияния каждого показателя эксплуатационной технологичности на все показатели производственной технологичности

$$\varphi_{\bar{\Pi}_{ij}}(\bar{\Xi}_j), \quad (11)$$

где $\varphi_{\bar{\Pi}_{ij}}(\bar{\Xi}_j)$ – коэффициенты влияния каждого относительного i -го показателя эксплуатационной технологичности $\bar{\Xi}_j$ на каждый показатель производственной технологичности.

10. Оцениваются вклады коэффициентов взаимовлияния эксплуатационной технологичности

$$\varphi_{\bar{\Xi}_{ij}}(\bar{\Xi}_j). \quad (12)$$

11. Оценивается общая технологичность изделия по формуле:

$$T = \frac{1}{r} \left[\frac{1}{r_{\bar{K}}} \sum \frac{\bar{K}_i \varphi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{K}_i)}{r_{\varphi_{\bar{K}}(\bar{K})}} + \frac{1}{r_{\bar{\Pi}}} \sum \frac{\bar{\Pi}_i \varphi_{\bar{\Pi}_{ij}}(\bar{K}_i)}{r_{\varphi_{\bar{\Pi}}(\bar{K})}} + \frac{1}{r_{\bar{\Xi}}} \sum \frac{\bar{\Xi}_i \varphi_{\bar{\Xi}_{ij}}(\bar{K}_i)}{r_{\varphi_{\bar{\Xi}}(\bar{K})}} + \frac{1}{r_{\bar{\Pi}}} \sum \frac{\bar{\Pi}_i \varphi_{\bar{\Pi}_{ij}}(\bar{\Pi}_i)}{r_{\varphi_{\bar{\Pi}}(\bar{\Pi})}} + \frac{1}{r_{\bar{\Xi}}} \sum \frac{\bar{\Xi}_i \varphi_{\bar{\Xi}_{ij}}(\bar{\Xi}_i)}{r_{\varphi_{\bar{\Xi}}(\bar{\Xi})}} + \frac{1}{r_{\bar{\Xi}}} \sum \frac{\bar{\Xi}_i \varphi_{\bar{\Xi}_{ij}}(\bar{\Xi}_i)}{r_{\varphi_{\bar{\Xi}}(\bar{\Xi})}} \right]. \quad (13)$$

Здесь обозначено:

r – размер балльной шкалы экспертных оценок ($r = 10$);

$r_{\bar{K}}$, $r_{\bar{\Pi}}$, $r_{\bar{\Xi}}$ – коэффициенты приведения вкладов проектной, производственной и эксплуатационной технологичности к доле единицы;

$r_{\varphi_{\bar{K}}(\bar{K})}$, $r_{\varphi_{\bar{\Pi}}(\bar{\Pi})}$, $r_{\varphi_{\bar{\Xi}}(\bar{\Xi})}$ – коэффициенты приведения коэффициентов взаимовлияния показателей

проектной, производственной и эксплуатационной технологичности к долям единицы;

$r_{\Phi\bar{K}}(\bar{K}), r_{\Phi\bar{\Pi}}(\bar{\Pi}), r_{\Phi\bar{\Xi}}(\bar{\Xi})$ – коэффициенты приведения коэффициентов влияния показателей $\bar{\Pi}$ на \bar{K} , $\bar{\Xi}$ на \bar{K} и $\bar{\Pi}$ на $\bar{\Xi}$ к долям единицы. Коэффициенты r введены для приведения коэффициентов влияния к единой базе (единице), что позволяет в исходных экспертных оценках не прибегать к введению трудно реализуемых экспертами показателей в сотых и тысячных долях единицы, а на заключительной стадии оценивания располагать оценками высокой точности.

Аналогичным образом определяется полная технологичность базового варианта конструкции $T_{\text{баз}}$

$$T_{\text{баз}} = \frac{1}{r} \left[\frac{1}{r_{\bar{K}}^{\text{баз}}} \sum \frac{\bar{K}_i \Phi_{\bar{K}_{ij}}^{\text{баз}}(\bar{K}_i)}{r_{\Phi\bar{K}}^{\text{баз}}(\bar{K})} + \frac{1}{r_{\bar{\Pi}}^{\text{баз}}} \sum \frac{\bar{\Pi}_i \Phi_{\bar{\Pi}_{ij}}^{\text{баз}}(\bar{K}_i)}{r_{\Phi\bar{\Pi}}^{\text{баз}}(\bar{K})} + \frac{1}{r_{\bar{\Xi}}^{\text{баз}}} \sum \frac{\bar{\Xi}_i \Phi_{\bar{\Xi}_{ij}}^{\text{баз}}(\bar{K}_i)}{r_{\Phi\bar{\Xi}}^{\text{баз}}(\bar{K})} + \frac{1}{r_{\bar{\Pi}}^{\text{баз}}} \sum \frac{\bar{\Pi}_i \Phi_{\bar{\Pi}_{ij}}^{\text{баз}}(\bar{\Pi}_i)}{r_{\Phi\bar{\Pi}}^{\text{баз}}(\bar{\Pi})} + \frac{1}{r_{\bar{\Xi}}^{\text{баз}}} \sum \frac{\bar{\Xi}_i \Phi_{\bar{\Xi}_{ij}}^{\text{баз}}(\bar{\Xi}_i)}{r_{\Phi\bar{\Xi}}^{\text{баз}}(\bar{\Xi})} \right] \quad (14)$$

Эффективность нового варианта конструкции по уровню ее полной технологичности определяется как отношение

$$\bar{T}_{\text{эф}} = \frac{T}{T_{\text{баз}}} > 1. \quad (15)$$

Значения всех коэффициентов влияния как нового варианта конструкции, так и базового определяются экспертными оценками, формируемыми в табл. 1 – 9 гипотетического примера формирования суммарной технологичности нового изделия. При этом коэффициенты относительной значимости показателей составляющих полной технологичности

нового и базового вариантов конструкции, по-видимому, всегда равны между собой $\bar{K}_i = \bar{K}_i^{\text{баз}}, \bar{\Pi}_i = \bar{\Pi}_i^{\text{баз}}, \bar{\Xi}_i = \bar{\Xi}_i^{\text{баз}}$, в то время как все коэффициенты влияния в общем случае различны: $\Phi_{\bar{K}_{ij}} \neq \Phi_{\bar{K}_{ij}}^{\text{баз}}, \Phi_{\bar{\Pi}_{ij}} \neq \Phi_{\bar{\Pi}_{ij}}^{\text{баз}}, \Phi_{\bar{\Xi}_{ij}} \neq \Phi_{\bar{\Xi}_{ij}}^{\text{баз}}$, так как все составляющие проектной, производственной и эксплуатационной технологичности одинаковы только по форме, но имеют различное содержание вследствие различия КТР, ТП, оснащения и материалов. Соответственно отличными будут и все коэффициенты приведения к данной базе (единице).

Таблица 1

Экспертные оценки относительной значимости показателей проектной технологичности

i	1	2	3	4	5	6	Σ	$r_{\bar{K}}$
K_i	6	3	2	2	4	1	18	-
α_i	0,5	0,2	0,2	0,6	0,2	0,6	2,3	2,3
\bar{K}_i	3	0,6	0,4	1,2	0,8	0,6		

Таблица 2

Экспертные оценки относительной значимости показателей производственной технологичности n_i изделия «панель»

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	$r_{\bar{\Pi}}$
n_i	6	4	4	5	4	6	4	3	4	1	35	-
β_i	0,5	0,1	0,5	0,5	0,1	0,7	0,2	0,3	0,7	0,1	3,7	3,7
\bar{n}_i	3	0,4	2	2,5	0,4	4,2	0,8	0,9	2,8	0,1		

Таблица 3

Экспертные оценки относительной значимости показателей эксплуатационной технологичности изделия «панель»

i	1	2	3	Σ	$r_{\bar{\Xi}}$
Ξ_i	9	9	3	21	-
γ_i	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5
$\bar{\Xi}_i$	1,8	1,8	0,3		

Таблица 4

Вклад коэффициентов взаимного влияния показателей производственной технологичности \bar{n}_i на показатели проектной технологичности \bar{K}_i

ij	11	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	26	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44
$\Phi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{n}_i)$	0,8	0,6	0	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0	0	0,3	0	0,4	0,2	0,1	0,1	0,4	0	0,7	0,1	0	0,2
ij	45	46	51	52	53	54	55	56	61	62	63	64	65	66	71	72	73	74	75	76	81	82
$\Phi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{n}_i)$	0	0,3	0,6	0,4	0	0,1	0	0,5	0,8	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,4	0	0	0	0,3	0	0,5	0
ij	83	84	85	86	91	92	93	94	95	96	101	102	103	104	105	106	$r_{\Phi\bar{K}}$					
$\Phi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{n}_i)$	0,2	0	0,4	0	0,7	0	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0	0,4	0,6	0,1	0,4	15,6					

Таблица 5

Вклад коэффициентов взаимного влияния показателей производственной технологичности \bar{p}_i

ij	11	12	13	14	15	16	17	18	19	110	22	23	24	25	26	27	28	29	210	31	32	33
$\Phi_{\bar{p}_{ij}}(\bar{p}_i)$	0	0	0	0,5	0,4	0,8	0,2	0,2	0,8	0,3	0	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0	0	0	0
ij	34	35	36	37	38	39	310	44	45	46	47	48	49	410	55	56	57	58	59	510	66	67
$\Phi_{\bar{p}_{ij}}(\bar{p}_i)$	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0	0	0,3	0,5	0,2	0,2	0,4	0,3	0	0	0,2	0,2	0,5	0,2	0	0,4
ij	68	69	610	77	78	79	710	88	89	810	99	910	101	$r_{\Phi\bar{p}}$								
$\Phi_{\bar{p}_{ij}}(\bar{p}_i)$	0,4	0,8	0	0	0,3	0,4	0,1	0	0,4	0,1	0	0,3	0	12,4								

Таблица 6

Вклад коэффициентов взаимного влияния показателей проектной технологичности

 \bar{K}_i изделия «панель» $\Phi_{ij}(\bar{K}_i)$

ij	11	12	13	14	15	16	22	23	24	25	26	33	34	35	36	44	45	46	55	56	66	$r_{\Phi\bar{K}}$
$\Phi_{ij}(\bar{K}_i)$	0	0,4	0,5	0,7	0,7	0,8	0	0,1	0,4	0,4	0,3	0	0	0	0,1	0	0	0,2	0	0,2	0	4,8

Таблица 7

Вклад коэффициентов влияния показателей эксплуатационной технологичности $\bar{\Xi}_i$ на показатели проектной технологичности

ij	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43	51	52	53	61	62	63	$r_{\bar{K}(\bar{\Xi})}$
$\Phi_{\bar{K}_{ij}}(\bar{\Xi}_i)$	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0	0	0,1	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0	2,7

Таблица 8

Вклад коэффициентов влияния показателей эксплуатационной технологичности $\bar{\Xi}_i$ на показатели производственной технологичности

ij	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43	51	52	53	
$\Phi_{\bar{p}_{ij}}(\bar{\Xi}_i)$	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,4	0	0	0	0	
ij	61	62	63	71	72	73	81	82	83	91	92	93	101	102	103	$r_{\bar{p}(\bar{\Xi})}$
$\Phi_{\bar{p}_{ij}}(\bar{\Xi}_i)$	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,5	0	0,3	0,4	0	3,5

Таблица 9

Вклад коэффициентов взаимного влияния показателей эксплуатационной технологичности

ij	11	12	13	22	23	33	$r_{\bar{\Xi}(\bar{\Xi})}$
$\Phi_{\bar{\Xi}_{ij}}(\bar{\Xi}_i)$	0	0,4	0	0	0	0	0,4

Подставив в формулу (13) соответствующие данные из табл. 1 – 9, получим $T=12,14$.

Аналогично из таблиц для $T_{\text{баз}}$ подставим данные для формулы (14) $T_{\text{баз}}=1,63$.

В соответствии с (15) эффективность нового гипотетического варианта конструкции панели составляет условное число

$$\bar{T}_{\text{эф}} = \frac{T}{T_{\text{баз}}} = 1,31 > 1.$$

Выводы

1. На основе анализа существующих источников, охватывающих монографии и регламентирующую документацию, синтезирована блок-схема основных взаимосвязанных составляющих комплекса технологической подготовки производства авиационной техники, среди которых особое место занимают работы по обеспечению технологичности конструкций агрегатов самолета, наиболее полно отражающие регламентированное качество изделия.

2. Проведена декомпозиция комплекса технологичности, состоящего из взаимосвязанных составляющих, формирующих проектную (конструктивную), производственную и эксплуатационную компоненты общей технологичности изделия.

3. Установлены прямые и косвенные качественные связи между всеми составляющими ком-

понент проектной, производственной и эксплуатационной технологичностью, позволяющие формировать методику количественной оценки полной технологичности создаваемого изделия.

4. Показано, что в настоящее время, несмотря на наличие ряда, в том числе узаконенных соответствующими регламентирующими документами методик оценки тех или иных составляющим технологичности, все они, в той или иной степени, опираются на метод экспертных оценок, которому нет обоснованной альтернативы.

5. Предложен новый вариант методики сравнительного расчета полной технологичности авиационного узла или агрегата, основанный на экспертных оценках вкладов взаимного влияния составляющих проектной, производственной и эксплуатационной технологичности по десятибалльной шкале, перестраиваемой в промежуточном этапе на единичную, что позволяет существенно повысить точность экспертных оценок при большом массиве входящих параметров.

6. Рассмотрен гипотетический демонстрационный пример прогнозирования общей технологичности и композитной панели самолета по экспертным оценкам относительной значимости ее составляющих, а также вкладов их соответствующих коэффициентов взаимного влияния.

7. Предложенная методика представляет открытую систему, способную как к дальнейшему расширению путем введения новых (дополнительных) составляющих, так и к свертыванию за счет исключения некоторых, представляющихся менее значимыми для той или иной конструкции и вида производства, составляющих факторов (параметров) компонент полной технологичности.

Литература

1. Горбунов, М. Н. Основы технологии производства самолетов [Текст] / М. Н. Горбунов. – М. : Машиностроение, 1976. – 260 с.
2. Беляков, И. Т. Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов [Текст] / И. Т. Беляков, Ю. Д. Борисов. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
3. Технология самолетостроения [Текст] / А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др. ; под ред. А. Л. Абибова. – М. : Машиностроение, 1982. – 551 с.
4. Единая система технологической подготовки производства [Текст]. – М. : Госстандарт, 1975. – 254 с.
5. Гайдачук, В. Е. Теоретические основы технологической подготовки производства авиаконструкций из композиционных материалов [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.07.04 / Виталий Евгеньевич Гайдачук. – Х. : ХАИ. – 1979. – 438 с.
6. Крысин, В. Н. Технологическая подготовка авиационного производства [Текст] / В. Н. Крысин. – М. : Машиностроение, 1985. – 200 с.
7. Забашта, В. Ф. Техническая подготовка производства конструкций из композиционных материалов [Текст] / В. Ф. Забашта. – К. : Техника, 1993. – 147 с.
8. Технологія виробництва літальних апаратів із композиційних матеріалів [Текст] / С. А. Бичков, О. В. Гайдачук, В. Є. Гайдачук, В. Д. Гречка, В. М. Кобрін ; під ред. В. Є. Гайдачука. – К. : ІСДО, 1995. – 376 с.
9. Коцюба, А. А. Анализ эффективности конструктивно-технологических решений агрегатов воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов ГП «Антонов» и реализующих их технологий [Текст] / А. А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(86). – Х., 2016. – С. 7 – 14.
10. Бычков, С. А. Состояние и проблемы применения новых конструкционных материалов в отечественных гражданских самолетах в современных условиях. Сообщение 2. Полимерные композиционные материалы в отечественных гражданских самолетах в современных условиях (1995-2015). Первопричины и закономерности внедрения [Текст] / С. А. Бычков, А. А. Коцюба // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 6(133). – С. 4 – 14.
11. Король, В. Н. Организация научно-производственной базы для создания конструкций из КМ [Текст] / В. Н. Король // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – № 3(38). – С. 108 – 114.
12. Андреев, А. В. Современные конструктивно-технологические решения агрегатов авиаконструкций из полимерных композиционных материалов и их реализация на предприятиях Stelia Aerospace [Текст] / А. В. Андреев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(84). – Х., 2015. – С. 95-104.
13. Забашта, В. Ф. Интегральные конструкции из полимерных композиционных материалов: технологические аспекты [Текст] / В. Ф. Забашта // Технологические системы. – 2007. – № 4. – С. 16 – 36.
14. Технологичность конструкций [Текст] / под ред. С. Л. Ананьева, В. П. Купровича. – М. : Машиностроение, 1969. – 424 с.
15. Прялин, М. А. Оценка технологичности конструкций [Текст] / М. А. Прялин, В. М. Кульчев ; под ред. М. А. Прялина. – К. : Техніка, 1985. – 120 с.
16. Руководство по технологичности самолетных конструкций [Текст] / под ред. П. Н. Белянина. – М. : НИИТ, 1983. – 720 с.

17. Методические материалы ММ.1.4.123–83. Технологическое проектирование самолетных конструкций [Текст]. – М. : ВИАМ, 1984. – 116 с.

18. Кривов, Г. А. Технология самолетостроительного производства [Текст] / Г. А. Кривов. – К. : КВИЦ, 1997. – 459 с.

19. Забаишта, В. Ф. Технологичность конструкций из полимерных композиционных материалов [Текст] / В. Ф. Забаишта // Технологические системы. – 2007. – № 3(39). – С. 46 – 66.

20. Усачев, М. Е. Методы анализа и показатели оценки технологичности вариантов конструкций летательных аппаратов [Текст] / М. Е. Усачев, В. В. Булычев // Сб. науч. тр. Национального института авиационных технологий. – М. : НИИТ, 1980. – С. 15 – 19.

21. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении [Текст] / под ред. А. Г. Братухина, В. С. Боголюбова, А. С. Сироткина. – М. : Готика, 2003. – 516 с.

22. Бешелев, С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.

References

1. Gorbunov, M. N. *Osnovy tekhnologii proizvodstva samoletov* [Fundamentals of aircraft manufacturing technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 260 p.

2. Belyakov, I. T. *Tekhnologicheskie problemy proektirovaniya letatel'nykh apparatov* [Technological problems of design of aircraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 240 p.

3. Abibov, A. L., Biryukov N. M., Boitsov V. V. and others *Tekhnologiya samoletostroeniya* (ed.: Abibov A. L. [Aircraft technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 551 p.

4. *Edinaya sistema tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva* [A unified system of technological preparation of production]. Moscow, Gosstandart Publ., 1975. 254 p.

5. Gajdachuk, V. E. *Teoreticheskie osnovy tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva aviakonstrukcij iz kompozitsionnykh materialov*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Theoretical basis of technological preparation of manufacture of composite materials aviakonstruktsy. Dr. eng. sci. diss.]. Kharkov, Kharkov Aviation Institute Publ., 1979. 438 p.

6. Krysin, V. N. *Tekhnologicheskaya podgotovka aviatsionnogo proizvodstva* [Technological preparation of aircraft production]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 200 p.

7. Zabashta, V. F. *Tekhnicheskaya podgotovka proizvodstva konstruksii iz kompozitsionnykh materialov* [Technical preparation of production structures made of composite materials]. Kyiv, Tehnika Publ., 1993. 147 p.

8. Bychkov, S. A., Haydachuk, O. V., Haydachuk, V. Ye., Hrechka, V. D., Kobrin, V. M. *Tekhnolohiya vyrobnystva lital'nykh aparativ iz kompozitsionnykh materialiv* (ed.: Haydachuk V. Ye.) [Technology of production of aircraft with composite materials]. Kyiv, ISDO Publ., 1995. 376 p.

9. Kotsiuba, A. A. Analiz effektivnosti konstruktivno-tekhnologicheskikh reshenii agregatov vozdukhnykh sudov iz polimernykh kompozitsionnykh materialov i realizuyushchikh ikh tekhnologii [Analysis of the effectiveness of structural and technological solutions of units of aircraft made of polymer composite materials and implementing their technologies]. *Nauchnye trudy Natsional'nogo aerokosmicheskogo universiteta im. N. E. Zhukovskogo «KhAI» «Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruksii letatel'nykh apparatov»* [Proc. of the National Aerospace University Kharkov Aviation Institute "Issues of design and manufacture of flying vehicles"], 2016, vol. 2 (86), pp. 7 – 14.

10. Bychkov, S. A., Kotsiuba, A. A. Sostoyanie i problemy primeneniya novykh konstruktivnykh materialov v otechestvennykh grazhdanskikh samoletakh v sovremennykh usloviyakh. Soobshchenie 2. Polimernye kompozitsionnye materialy v otechestvennykh grazhdanskikh samoletakh v sovremennykh usloviyakh (1995-2015). Pervoprichiny i zakonomernosti vnedreniya [State and problems of using of new construction materials in domestic civil aircraft in modern conditions. Report 1. Polymer composites in domestic civil aircrafts in the modern conditions (1995-2015 years): original reasons and principles of implementation]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2016, no. 6(133), pp. 4 – 14.

11. Korol, V. N. Organizatsiya nauchno-proizvodstvennoj bazy dlja sozdaniya konstrukcij iz KM [Organization of research and production base for the creation of structures made of composite materials]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2003, no. 3 (38), pp. 108 – 114.

12. Andreev, A. V., Golovchenko, Ya. O., Kotsiuba, A. A. Sovremennye konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya agregatov aviakonstruktsii iz polimernykh kompozitsionnykh materialov i ikh realizatsiya na predpriyatii Stelia Aerospace [Modern design and technology solutions aviakonstruktsy aggregates of polymer composite materials and their implementation in the enterprise Stelia Aerospace]. *Nauchnye trudy Natsional'nogo aerokosmicheskogo universiteta im. N. E. Zhukovskogo «KhAI» «Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruksii letatel'nykh apparatov»* [Proc. of the National Aerospace University Kharkov Aviation Institute "Issues of design and manufacture of flying vehicles"], 2015, vol. 4 (84), pp. 95 – 104.

13. Zabashta, V. F. Integral'nye konstruksii iz polimernykh kompozitsionnykh materialov: tekhnologicheskie aspekty [Integral design of polymer composite materials: technological Aspects]. *Tekhnologicheskie sistemy*, 2007, no. 4, pp. 16 – 36.

14. *Technological structures* (ed.: Ananiev S. L., Kuprovich V. P.) [Technological constructions]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969. 424 p.

15. Pryalin, M. A., Kul'chev V. M. *Otsenka tekhnologichnosti konstruktсии* (ed.: Pryalin M. A.) [Evaluation of technological design]. Kyiv, Tehnika Publ., 1985. 120 p.

16. *Rukovodstvo po tekhnologichnosti samoletnykh konstruktсии* (ed.: Belyanin P. N.) [Guidelines for technological self-flight designs]. Moscow, NIAT Publ., 1983. 720 p.

17. *Metodicheskie materialy MM.1.4.123–83. Tekhnologicheskoe proektirovanie samoletnykh konstruktсии* [Methodical materials MM.1.4.123-83. Technological design of aircraft constructions]. Moscow, VIAM Publ., 1984. 116 p.

18. Krivov, G. A. *Tekhnologiya samoletostroitel'nogo proizvodstva* [Technology aircraft manufacturing production]. Kyiv, KVITS Publ., 1997. 459 p.

19. Zabashta, V. F. Tekhnologichnost' konstruktсии iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [Techno-

logical designs from polymeric composite materials]. *Tekhnologicheskie sistemy*, 2007, no. 3(39), pp. 46 – 66.

20. Usachev, M. E., Bulychev, V. V. Metody analiza i pokazateli otsenki tekhnologichnosti variantov konstruktсии letatel'nykh apparatov [Methods of analysis and performance evaluation of technological options of aircraft structures]. *Nauchnye trudy Natsional'nogo instituta aviatsionnykh tekhnologii* [Proc. of the The National Institute of Aviation Technologies]. Moscow, NIAT Publ., 1980, pp. 15 – 19.

21. *Tekhnologiya proizvodstva izdelii i integral'nykh konstruktсии iz kompozitsionnykh materialov v mashinostroenii* (ed.: Bratukhin A. G., Bogolyubov V. S., Sirotkin A. S.). Moscow, Gotika Publ., 2003. 516 p.

22. Beshelev, S. D., Gurvich, F. G. *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok* [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. Moscow, Statistika Publ., 1980. 263 p.

Поступила в редакцию 12.02.2017, рассмотрена на редколлегии 15.03.2017

ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕТАПУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА АГРЕГАТІВ ЦИВІЛЬНИХ ЛІТАКІВ

О. А. Коцюба

На основі аналізу численних джерел встановлено комплекс взаємопов'язаних складових технологічної підготовки виробництва цивільних літаків, серед яких виділено технологічність конструкцій агрегатів, що найбільш повно відображає якість виробу. Проведено декомпозицію комплексу технологічності, що складається з взаємопов'язаних компонент проектної, виробничої та експлуатаційної складових технологічності. Запропоновано новий варіант методики оцінювання повної технологічності авіаційного вузла або агрегату, який оснований на експертних оцінках вкладів взаємовпливу її складових, що представляє відкриту систему, здатну до подальшого розширення або згорання в залежності від умов і масштабів виробництва. Розглянуто гіпотетичний демонстраційний приклад формування ефективності етапу технологічної підготовки виробництва агрегату цивільного літака.

Ключові слова: технологічна підготовка виробництва, агрегати літака, технологічність, методика експертної оцінки вкладів складових

FORMATION OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PREPARATION STAGE OF PRODUCTION OF CIVIL AIRCRAFTS' AGGREGATES

О. А. Kotsiuba

Based on analysis of numerous sources, a set of interrelated components of technological preparation of the civil aircraft production is established, among which manufacturability of aggregates' structure, most fully reflecting quality of product, is highlighted. Decomposition of manufacturability complex, consisting of interconnected components of the design, production and operational manufacturability, is carried out. New variant of the technique of evaluation of total maintainability of aircraft assembly or aggregate, based on the expert evaluations of contributions of mutual influence of its components, presenting an open system, capable to further expansion or folding depending on conditions and scales of production, is offered. Hypothetical demonstration example of the formation of efficiency of technological preparation stage of the civil aircraft aggregate production is considered.

Keywords: technological preparation of production, aircraft aggregates, manufacturability, technique of expert evaluation of components' contributions.

Коцюба Александр Анатольевич – Президент Государственного предприятия «Антонов», Киев, Украина, e-mail: kotsiuba@antonov.com.

Kotsiuba Oleksandr Anatoliyovych – President of the ANTONOV Company, Kiev, Ukraine, e-mail: kotsiuba@antonov.com.