

УДК 658.512.6:02:006.354

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА К УТИЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*В.Н. Кобрин, д-р техн. наук, В.В. Сухов, д-р техн. наук, В.В. Вамболь*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Рассмотрены вопросы технологической подготовки производства к утилизации летательных аппаратов с учетом критериев безопасности жизнедеятельности. При исследовании множества вариантов минимизации параметров, влияющих на безопасность жизнедеятельности и на длительность процесса разборки, предложен комплексный критерий, который рационально учитывает как технологические параметры процесса утилизации, так и параметры безопасности жизнедеятельности. Проведены исследования энергосиловых параметров нагружения утилизируемого изделия в процессе его разборки, позволяющие сделать вывод о возможности проведения безопасной разборки на компоненты.

\* \* \*

Розглянуто питання технологічної підготовки виробництва до утилізації літальних апаратів з урахуванням критеріїв безпеки життєдіяльності. При дослідженні багатьох варіантів мінімізації параметрів, що впливають на безпеку життєдіяльності та на тривалість процесу розборки, запропоновано комплексний критерій, який раціонально враховує як технологічні параметри процесу утилізації, так і параметри безпеки життєдіяльності. Проведено дослідження енергосилових параметрів навантаження виробу, що утилізується, в процесі його розбирання, що дозволяють зробити висновок про можливість проведення безпечного розбирання на частини.

\* \* \*

The mathematical model of a technological system of dismantling grounded on graph theory, allows to rationalize process of recovering. The complex measure is offered which rationally takes into account technological parameters of process of recovering and parameters of safety of habitability.

### Введение

Утилизация летательных аппаратов (ЛА) является сложной задачей, требующей высокого качества организации технического процесса. Работы, связанные с утилизацией некоторых ЛА, относятся к работам высокой сложности и повышенной опасности и требуют строгого выполнения требований существующих наставлений и инструкций по технике безопасности. При выборе способа утилизации отдельных типов ЛА необходимо учитывать возможность вторичного использования продуктов утилизации и их переработки, т.е. для каждого типа ЛА следует выбирать такой способ, при котором гарантируется полная безопасность выполнения работ и максимальное получение полезных материалов. Существенный вклад в разработку технологических процессов утилизации различных ЛА сделали Вдовенко О.В., Макаренко В.И., Житний Г.Д., Васильев В.П., Мосесян А.В. и др.

### 1. Формулирование проблемы

Одним из перспективных направлений ликвидации ЛА, исчерпавших ресурс, является полная или частичная разборка данных изделий на составные части с последующим их использованием или переработкой. Вопросам механической разборки ЛА, собираемых в системе допусков и посадок, на составные части и определению несущей способности элементов конструкций посвящены работы Сухова В.В., Житнего Г.Д., Павлюка В.В., Леонец В.А. и др. Разборка на элементы может проводиться лишь в специально оборудованных помещениях при наличии рабочих мест, имеющих требуемое техническое оснащение. Возможность утилизации таким способом для каждого изделия определяется его конструктивными особенностями, характеристиками его снаряжения, составом продуктов утилизации, степенью пригодности, а также экономическими показателями. Однако разборкой на элементы утилизируются только те ЛА, конструктивное устрой-

ство которых позволяет проводить разборку и рас- снаряжение их с гарантией безопасности выполнения этих работ. Рассмотрим концепцию технологической подготовки производства к утилизации ЛА, собираемых в системе допусков и посадок. Для таких изделий утилизация разборкой на элементы возможна.

Одним из представителей таких ЛА являются, например, изделия типа С-5. В связи с тем, что этот тип ЛА различных модификаций морально устарел, не подлежит модернизации и снят с производства, их необходимо утилизировать в первую очередь, несмотря на убыточность самого процесса утилизации. Кроме того, проведя исследования и разработав возможные процессы разборки и утилизации для данного типа ЛА, можно применять полученные результаты для утилизации других летательных аппаратов, аналогичных по конструктивно-технологическим признакам.

Для проведения расснаряжения конкретного типа ЛА в целях уменьшения количества данной продукции необходимо выполнить технологическую подготовку производства (ТПП), основным назначением которой является:

- освоение утилизации рассматриваемых ЛА в минимальные сроки при минимальных затратах на технологический процесс на всех стадиях утилизации изделия, включая обычную отработку технологических процессов;
- организация процесса, допускающего возможность быстрой переналадки для утилизации других типов ЛА.

Технологическая подготовка производства должна быть организована таким образом, чтобы, в конечном счете, было представлено информационное, математическое и техническое обеспечение, необходимое для выполнения функций ТПП, при этом она должна выполняться в соответствии с требованиями безопасности труда и обеспечивать полную технологическую готовность предприятия к

процессу утилизации изделий, отработавших ресурс.

## 2. Решение проблемы

Технологическую подготовку производства к утилизации изделий, непригодных для дальнейшего использования, будем осуществлять путем решения задач, группируемых по следующим основным функциям, являющимся критическими при утилизации ЛА:

- конструктивно-технологический анализ ЛА в целях их безопасной утилизации;
- разработка технологического процесса, имеющего оптимальную последовательность операций и рациональное сочетание работ для достижения минимальной продолжительности цикла утилизации;
- разработка нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, позволяющих после соответствующей переналадки проводить утилизацию других ЛА с аналогичной конструкцией.

При проведении конструктивно-технологического анализа утилизируемых изделий основное внимание необходимо обратить на степень сложности конструкции изделия, применяемые материалы, условия изготовления и степень повреждения, а также перспективность повторного использования полученных элементов и объем извлекаемых материалов. Конструктивно-технологический анализ особенностей изделия следует проводить относительно всего изделия, учитывая особенности составных частей, а также технологичность и безопасность технологического процесса разборки.

В связи с отсутствием типового или группового технологического процесса утилизации необходимо разработать технологический процесс на основе использования ранее принятых прогрессивных решений, содержащихся в имеющихся в настоящее время единичных технологических процессах ути-

лизации аналогичных изделий (например, ЛА другого назначения).

Основными этапами разработки технологического процесса утилизации конкретного типа ЛА являются:

1. Анализ исходных данных для разработки технологического процесса, т.е. предварительное ознакомление с условиями изготовления изделия.
2. Определение последовательности технологических операций и возможности ее рационализации с точки зрения уменьшения общего времени проведения технологического процесса, а также определение состава и средств технологического оснащения.
3. Нормирование технологического процесса, т.е. установление необходимых данных для расчетов норм времени и технологических параметров нагружения изделия при его закреплении.
4. Определение требований техники безопасности, обеспечение экологической устойчивости окружающей среды.
5. Расчет экономической эффективности технологического процесса.
6. Оформление технологического процесса.

Разрабатываемый в соответствии с перечисленными выше этапами технологический процесс должен быть рациональным в конкретных производственных условиях и характеризоваться единством содержания и последовательности большинства технологических операций для группы утилизируемых изделий, обладающих общими конструктивными признаками.

Необходимость исследования конструктивно-технологических особенностей летательных аппаратов, подлежащих утилизации, объясняется тем, что конструкция существенно может влиять на порядок разборки изделия, а также накладывать ограничения на применяемое для разборки оборудование и инструмент.

Определение рациональной последовательности разборки рассматриваемых изделий, что является следующим этапом технологической подготовки производства к утилизации ЛА, можно проводить с помощью теории графов. Именно этот метод является основным и в то же время простым и доступным инструментом для решения задач, связанных с дискретными объектами, которые возникают при проектировании схем управления, исследований в теории расписаний и дискретной оптимизации. Так как летательные аппараты по своей конструкции представляют собой множество взаимосвязанных элементов, т.е. дискретных объектов, то существует основание предполагать, что данный метод позволит рационализировать последовательность этапов разборки данных изделий и минимизировать время выполнения технологического процесса.

Для решения поставленной задачи разбираемую конструкцию изделия  $S$  требуется представить в виде множества отдельных деталей  $a_i \in A$  и ребер  $(a_i, a_{i+1}) \in C$ , отражающих связи между деталями [1, 2]. В целях определения существующих ограничений по разборке утилизируемого изделия необходима информация о реальных конструктивных связях деталей между собой, которую в полной мере отражает граф сопряжения деталей  $G(A, C)$  (рис. 1).

Полная разборка изделия  $S$  означает удаление всех дуг из графа  $G$ . Таким образом, задачу определения последовательности операций разборки  $P(a_0, a_n) = (a_0, a_1) \dots (a_{n-1}, a_n)$  изделия  $S$  можно представить как задачу определения последовательности удаления дуг графа сопряжения, причем данная последовательность  $P(a_0, a_n)$  должна обеспечивать рациональную величину общей длительности разборки ЛА, при которой выражение

$$t(P) = \sum_{i=0}^{n-1} t(a_i, a_{i+1}), \quad (1)$$

минимально. В зависимости (1) –  $t(a_i, a_{i+1})$  – время рассоединения двух деталей  $a_i$  и  $a_{i+1}$ .

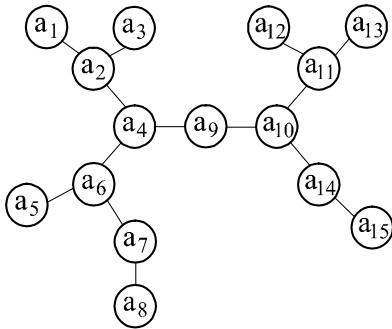


Рис. 1. Граф сопряжения деталей утилизируемого изделия типа С-5:

$a_i$  – элементы утилизируемого изделия

Другими словами, для определения последовательности операций разборки требуется построить связную часть  $P$ , содержащую все вершины графа  $G$ .

Однако на последовательность разборки изделия влияют некоторые конструктивные ограничения (например, нельзя отсоединить деталь  $a_{i+2}$ , если еще не отсоединена  $a_{i+1}$  от базовой детали  $a_i$ ), организационные ограничения (например, наличие свободных рабочих зон, число исполнителей) и ограничения, связанные с работой со снаряжением ЛА (например, технологическая норма загрузки).

Например, для различных типов снаряжения существуют свои технологические нормы загрузки, т.е. разрешается проведение работ только с определенным количеством изделий, содержащих то или иное снаряжение. Пусть имеется  $J$  – множество норм технологической загрузки снаряжения. Тогда  $v(S)$  – количество изделий, допускаемых для одновременной разборки, будет при условии, что  $m(B) \in v(S)$  не превышает значения  $J(B)$ , т.е.

$$m(B) \leq J(B), \quad (2)$$

где  $m(B)$  – масса данного снаряжения.

Таким образом, процесс разборки данных ЛА должен быть организован так, чтобы выполнялись все условия ограничений, накладываемых конструкцией, организацией и т.д., и при этом технологический процесс должен осуществляться за минимальное время.

Из конструктивно-технологического анализа рассматриваемых ЛА следует, что основные корпусные детали изделий соединяются между собой с

помощью резьбовых соединений. Для рассоединения целого изделия на составные части требуется создать крутящий момент, преодолевающий сопротивление трения в резьбе. С учетом того, что оболочка рассматриваемых ЛА является тонкостенной и легкодеформируемой, возникает необходимость нахождения усилий зажатия корпуса, которые не деформировали бы его и не привели бы к взрыву вследствие образования эффективного очага [3, 4].

В результате проведения исследований было получено выражение для определения момента свинчивания резьбы  $M_{св}$

$$M_{св} = \frac{1}{2} \cdot \left[ F_{зат} \cdot \left( d_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' - \psi) + f' \cdot \frac{D_n + d}{2} \right) + A_{кл} d_2 \tau_B \right], \quad (3)$$

где  $F_{зат}$  – величина предварительной затяжки резьбы;  $D_n$  – наружный диаметр корпуса;  $d$  – наружный диаметр резьбы;  $d_2$  – средний диаметр резьбы;  $f'$  – приведенный коэффициент трения;  $\psi$  – угол подъема резьбы;  $\varphi'$  – приведенный угол трения;  $\tau_B$  – предел прочности на сдвиг используемого герметика;  $A_{кл}$  – площадь герметика в резьбе.

При этом необходимое давление на поверхность обечайки  $P_0$  определится следующей зависимостью:

$$P_0 = 0,6 \frac{F_{зат} \left( d_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' - \psi) + f' \cdot \frac{D_n + d}{2} \right) + A_{кл} d_2 \tau_B}{f D_n^2 L}, \quad (4)$$

где  $L$  – длина нагруженного участка корпуса ракеты;  $f$  – коэффициент трения между материалом зажимающего элемента и материалом корпуса утилизируемого изделия.

Значения требуемого давления на поверхность обечайки, полученные из выражения (4), не должны превышать некоторых критических величин

$$P_{кр} = \frac{4 \alpha h^2 \sigma_T}{3 L [1 + e^{-\alpha L} (\cos \alpha L - \sin \alpha L)]}, \quad (5)$$

вызывающих деформацию оболочки, при которой происходит воздействие на снаряжение.

В выражении (5)  $\sigma_T$  – предел текучести материала оболочки;  $\alpha$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$\alpha = 4 \sqrt{\frac{3(1-\mu^2)}{R^2 h^2}},$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $h$  – толщина зажимаемой оболочки;  $R$  – радиус оболочки.

Экспериментальное изучение перечисленных выше величин было проведено на испытательном стенде (рис. 2), который выполняет две функции:

- 1) исследование корпуса ЛА на устойчивость путем нагружения испытываемого образца усилием, которое можно регулировать;
- 2) определение требуемого давления, которое обеспечивает неподвижное закрепление рассматриваемого ЛА при раскручивании резьбового соединения, путем приложения к образцу крутящего момента, также с возможностью изменения его величины.

Исследования энергосиловых параметров нагружения данного изделия в процессе его разборки проводили исходя из предпосылки, что хранение ЛА, отработавших свой ресурс, осуществлялось в надлежащих условиях и в пределах допустимых сроков хранения для данных изделий. Однако, говоря о нагружении корпуса ЛА и о развинчивании резьбового соединения, следует помнить, что в процессе длительного хранения материалы могут изменять свои свойства. Герметик, препятствующий свинчиванию резьбы, в отдельных изделиях может заклинить резьбу, а так как давление на корпус ЛА увеличивать нельзя, то возможно его проскальзывание в кольцах стенда.

В этом случае совершается работа силы трения, которая идет на нагрев корпуса утилизируемого изделия и силового кольца, относительно которого это изделие прокручивается. Такая ситуация является очень опасной, поскольку при некотором количестве оборотов изделия внутри силового кольца температура корпуса ЛА (как известно, корпус является

тонкостенной цилиндрической оболочкой) может достигнуть критической температуры, при которой снаряжение, находящееся внутри корпуса, воспламенится.

Следовательно, описанную ситуацию необходимо учесть и проанализировать, так как полностью исключить возможность ее появления невозможно. При разработке технологического процесса разборки рассматриваемых изделий необходимо учитывать кроме технологических параметров процесса, таких, как время и усилия его зажатия, другие параметры, как, например, готовность самого рабочего к выполнению операций, количество переходов в техпроцессе, работа с различным видом снаряжения и др. Поэтому желательно разработать такой критерий, который бы рационально учитывал как технологические параметры процесса разборки, так и параметры безопасности жизнедеятельности (учет «человеческого фактора», экологической безопасности и др.) [5]. Рассмотрев критерии безопасного нагружения и оценки деятельности рабочего-исполнителя, можно сказать, что вероятность безопасной работы определится как

$$P_{\text{без}} = P_{j(\text{min})}, \quad (6)$$

где  $P_{j(\text{min})}$  – минимальная вероятность реализации какой-либо опасности из всех возможных.

Следовательно, рациональным будет тот процесс, для которого

$$P_{\text{без}} \rightarrow \max, \quad (7)$$

а задача рационализации последовательности разборки может быть теперь сформулирована следующим образом: процесс разборки считается рациональным, если среди допустимых процессов (для которых  $P_{\text{без}} \rightarrow \max$ ) данный технологический процесс построен таким образом, что имеет наиболее ранний срок окончания последней операции, т.е.

$$t_{\text{тп}} \rightarrow t_{\text{тп}(\text{min})}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{тп}}$  – длительность технологического процесса разборки.

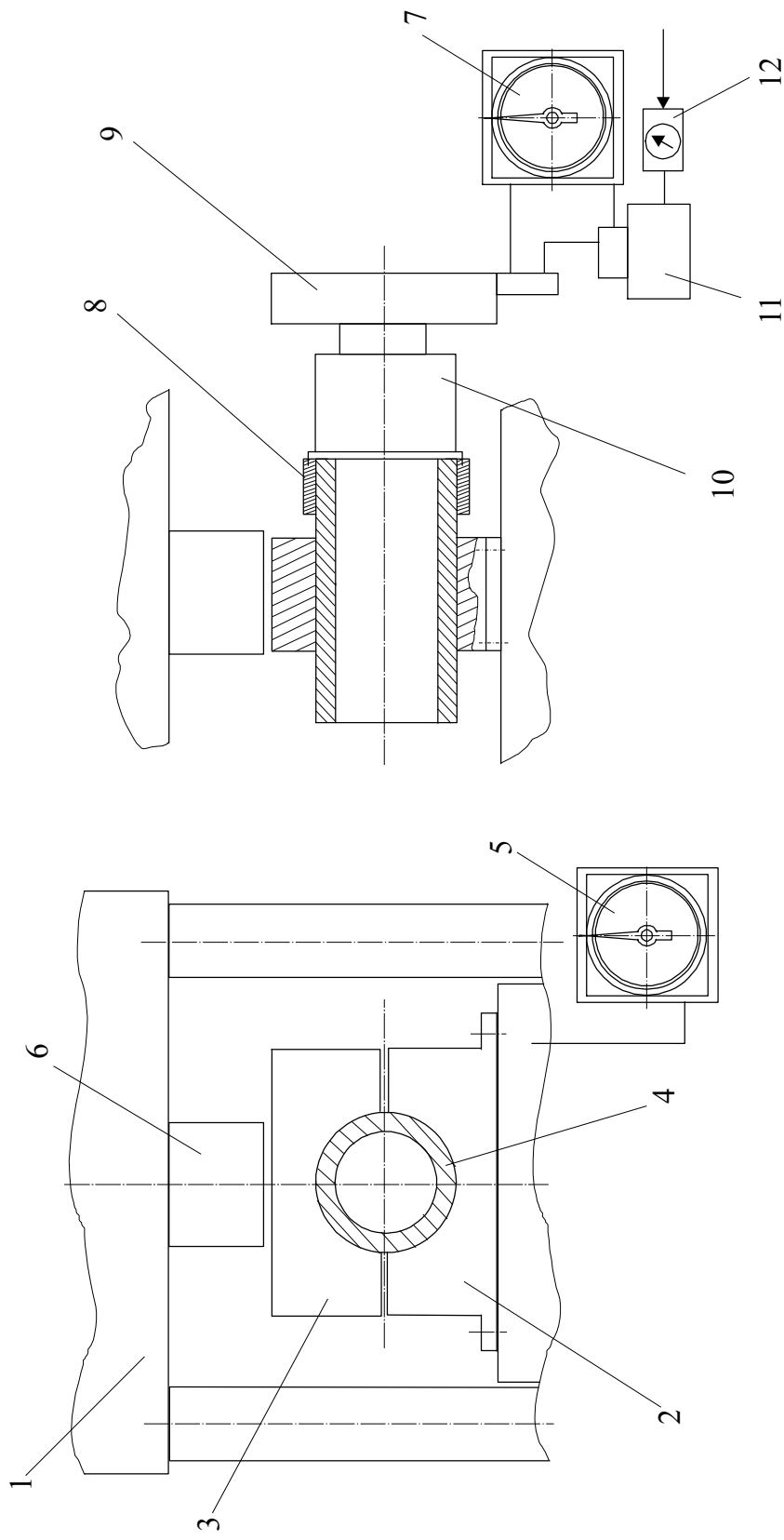


Рис. 2. Схема испытательного стенда:

1 – разрывная машина P-50; 2 – нижнее полукольцо; 3 – верхнее полукольцо; 4 – испытательный образец; 5 – торсионный силовой измеритель; 6 – рабочий цилиндр; 7 – гидравлический манометр; 8 – хомут; 9 – гидравлический привод; 10 – торсион; 11 – пневмогидравлический насос; 12 – блок подготовки воздуха

Учитывая изложенное выше, комплексный критерий можно записать следующем виде:

$$k(P) = k[(t_{\text{тп}} \rightarrow t_{\text{тп}}(\text{min})); (p_{\text{без}} = p_j(\text{min}))], \quad (9)$$

где  $P$  – последовательность разборки.

Использование данного критерия позволяет определить величину безопасного нагружения утилизируемых изделий при их разборке (свинчивании резьбы), причем технологический процесс разборки должен быть минимизирован по времени с обеспечением безопасности.

### 3. Заключение

В заключение проведенного анализа по технологической подготовке производства к утилизации ЛА, не пригодных для дальнейшего использования, можно сделать следующие выводы:

1. Теория графов может быть использована для рационализации времени разборки ЛА на составные элементы.
2. При определении силовых параметров расснаряжения ЛА необходимо учитывать наличие герметика в резьбе изделий.
3. В целях обеспечения безопасности проведения работ по утилизации рекомендуется разработка технологического процесса расснаряжения ЛА с использованием комплексного критерия технологичности и безопасности жизнедеятельности.
4. Технологический процесс расснаряжения ЛА, учитывающий комплексный критерий, может быть реализован на специальном механизированном стенде.

### Литература

1. Бабушкин А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
2. Кобрин В.Н., Вамболь В. В. Технологический процесс разборки авиационных средств поражения.

// Авиационно-космическая техника и технология. Харьков, НАКУ., 2000. Вып. 18

3. Афанасьев Г.Т., Боболев В.К. Инициирование твердых взрывчатых веществ ударом. – М.: Наука, 1968. – 172 с.

4. Маяк Н.М., Сухов В.В., Жук С.П. Проблемы утилизации летательных аппаратов и пути их решения // Технологические системы. – Киев. № 2. 1999.

5. Кобрин В.Н., Сухов В.В., Вамболь В.В. Комплексный критерий технологичности и безопасности жизнедеятельности при разборке снарядов типа С-5, С-8 // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков, НАКУ. 2001. Вып. 19.

*Поступила в редакцию 21.04.03*

**Рецензенты:** д-р техн. наук, профессор Буланов В.В., Национальный автодорожный университет, г. Харьков; канд. техн. наук, доцент Чистяк В.Г., Харьковский государственный экономический университет, г. Харьков.