

РЕАЛИЗАЦИЯ КРИТЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АНАЛИЗУ КОНСТРУКЦИЙ АГРЕГАТОВ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В нашей работе [1], посвященной анализу основных видов эффективности, показано, что в современных условиях жестко ограниченных ресурсов в отечественном самолетостроении предпочтительным является использование критерия технической эффективности [2] при планировании объемов внедрения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в воздушных судах транспортной категории (ВС ТК) [3].

Ниже исследованы основные случаи, когда целью функционирования системы проектирования агрегата ВС является снижение его массы за счет применения ПКМ [4 – 10].

Случай 1. Пусть выбран базовый агрегат ВС массой G_6 (из металла), эксплуатируемый при заданных условиях. Реализуются два проекта с разными конструктивно-силовыми схемами (КСС) с применением ПКМ, в которых использованы два одинаковых конструктивно-технологических решения (КТР):

$$(KCC)_1 \in (KTP)_1 \vee (KTP)_2 \rightarrow (KCC)_{1opt}; \quad (1)$$

$$(KCC)_2 \in (KTP)_1 \vee (KTP)_2 \rightarrow (KCC)_{2opt}. \quad (2)$$

Из $(KCC)_{1opt}$ и $(KCC)_{2opt}$ выбирается $(KCC)_{opt}$. При этом при

анализе каждой КСС устанавливается реализуемый объем ПКМ, обеспечивающий несущую способность агрегата, а следовательно, и его массу G .

В рамках каждой КСС масса G будет не обязательно одна и та же при $(KTP)_1$ и $(KTP)_2$, а вероятности $P\{KCC_1(KTP)_1\}$ и $P\{KCC_1(KTP)_2\}$ будут всегда разными, так как КТР предполагает погрешности, связанные с изготовлением агрегата и с точностью реализации самой $(KCC)_1$. В результате может быть определена $P_1\{KCC_1(KTP)\}_{max}$ при G_{1min} . Аналогично можно определить $P_2\{KCC_2(KTP)\}_{max}$, но при G_{2min} .

Если $P_1\{KCC_1(KTP)\}_{max} > P_2\{KCC_2(KTP)\}_{max}$ и $G_{1min} \leq G_{2min}$, то оптимальной признается однозначно KCC_1 , реализую-

щая массу G_{1min} .

Если $P_1\{KCC_1(KTP)\}_{max} < P_2\{KCC_2(KTP)\}_{max}$, но

$G_{1min} \leq G_{2min}$, необходимо принятие управляющего решения, которое потребует дополнительной объективной информации (исследований возможностей снижения погрешностей реализации $(KTP)_1$ и $(KTP)_2$ во времени и затратах).

Случай 2. Для выбранного базового агрегата ВС массой G_6 , эксплуатируемого при заданных внешних воздействиях, реализуется проект с предварительно обоснованно выбранной КСС с применением ПКМ.

Целью является снижение массы агрегата $G_{ПКМ} < G_6$ до $G_{ПКМmin}$, определяемой возможностями реализуемой КСС при KTP_i ($i = 1, 2, \dots, n$). При этом наилучшим КТР будет то, которое обеспечивается меньшей трудоемкостью (производительностью процессов производства) изготовления агрегата из ПКМ.

Конечный результат $G_{ПКМmin}$ является случайной величиной, полной характеристикой которой является функция распределения в виде

$$F(G) = P\left\{G_{ПКМmin} < G_{ПКМ}\right\}, \quad (3)$$

где $G_{ПКМ}$ – текущее значение случайной величины $G_{ПКМmin}$.

В качестве основного показателя технической эффективности проекта принято математическое ожидание массы агрегата из ПКМ $G_{ПКМ}$ $M[G_{ПКМ}]$, зависящей от технологии реализации проекта, т.е. от i -го КТР, которых всегда ограниченное число n .

Тогда для дискретных случайных значений $G_{ПКМ}$ (как результатов реализации проекта) запишем

$$M\left[G_{ПКМmin}\right] = \sum_{i=1}^n G_{ПКМi} P(G_{ПКМi}), \quad (4)$$

где $G_{ПКМi}$ – возможные значения массы агрегата при реализации KTP_i ; $P(G_{ПКМi})$ – вероятность получения величины $G_{ПКМi}$, определяемая с учетом погрешностей трудоемкости реализации KTP_i .

В качестве дополнительного (уточняющего) показателя технической эффективности проекта, как и в случае 1, может быть использована

дисперсия конечного результата

$$D[G_{ПКМ}] = M\left[(G_{ПКМ} - M[G_{ПКМ}])^2\right]. \quad (5)$$

Случай 3. Рассматривается проект агрегата ВС, целью которого является снижение его массы на конкретную величину $G_{ПКМ}$ независимо от того, сколько затрат потребует его реализация.

В этом случае конечный результат проекта должен представлять достоверное событие – массу агрегата $G_{ПКМ}$, а затраты будут случай-

ной величиной C , полной характеристикой которой является функция распределения

$$F(C_i) = P\{C_{КСС} < C_i\}, \quad (6)$$

где C_i – текущее значение расхода ресурсов (затрат) при реализации проекта предварительно обоснованной КСС при различных вариантах $КТР_i$, предопределяющих различные затраты $C_i = C(КТР_i)$.

В качестве основного показателя технической эффективности реализации проекта принимается, как и в предыдущих случаях, математическое ожидание $M[KСС]$ при дискретных значениях $C(КТР_i)$ в виде

$$M[KСС] = \sum_{i=1}^n C(КТР_i) P\{C(КТР_i)\}. \quad (7)$$

Как и в случае 2, в качестве дополнительного показателя (критерия) технической эффективности реализации можно использовать дисперсию необходимых затрат

$$D[C_{КСС}] = M\left[(C_{КСС} - M[C_{КСС}])^2\right], \quad (8)$$

если предварительно проведены расчеты затрат на реализацию всех анализируемых n $КТР_i$, позволяющих с достаточной точностью определить параметры правой части формулы $D[C_{КСС}]$.

В соответствии с изложенным выше общим подходом определения технической эффективности системы применительно к обсуждаемой частной задаче определения эффективности внедрения ПКМ в ВС ТК рассматриваются три показателя:

– вероятность реализации проекта (в первом случае оптимальной КСС; во втором – вероятность реализации наименьшей массы агрегата из ПКМ $G_{ПКМ\min}$ выбранной КСС при различных $КТР_i$, связанных с разными трудоемкостями (или суммарной производительностью изготовления); в третьем – вероятность реализации затрат при различных $КТР_i$

при обеспечении заданной массы $G_{ПКМ}^{зад}$);

– математическое ожидание получения необходимого результата (в первом случае – минимальной массы $G_{ПКМmin}$ при различных КТР двух КСС; во втором – $G_{ПКМmin}$ в рамках предварительно выбранной КСС при различных затратах на реализацию разных $КТР_i$; в третьем – $G_{ПКМ}^{зад}$ при различных (нефиксированных) затратах на реализацию разных $КТР_i$;

– математическое ожидание затрат на реализацию проекта агрегата с фиксированной массой $G_{ПКМ}^{зад}$ при различных $КТР_i$, приводящих к разным затратам.

Эти три показателя позволяют дать практически полную оценку технической эффективности проекта агрегата ВС из ПКМ.

Первый показатель – вероятность P – характеризует целевую надежность реализации проекта, второй – $M[G_{ПКМ}]$ – целевую производительность техпроцессов изготовления агрегата, а третий – целевую экономичность проекта.

Тогда модель обобщенного показателя эффективности W может быть представлена в виде функции трех этих комплексных показателей.

В случае детерминированной модели показатель технической эффективности применения ПКМ в агрегатах ВС ТК W описывается формулой $W = W_{\text{ц}} \cdot W_{\text{э}}$, в которой показатель целевой эффективности реализации проекта $W_{\text{ц}}$ равен отношению достигнутого конечного результата $G_{ПКМ}^{\text{реал}}$ к желаемому (нормативному) $G_{ПКМ}^{\text{проект}}$, а показатель целевой экономичности реализации проекта $W_{\text{э}}$ равен отношению затрат, которыми располагает изготовитель (завод) на реализацию агрегата из ПКМ (имеющимися ресурсами) $C_{\text{расп}}$, к необходимым для изготовления агрегата массой $G_{ПКМ} C_{\text{реал}}$.

При этом

$$W_{\text{ц}} = \frac{G_{ПКМ}^{\text{реал}}}{G_{ПКМ}^{\text{проект}}}; \quad W_{\text{э}} = \frac{C_{\text{распол}}}{C_{\text{реал}}}. \quad (9)$$

В случае реализации стохастической модели показателя технической эффективности проекта внедрения ПКМ в агрегат ВС ТК в виде

$W = \{W_H, W_n, W_3\}$ показатель W_H характеризует вероятность получения необходимого (потребного) конечного результата – достижения относительной массы агрегата из ПКМ $\bar{G}_{ПКМ}$, которая не меньше, чем $\bar{G}_{ПКМ}$ норм

достигнутая (реализованная) $\bar{G}_{ПКМ}$ реал $\left(\bar{G}_{ПКМ} \geq \bar{G}_{ПКМ} \right)$ реал норм, а затраты на достигнутый результат $\bar{C}_{ПКМ}$ реал меньше, чем нормативные (потребные)

$$\bar{C}_{ПКМ} \left(\bar{C}_{ПКМ} < \bar{C}_{ПКМ} \right).$$

Показатель W_H запишется в виде

$$W_H = P \left\{ \bar{G}_{ПКМ} \geq \bar{G}_{ПКМ}, \bar{C}_{ПКМ} < \bar{C}_{ПКМ} \right\}. \quad (10)$$

W_n – математическое ожидание $\bar{G}_{ПКМ}$ при условии, что эта относительная масса агрегата потребует относительных затрат (реализованных) $\bar{C}_{ПКМ}$ реал меньше, чем нормативно необходимые $\bar{C}_{ПКМ}$: норм

$$W_n = M \left\{ \bar{G}_{ПКМ}, \bar{C}_{ПКМ} < \bar{C}_{ПКМ} \right\}. \quad (11)$$

W_3 – математическое ожидание относительных затрат $\bar{C}_{ПКМ}$ реал при условии, что $\bar{G}_{ПКМ} \geq \bar{G}_{ПКМ}$: реал норм

$$W_3 = M \left\{ \bar{C}_{ПКМ}, \bar{G}_{ПКМ} \geq \bar{G}_{ПКМ} \right\}. \quad (12)$$

Здесь в целях обеспечения сопоставимости комплексных показателей эффективности W_H , W_n и W_3 массы $G_{ПКМ}$ реал и $G_{ПКМ}$ норм и затраты

$C_{ПКМ}$ реал, $C_{ПКМ}$ норм отнесены к соответствующим им показателям базового

варианта ВС ТК, выполненного из металла.

При выполнении указанных условий могут быть рекомендованы модели:

– пересечения эффектов:

$$W = W_H W_\Pi W_\Xi; \quad (13)$$

– взвешивания эффектов:

$$W = \alpha_H W_H + \alpha_\Pi W_\Pi + \alpha_\Xi W_\Xi; \quad (14)$$

– комбинации эффектов:

$$W = W_H (\alpha_\Pi W_\Pi + \alpha_\Xi W_\Xi) \quad (15)$$

или

$$W = W_\Pi (\alpha_H W_H + \alpha_\Xi W_\Xi); \quad (16)$$

$$W = W_\Xi (\alpha_\Pi W_\Pi + \alpha_H W_H), \quad (17)$$

где α_H, α_Π и α_Ξ – весовые коэффициенты комплексных показателей, сумма которых в каждой модели должна равняться единице.

Области применения приведенных выше моделей определяют при постановке задачи исследования эффективности.

Предпочтение в реализации той или иной модели отдается на основе принятия управленческих решений, общий подход к анализу которых, а также их классификация приведены в [11].

В плане частных показателей технической эффективности применительно к задачам использования ПКМ в ВС ТК интерпретация задачи надежности необслуживаемых технических систем в отличие от изложенных выше может рассматриваться в рамках механики разрушения композитов, получившей интенсивное развитие в последние 25 – 30 лет.

Выводы

Исследованы основные случаи реализации критерия технической эффективности при проектировании агрегатов гражданских воздушных судов транспортной категории из ПКМ:

– для анализа оптимального из двух проектов с одинаковыми конструктивно-силовыми схемами реализованными разными конструктивно-технологическими решениями агрегата с минимальной массой;

– при предварительно выбранной конструктивно-силовой схеме композитного агрегата с минимальной относительно массы базового (металлического) варианта;

– для агрегата из ПКМ предварительно регламентированной массы при различных вариантах конструктивно-технологических решений, реализуемых разными затратами.

Список использованных источников

1. Коцюба, А.А. Сущность и содержание понятий эффективности в анализе перспективных объемов внедрения полимерных композиционных материалов в конструкции отечественных гражданских самолетов

[Текст] / А.А. Коцюба, А.В. Кондратьев // Технологические системы: науч.-техн. журнал. – Киев.: УкрНИИАТ, № 4 (77). – 2016. – С. 22 – 28.

2. Голубев, И.С. Соизмерение технического уровня и эффективности при проектировании конструкций летательных аппаратов [Текст] / И.С. Голубев. – М.: МАИ, 1985. – 90 с.

3. Фролов, К.В. Проблемы и успехи современного машиностроения [Текст] / К.В. Фролов // Машиностроение. Международный центр научно-технической информации. – М.: МЦНТИ, 1984. – № 2. – С. 13 – 20.

3. Гвоздев, М.А. Прогнозирование технически возможного объема внедрения полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов [Текст] / М.А. Гвоздев, А.В. Кондратьев // Технологические системы: науч.-техн. журнал. – Киев.: УкрНИИАТ, № 1 (74). – 2016. – С. 7 – 13.

4. Baker, A. Composite Materials for Aircraft Structures [Текст] / A. Baker, S. Dutton, D. Kelly. – Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. Reston, 2004. – 599 p.

5. Аверичкин, П.А. Методология применения и оценка эффективности использования композиционных материалов в авиационной технике [Текст] / П.А. Аверичкин. – Ярославль: ЯГСХА, 1999. – 306 с.

6. Коцюба, А.А. Анализ эффективности конструктивно-технологических решений агрегатов воздушных судов 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). – Харьков, 2016. – С. 7 – 14.

7. Андреев, А.В. Современные конструктивно-технологические решения агрегатов авиаконструкций из полимерных композиционных материалов и их реализация на предприятии Stelia Aerospace [Текст] / А.В. Андреев, Я.О. Головченко, А.А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (84). – Харьков, 2015. – С. 95 – 104.

8. Коцюба, А.А. Формирование критерия эффективности проектирования конструкций гражданских самолетов из полимерных композитов на этапе выбора их состава [Текст] / А.А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3 (87). – Харьков, 2016. – С. 19 – 31.

9. Коцюба, А.А. Формирование составляющих комплексного критерия эффективности проектирования агрегатов гражданских самолетов из полимерных композитов основных на этапах их создания [Текст] / А.А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций ле-

тательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (88). – Харьков, 2016. – С. 22 – 36.

10. Коцюба, А.А. Формирование эффективности этапа технологической подготовки производства агрегатов гражданских самолетов [Текст] / А.А. Коцюба // Авиационно-космическая техника и технология. – 2017. – № 2(137). – С. 60 – 70.

11. Король, В.Н. Общий подход к классификации управленческих решений в производственной сфере и некоторые аспекты его организации [Текст] / В.Н. Король // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 18. – Харьков, 2003. – С. 19 – 20.

Поступила в редакцию 01.09.2017.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Бычков,
ГП «Антонов», г. Киев.*