

УДК 658.012.23

О. В. МАЛЕЕВА, Ю. А. БЕЛОКОНЬ*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

МОДЕЛИ И МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА РАБОТ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассматривается комплексная утилизация авиационной техники (АТ). Учитывая особенности утилизации АТ, в статье решаются задачи, связанные с управлением содержанием проекта и оценкой риска. Сформировано системное представление комплексной утилизации АТ, которое объединяет цели, этапы, процессы, задачи и работы. Предложено формализованное описание составляющих проекта с применением аппарата регулярных схем системных моделей. Предложен метод оценивания возможного ущерба от неблагоприятного воздействия процесса утилизации на окружающую среду и оператора. Для оптимального управления основными аспектами в проекте – временем и стоимостью, доходом и риском, предложены критерии оценки проектов утилизации и сформулированы варианты постановок задач оптимизации.

Ключевые слова: утилизация авиационной техники, жизненный цикл изделия, риск неблагоприятного воздействия процесса утилизации, оптимизационные модели.

Введение

Утилизация – важный этап жизненного цикла изделия, сложный и интересный для научных исследований, которому в настоящее время не уделяется достаточно внимания. Начиная с 80х гг. 20 ст. проблема утилизации приобретает все большую актуальность в связи с тем, что накоплено большое число единиц списанной авиационной техники, хранение которой связано с дополнительными затратами на консервацию, арендой площадей. С истечением срока хранения потенциально опасных видов авиационной техники резко возрастает риск возникновения чрезвычайных ситуаций, что усложняет процесс утилизации впоследствии. Кроме того, стоимость получения вторичного сырья часто ниже стоимости получения первичного сырья при том, что по качеству вторичное сырье не уступает первичному.

Таким образом, утилизация авиационной техники в настоящее время является перспективным мало разработанным направлением научной и практической деятельности, в котором не накоплено достаточное количество сведений, статистических данных, стандартов и нормативных документов для анализа показателей эффективности утилизации.

Постановка задачи

При проектировании нового изделия не учитывается его последующая утилизация ни с точки зрения технологии, ни с точки зрения ее стоимости, возможных рисков и вредного влияния на окружающую среду. В области утилизации существует комплекс задач технологического, экономического,

организационного и экологического характера [1, 2].

Возросший интерес к проблеме утилизации привел к тому, что начиная с 2000 г., создается и утверждается ряд нормативных документов в области утилизации. При этом основное внимание привлечено к утилизации отходов приборостроения, автомобилестроения и обращению с вредными и опасными веществами. На основании анализа существующих подходов к представлению жизненного цикла изделия можно сделать вывод, что большинство из них только упоминает стадию утилизации как заключительную, но не отражают ее специфику в необходимом объеме. Существует стандарт ГОСТ 30773-2001, который предлагает схему образования и ликвидации отходов на стадиях жизненного цикла изделия и из которого видно, что объекты утилизации образуются не только на стадии утилизации, но также и на предыдущих стадиях [3].

Под комплексной утилизацией авиационной техники понимается осуществление комплекса мероприятий и технологических процессов, обеспечивающих переработку объектов авиационной техники для получения финансовых средств, товарной продукции и сырья.

Для комплексной утилизации характерно:

- 1) проведение дефектации компонентов авиационной техники с последующим использованием агрегатов с продленным ресурсом;
- 2) увеличение дохода за счет увеличения сортности металлолома;
- 3) максимальное использование всех видов вторичного сырья.

Таким образом, целью утилизации авиационной техники является получение вторичных ресур-

сов или ликвидация потенциально опасного объекта. Основным методологическим подходом является декомпозиция объекта на составляющие.

Отсутствие сформированных структур исполнителей и квалифицированных кадров приводит к необходимости привлечения специализированных организаций, что свидетельствует о сложном организационном взаимодействии участников процесса утилизации.

При утилизации авиационной техники большую важность приобретают риски возникновения чрезвычайных ситуаций и неблагоприятного воздействия процесса утилизации на окружающую среду и оператора.

Учитывая указанные особенности утилизации авиационной техники, в статье решаются задачи, связанные с управлением содержанием проекта и оценкой риска. Целью данного исследования является снижение негативного воздействия рисков при планировании проектов утилизации авиационной техники.

Решение задач

При анализе жизненного цикла авиационной техники следует учитывать аспекты утилизации и принцип ресурсосбережения, а также системные требования обратных связей между этапами в составе жизненного цикла в виде материально-информационных потоков [4].

Ресурсы, высвобожденные в результате утилизации, могут и должны быть использованы в проектах создания новой техники, а информация о планируемых затратах на утилизацию должна учитываться при разработке и проектировании.

Основными составляющими представления жизненного цикла являются проекты, ресурсы и условия переходов между проектами.

Схема работ комплексной утилизации объекта авиационной техники включает два направления проведения работ:

- проведение капремонта или продление ресурса объекта утилизации и компонентов;
- и технологические процессы переработки всех видов других компонентов.

Отсутствие квалифицированных кадров и уже сформированных структур исполнителей приводит к необходимости привлечения специализированных организаций. Поэтому для комплексной утилизации характерно взаимодействие большого числа участников, иерархическая структура и распределенность организационной структуры проекта.

На основе проведенного системного анализа с учетом особенностей проекта утилизации и в соответствии с требованиями процессного подхода сформировано системное представление проекта

комплексной утилизации авиационной техники, которое объединяет цели, этапы, процессы, задачи и работы (рис. 1). Указанные элементы можно представить в алгебраическом, матричном и графическом видах. При этом проводится декомпозиция целей, этапов и процессов проекта утилизации авиационной техники [5].

Для формализованного представления декомпозиции целей и процессов и отображения их последовательности применим аппарат регулярных схем системных моделей (РССМ).

Это позволяет:

- декомпонировать содержание проекта, начиная от этапов и заканчивая отдельными операциями;
- стратифицировать по целям, процессам с учетом исполнителей;
- описать формируемый комплекс работ,
- ввести условия, которые отображают возможные изменения графика работ.

Проведенная декомпозиция целей утилизации позволила разработать структурную модель целей комплексной утилизации АТ:

$$\begin{aligned} Pur_{pr} &= [pur_{pr}^1 \wedge pur_{pr}^2 \wedge pur_{pr}^3 \wedge pur_{pr}^4] = \\ &= [pur_{pr}^{11} \wedge pur_{pr}^{12}] \wedge [pur_{pr}^{21} \wedge pur_{pr}^{22} \wedge pur_{pr}^{23}] \wedge \\ &\wedge [pur_{pr}^{31} \wedge pur_{pr}^{32} \wedge pur_{pr}^{33} \wedge pur_{pr}^{34}] \wedge [pur_{pr}^{41} \wedge pur_{pr}^{42}], \end{aligned}$$

где pur_{pr}^j , pur_{pr}^{jk} – операторы целей проекта первого и второго уровня декомпозиции соответственно.

На основе формализованного представления этих составляющих с учетом их взаимосвязей разработана системная алгоритмическая модель процессов и комплекса работ:

$$\begin{aligned} R_{КУАТ} := & pr_{И} \cdot pr_{К} \cdot pr_{ex1} \cdot pr_{ПЛ} \cdot pr_{ex2}^{1-3} \cdot pr_{ex3} \cdot pr_{ex4} \cdot \\ & \cdot pr_{ex2}^4 \cdot pr_3 = pr_{И} \cdot pr_{К} \cdot [work_{ex1}^{11} \cdot e \wedge work_{ex1}^{12} \cdot e \wedge \\ & \wedge work_{ex1}^{21} \cdot e \wedge work_{ex1}^{22} \cdot e \wedge work_{ex1}^{31} \cdot work_{ex1}^{32} \wedge \\ & \wedge work_{ex1}^{33} \cdot e] \cdot pr_{ПЛ} \cdot [pr_{ex2}^1 \wedge pr_{ex2}^2 \wedge pr_{ex2}^3] \cdot work_{ex3}^{11} \cdot \\ & \cdot [work_{ex3}^{12} \cdot x_1 \{ \{e\}_3 \}_{x_1} \wedge x_1 \{ [work_{ex3}^{131} \cdot work_{ex3}^{132} \cdot \\ & \cdot work_{ex3}^{133} \wedge work_{ex3}^{14} \cdot \{e\}_2 \} \cdot work_{ex3}^{15} \}_{x_1}] \cdot work_{ex3}^{21} \cdot \\ & \cdot work_{ex3}^{22} \cdot [pr_{ex3}^3 \wedge pr_{ex3}^4] \cdot work_{ex3}^{51} \cdot [work_{ex3}^{52} \wedge \\ & \wedge work_{ex3}^{53}] \cdot work_{ex3}^{54} \cdot x_2 (work_{ex3}^{61} \cdot [work_{ex2}^{41} \wedge \\ & \wedge work_{ex2}^{42}] \vee work_{ex3}^{62} \cdot x_4 (work_{ex3}^{63} \vee \\ & \vee x_3 \{ work_{ex3}^{64} \cdot work_{ex3}^{65} \}_{x_3} \cdot work_{ex3}^{66} \cdot work_{ex3}^{67} \cdot \\ & \cdot x_5 \{ pr_{ex4}^1 \cdot pr_{ex4}^2 \}_{x_5} \cdot pr_{ex4}^3 \cdot work_{ex2}^{43})^{x_4})^{x_2} \cdot pr_3, \end{aligned}$$

где $pr_{И}$, $pr_{К}$, $pr_{ПЛ}$, pr_3 – процессы инициации, формирования концепции, планирования и завершения проекта соответственно; pr_{exi}^j , $work_{exi}^{jkl}$ – опе-

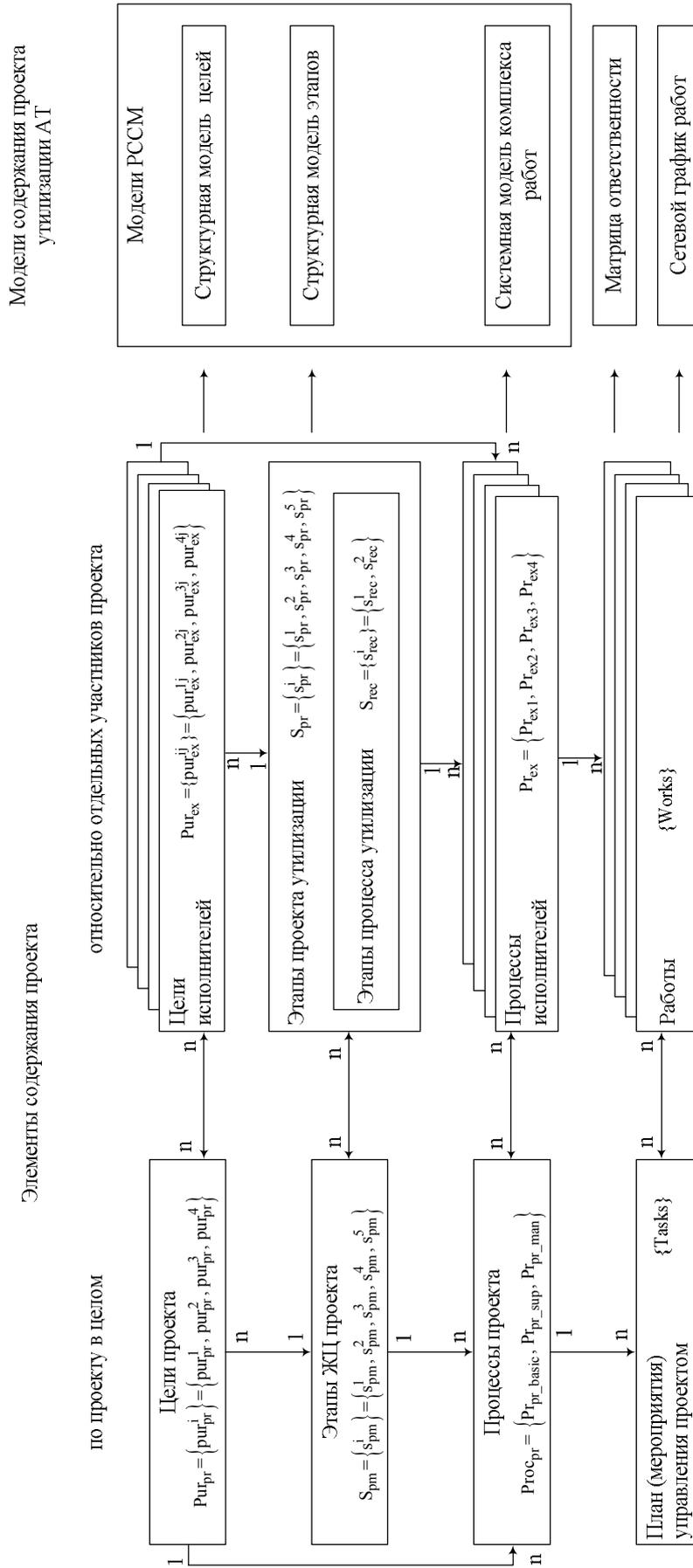


Рис. 1. Системное представление проекта утилизации авиационной техники

раторы процессов и работ участника проекта i -го уровня иерархии организационной структуры и j -го, k -го элементов первого и второго уровней декомпозиции проекта.

Результатом являются системные модели целей и системные модели процессов.

Одной из особенностей проекта утилизации является необходимость обеспечения безопасности процессов. Изменение технических свойств объекта, недостаточная изученность физико-химических процессов утилизации, отсутствие научного подхода к выбору технологий приводит к тому, что для проекта утилизации, в отличие от проекта создания новой техники, большую важность приобретают риски возникновения чрезвычайных ситуаций и неблагоприятного воздействия процесса утилизации на окружающую среду и оператора (НВПУ).

Практика утилизации авиационной техники показала, что риск неблагоприятного воздействия процесса утилизации может привести к возникновению серьезных последствий и оказывает влияние на результирующие риски проекта [6].

Исходя из особенностей объекта и технологии утилизации предложена методика оценки комплексного показателя опасности процесса утилизации и шкала для его оценки. Это позволяет на этапе предварительного анализа провести качественную оценку риска неблагоприятного воздействия процесса утилизации.

В случае достаточно высокого риска необходимо произвести количественную оценку его стоимости (возможного ущерба) с учетом факторов возникновения риска и возможных последствий. Сформировано системное представление риска неблагоприятного воздействия процесса утилизации. Для этапов жизненного цикла проекта выделены характерные факторы рисков, его проявления, проанализированы возможные негативные последствия. Выявлены причинно-следственные связи между ними. Экспертным путем определяются коэффициенты, характеризующие возможность возникновения факторов риска, коэффициенты влияния этих факторов на проявления риска и коэффициенты влияния проявлений риска на финансовые и временные показатели проекта. Их значения находятся в пределах от 0 до 1.

Предложен метод оценки возможного ущерба от риска неблагоприятного воздействия процесса утилизации на основе причинно-следственного анализа. Рассчитывается величина суммарного возможного ущерба, на основе которой принимается решение о необходимости введения дополнительных работ по снижению риска и обеспечению безопасности. Если необходимо перепланировать комплекс работ, то проводится повторная оценка ущерба от

риска неблагоприятного воздействия процесса утилизации с учетом изменений значений коэффициентов влияния. Таким образом, метод оценивания величины возможного ущерба при утилизации авиационной техники включает ряд этапов (рис. 2).



Рис. 2. Схема метода оценки возможного ущерба при утилизации АТ

На основе разработанного метода оценивания возможного ущерба может быть принято решение о необходимости снижения ущерба от риска неблагоприятного воздействия процесса утилизации. Для

этого следует ввести дополнительные работы по обеспечению безопасности процесса. Введение дополнительных работ приводит к снижению влияния факторов риска, и, соответственно, к снижению возможного ущерба от риска неблагоприятного воздействия процесса утилизации.

Для оптимальной реализации проекта утилизации необходима разработка моделей оптимизации, учитывающих основные показатели проекта. Сформулирован следующий набор показателей: W – затраты на проект утилизации; D – доход от утилизации АТ; T – затраты времени на утилизацию; Q – критерий, характеризующий воздействие технологического процесса и объекта утилизации на окружающую среду и оператора; K – критерий качества процесса утилизации.

Элементарные составляющие основных критериев представим в виде: возможный доход от i -й работы на s -м этапе проекта $d_{si} = \sum_{j=1}^J d_{sij}$, где

d_{sij} – j -я составляющая дохода, $j=1..J$; возможные затраты на i -ю работу на s -м этапе проекта $w_{si} = \sum_{k=1}^K w_{sik}$, где w_{sik} – k -я составляющая затрат средств, $k=1..K$; возможные затраты времени на i -ю работу s -го этапа проекта $t_{si} = \sum_{\ell=1}^L t_{sil}$, где t_{sil} – ℓ -я составляющая затрат времени, $\ell=1..L$; возможное воздействие на окружающую среду и оператора при

i -й работе на s -м этапе проекта: $q_{si} = \sum_{m=1}^M q_{sim}$, где q_{sim} – m -я составляющая возможного ущерба от риска НВПУ, $m=1..M$; показатель качества технологических процессов утилизации для i -й работы на s -м этапе проекта $k_{si} = \sum_{e=1}^E k_{sie}$, где k_{sie} – e -я составляющая показателя качества процессов утилизации, J, K, L, M, E – количество показателей дохода, затрат средств, затрат времени, потерь от НВПУ, качества соответственно.

Целевые функции для возможных задач оптимизации проектов утилизации АТ представим в следующем виде: минимизация затрат на проект утилизации $\min W = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I w_{si} \cdot x_{si}$; минимизация затрат времени на проект утилизации $\min T = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I t_{si} \cdot x_{si}$; минимизация возможного ущерба от неблагоприятного воздействия процесса

утилизации $\min Q = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I q_{si} \cdot x_{si}$; максимизация

качества процесса утилизации $\max K = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I k_{si} \cdot x_{si}$.

Булева переменная x_{si} принимает значение 1, если i -тая работа выполняется на s -м этапе проекта утилизации, и равна нулю, если не выполняется. Переменные $s = 1..S$, S – количество этапов проекта, $i = 1..I$, I – количество работ на каждом этапе.

Ограничения задач оптимизации являются $W \leq W^*$, $T \leq T^*$, $Q \leq Q^*$, $K \geq K^*$, $D \geq D^*$,

где W^* – максимально допустимые затраты;

T^* – максимально допустимое время выполнения проекта;

Q^* – максимально допустимые потери от неблагоприятного воздействия процесса утилизации;

K^* – минимально допустимый уровень обеспечения качества,

D^* – запланированный уровень дохода.

Варианты задач оптимизации для проектов утилизации АТ имеют следующий вид:

- минимизация затрат на утилизацию: $\min W$, ограничения $Q \leq Q^*$, $T \leq T^*$, $K \geq K^*$, $D \geq D^*$;

- минимизация ущерба от неблагоприятного воздействия процессов утилизации на окружающую среду и оператора: $\min Q$, ограничения $W \leq W^*$, $T \leq T^*$, $K \geq K^*$, $D \geq D^*$;

- максимизация качества процесса утилизации: $\max K$, ограничения $W \leq W^*$, $T \leq T^*$, $Q \leq Q^*$, $D \geq D^*$.

Выбор целевой функции задачи оптимизации зависит от специфики целей проекта утилизации. Многокритериальная целевая функция может быть представлена с использованием аддитивной свертки. Например, задачу минимизации финансовых затрат, а также затрат в случае возникновения риска НВПУ с применением многокритериальной целевой функции можно представить в виде

$$\min(\alpha_1 \bar{Q} + \alpha_2 \bar{W}) = \min\left(\alpha_1 \left(\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I q_{si} x_{si}\right) + \alpha_2 \left(\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I w_{si} x_{si}\right)\right),$$

где α_1 – «вес» критерия негативного воздействия, характеризующего ущерб от риска НВПУ; α_2 – «вес» критерия, связанного с финансовыми потерями; \bar{Q} – нормированное значение критерия Q , \bar{W} – нормированное значение критерия W . Значения весовых коэффициентов α_i соответствуют условию

$\sum_{i=1}^2 \alpha_i = 1$ и задаются исходя из приоритетов целей.

Заключение

В статье решена задача разработки моделей и метода для формирования комплекса работ при утилизации авиационной техники с учетом возможного неблагоприятного воздействия на окружающую среду и оператора. Научными результатами исследований являются: системная модель представления комплекса работ утилизации, метод оценивания возможного ущерба от неблагоприятного воздействия процесса утилизации на окружающую среду и оператора; модели оптимизации основных показателей проектов утилизации авиационной техники.

Литература

1. Кривов, Г. А. *Мировая авиация на рубеже XX-XXI столетий. Промышленность, рынки* [Текст] / Г. А. Кривов, В. А. Матвиенко, Л. Ф. Афанасьева. – К. : Индустриальные технологии, 2003. – 296 с.
2. Кукін, А. Ф. *Механізм та стратегія забезпечення ефективності утилізації авіаційної техніки*

[Текст] : дис. ... канд. екон. наук : 08.07.04 ; захищена 25.06.05 / Кукін Андрій Федорович. – К., 2005. – 180 с.

3. ГОСТ 30773-2001. *Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла. Основные положения* [Текст]. – Введ. 01.07.2002. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 11 с.

4. Білокін, Ю. А. *Системне подання життєвого циклу складної техніки з урахуванням стадій утилізації* [Текст] / Ю. А. Білокін // *Системне озброєння і військова техніка*. – 2010. – № 2 (22). – С. 99-103.

5. Белоконов, Ю. А. *Системная модель организационного взаимодействия в иерархической структуре исполнителей проекта комплексной утилизации авиационной техники* [Текст] / Ю. А. Белоконов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 1/68. – С. 92-96.

6. Федорович, О. Е. *Анализ риска неблагоприятного воздействия на окружающую среду и оператора в проекте утилизации сложной техники* [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. А. Белоконов // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2008. – № 4 (31). – С. 117-122.

Поступила в редакцию: 26.02.2014, рассмотрена на редколлегии 20.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой стратегического управления И. В. Кононенко, Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков.

МОДЕЛІ І МЕТОД ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСУ РОБІТ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

О. В. Малеева, Ю. А. Білокін

Розглядається комплексна утилізація авіаційної техніки (АТ). Враховуючи особливості утилізації АТ, в статті вирішуються завдання, пов'язані з управлінням змісту проекту і оцінкою ризиків. Сформовано системне представлення комплексної утилізації АТ, яке поєднує цілі, етапи, процеси, завдання і роботи. Запропоновано формалізований опис складових проекту із застосуванням апарату регулярних схем системних моделей. Запропоновано метод оцінювання можливого збитку від несприятливої дії процесу утилізації на довілля і оператора. Для оптимального управління основними аспектами в проекті – часом і вартістю, доходом і ризиком, запропоновано критерії оцінки проектів утилізації і сформульовано варіанти постановок завдань оптимізації.

Ключові слова: утилізація авіаційної техніки, життєвий цикл виробу, ризик несприятливого впливу процесу утилізації, оптимізаційні моделі.

MODELS AND METHODS OF FORMATION OF WORK COMPLEX DURING THE AIRCRAFT RECYCLING

O. V. Malyyeva, J. A. Bilokin

The aircraft (AC) complex recycling is considered. Taking into account the characteristics of the AC recycling problems of the project content management and risk assessment are solved in the article. Systematic presentation of the AC complex recycling is formed. It integrates goals, stages, processes, tasks and works. Formalized description of the project components using the apparatus of regular patterns of system models is proposed. The method for estimating of potential damage from the unfavorable influence of recycling process on the environment and the operator is proposed. For optimal management of the project main aspects - time and cost, income and risk, assessment criteria of recycling projects are proposed and variants of optimization problems are formulated.

Key words: aircraft recycling, life cycle of good, risk of unfavorable influence of recycling process, optimization model.

Малеева Ольга Владимировна – д-р техн. наук, проф., проф. каф. 302, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Белоконов Юлия Анатольевна – канд. техн. наук, н.с. каф. 302, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.