

УДК 658.012.23

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, Ю.А. ГЛУХОВА, В.А. ЩЕГОЛЬ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

ВЫБОР И ОЦЕНКА НАПРАВЛЕНИЙ В ПРОЕКТЕ УТИЛИЗАЦИИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Выделены основные направления утилизации и предложены критерии оценки проектов утилизации. Сформулированы варианты постановок задач оптимизации для управления проектами утилизации сложной техники.

утилизация сложной техники, оптимизация затрат на утилизацию, управление ресурсами проектов утилизации

Введение

В настоящее время вопросы утилизации сложной техники актуальны, к ним привлечено значительное внимание общественности и научного сообщества. Так, например, положения по жизненному циклу технических систем, приведенные в международном стандарте ISO/IEC 15288:2002 (E), устанавливают типовое содержание процесса утилизации [1]. Законы Украины устанавливают правовой режим имущества Вооруженных Сил Украины и порядок изъятия из оборота, переработки, утилизации, уничтожения или дальнейшего использования некачественной и опасной продукции [2, 3].

Но несмотря на это, на данный момент в Украине утилизация сложной техники (СТ) не имеет достаточной научно-технической, экономической, нормативной и правовой основы. Масштаб и организация комплексного использования отходов первичного и конечного потребления не отвечают складывающейся современной и тем более перспективной ситуации и существенно отстают от достигнутого уровня в этой сфере в зарубежных странах [4]. Исследования и разработки в области утилизации носят неплановый, фрагментарный характер и решают в основном частные вопросы без учета совокупности экономических, ресурсосберегающих,

экологических и других аспектов. Основное внимание акцентируется на разработке технологических методов утилизации. Отдельной сферой рассмотрения является система управления отходами [4], в то время как вопросы управления проектами по утилизации СТ находятся в начальной стадии.

В Украине основные исследования организационных и нормативных вопросов в области утилизации авиационной техники проводятся в Открытом акционерном обществе «Украинский научно-исследовательский институт авиационных технологий» (ОАО «УкрНИИАТ», г. Киев). Теоретическими вопросами утилизации вооружения и военной техники занимается Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, г. Харьков.

Таким образом, разработка методов, моделей и информационных технологий управления проектами утилизации сложной техники, является актуальной научно-прикладной задачей.

Постановка задачи исследования. В процессе планирования и выполнения проекта утилизации СТ исполнитель должен учитывать затраты средств и времени на проект, планировать возможный доход от реализации проекта [5]. Специфика проекта по утилизации связана с возможным неблагоприятным воздействием процесса утилизации на окружающую среду и оператора (исполнителя). Необходимо опре-

делить основные критерии, по которым можно оценить эффективность проекта по утилизации СТ, с учетом перечисленных особенностей. Исходя из потребностей и задач, определенных заказчиком, а также в зависимости от объекта утилизации (ОУ) и выбранного метода утилизации (МУ), эти критерии могут выступать в одних случаях как целевые функции, а в других – в качестве ограничений. Выделение основных критериев с учетом возможных ограничений позволяет сформировать возможные постановки задач и оптимизационные модели для управления проектами по утилизации СТ.

Решение задачи

В результате анализа существующих технологических процессов и подходов к утилизации СТ можно выделить следующие возможные **направления утилизации сложной техники**.

Базовые направления:

1. Уничтожение и захоронение техники. При этом возможно значительное воздействие на окружающую среду (ОС). Характерной особенностью этого направления является отсутствие прибыли от реализации проекта.

2. Коммерциализация утилизации. Включает разборку СТ на составляющие, оценку технического состояния, ремонт, модернизацию, хранение и продажу. Это направление наиболее благоприятно (рекомендуемо) при утилизации СТ. В случае утилизации военной техники и боеприпасов это приводит к демилитаризации.

3. Переработка СТ во вторичное сырье, которое можно использовать повторно для создания новых образцов СТ.

На практике встречаются различные комбинации перечисленных направлений:

4. Комбинированное направление (1+2): часть СТ подлежит уничтожению или захоронению, а часть – коммерциализации.

5. Комбинированное направление (1+3): часть сложной техники подлежит уничтожению или захоронению, а часть – переработке во вторичное сырье. Целесообразно использовать, если ОУ не имеет составляющих с большим запасом ресурса.

6. Комбинированное направление (2+3): часть сложной техники подлежит коммерциализации, а часть – переработке во вторичное сырье. Целесообразно использовать, если ОУ не имеет в своем составе веществ и материалов, не подлежащих переработке.

7. Комбинированное направление (1+2+3): включает разборку сложной техники на составляющие, оценку технического состояния, ремонт или модернизацию, ремонт и продажу части составляющих СТ, переработку части сложной техники во вторичное сырье и уничтожение или захоронение элементов, не подлежащих переработке. Это направление наиболее полно включает составляющие процесса утилизации.

Основными критериями, характеризующими процессы утилизации, являются (табл. 1):

1. D – доход от утилизации СТ;
2. W – затраты по проекту утилизации;
3. T – затраты времени на утилизацию;
4. Q – экологический критерий, характеризующий воздействие технологического процесса и объекта утилизации на окружающую среду и оператора.

Для формирования критериев оптимизации процесса утилизации введем **булевы переменные**:

$$x_{si} = \begin{cases} 1 - i\text{-я операция с ОУ} \\ \quad \text{учитывается} \\ \quad \text{при оценке } s\text{-го этапа} \\ \quad \text{проекта утилизации;} \\ 0 - \text{ не учитывается.} \end{cases} \quad (1)$$

Элементарные составляющие основных критериев представим в виде:

d_{si} – возможный доход от i -й операции на s -м этапе проекта:

Таблица 1

Критерии, используемые в проектах утилизации сложной техники

Обозначение	Критерий	Примечание
ΔD	Доход от утилизации	
d_1	Доход от реализации составляющих, имеющих запас ресурса (аппаратура, двигатели, оборудование, и т.д.), для дальнейшего использования в качестве запчастей, в т. ч. в народном хозяйстве	$f(N)$ $f(S)$
d_2	Доход от реализации металлолома (лома черных, цветных, драгоценных металлов)	d_2 или d_3 , $f(N)$
d_3	Доход от реализации вторичного сырья, полученного из металлолома переплавкой	
d_4	Доход от реализации неметаллических составляющих, представляющих определенную ценность (например, взрывчатые вещества)	d_4 и/или d_5 $f(N)$
d_5	Доход от реализации вторичной продукции, изготовленной из неметаллических составляющих	
ΔW	Затраты на утилизацию	
w_1	Затраты на подготовку и освоение утилизации (единоразовые для конкретного вида ОУ)	$f(MU)$
w_2	Затраты на организацию, управление и маркетинг	
w_3	Затраты на техническое обеспечение, в том числе на оборудование, инструмент, расходные материалы, транспорт (покупка/аренда)	$f(MU)$
w_4	Затраты на энергетические ресурсы (электричество, сжатый газ и др.)	$f(MU)$
w_5	Затраты на оборудование площади для утилизации (открытого/ закрытого типа), склады и т.д.	$f(MU)$
w_6	Затраты на транспортировку	$f(MU)$
w_7	Затраты на заработную плату персонала и прочие отчисления	
w_8	Затраты на обеспечение безопасности операторов и ОС (СИЗ, средства пожаротушения, вентиляция и фильтрация на площадках закрытого типа, экранирование, звуко- и виброизоляция и т.д.)	$f(MU)$
w_9	Затраты на переработку материалов и получение вторичного сырья	
w_{10}	Затраты на модернизацию, доработку оборудования, не выработавшего ресурс и подлежащего продаже	
w_{11}	Затраты на уничтожение или захоронение (консервацию) материалов, не подлежащих повторному использованию	
ΔT	Затраты времени	
t_1	Операционное время технологического процесса	$f(MU)$
t_2	Время, необходимое на согласование и организационное взаимодействие	
ΔQ	Экологический критерий	
q_1	Воздействие на ОС, в том числе: выделение вредных паров и газов, пыли, абразивов, токсических веществ, и, следовательно, загрязнение почвы, воздушного и водного бассейнов, а также шумовое, электромагнитное загрязнение ОС. Посредством воздействия на ОС возможно негативное влияние на жителей близлежащих населенных пунктов.	$f(OU, MU)$ $f(S)$
q_2	Воздействие на оператора (вредные вещества, шум, вибрация, ультразвук и инфразвук, электромагнитное излучение, электрический ток)	
q_3	Риск возникновения чрезвычайной ситуации при утилизации сложной техники	

Обозначения: ОУ – объект утилизации; МУ – метод утилизации; $f(N)$ – зависимость от количества ОУ; $f(S)$ – зависимость от состояния ОУ; $f(MU)$ – зависимость от МУ, ОС – окружающая среда, СИЗ – средства индивидуальной защиты

$$d_{si} = \sum_{j=1}^5 d_{sij}, \quad (2)$$

где d_{sij} – j -я составляющая дохода;

w_{si} – возможные затраты на i -й операции на s -м этапе проекта:

$$w_{si} = \sum_{k=1}^{11} w_{sik}, \quad (3)$$

где w_{sij} – j -я составляющая затрат средств;

t_{si} – возможные затраты времени на i -й операции на s -м этапе проекта:

$$t_{si} = \sum_{\ell=1}^2 t_{sil}, \quad (4)$$

где t_{sil} – ℓ -я составляющая затрат времени;

q_{si} – возможное воздействие на окружающую среду и оператора на i -й операции на s -м этапе проекта:

$$q_{si} = \sum_{m=1}^3 q_{sim}, \quad (5)$$

где q_{sim} – m -я составляющая экологического критерия.

Представим **целевые функции** для возможных задач оптимизации проектов утилизации СТ в следующем виде:

1) целевая функция дохода от проекта утилизации:

$$\Delta D = \sum_s \sum_i d_{si} \cdot x_{si}; \quad (6)$$

2) целевая функция затрат средств на проект утилизации:

$$\Delta W = \sum_s \sum_i w_{si} \cdot x_{si}; \quad (7)$$

3) целевая функция затрат времени на проект утилизации:

$$\Delta T = \sum_s \sum_i t_{si} \cdot x_{si}; \quad (8)$$

4) целевая функция, характеризующая воздействие проекта утилизации на ОС и оператора:

$$\Delta Q = \sum_s \sum_i q_{si} \cdot x_{si}. \quad (9)$$

Ограничения задачи оптимизации:

ΔW^* – максимально допустимые расходы по проекту утилизации СТ;

ΔT^* – максимально допустимое время выполнения проекта утилизации СТ;

ΔQ^* – допустимая величина воздействия процесса утилизации на ОС и оператора, определенная нормативными экологическими документами.

Сформируем **следующие возможные постановки задачи оптимизации** для проектов утилизации СТ.

1. Максимизация дохода от утилизации:

$$\max \Delta D \quad (10)$$

с учетом следующих ограничений:

$$\Delta W \leq \Delta W^*; \Delta T \leq \Delta T^*; \Delta Q \leq \Delta Q^*.$$

Возможны следующие варианты:

$$1.1) \quad \max \Delta D; \quad \Delta W \leq \Delta W^* \quad (11)$$

$$1.2) \quad \max \Delta D; \quad \Delta Q \leq \Delta Q^* \quad (12)$$

$$1.3) \quad \max \Delta D; \quad \Delta T \leq \Delta T^* \quad (13)$$

$$1.4) \quad \max \Delta D; \quad \Delta W \leq \Delta W^*; \Delta Q \leq \Delta Q^* \quad (14)$$

$$1.5) \quad \max \Delta D; \quad \Delta W \leq \Delta W^*; \Delta T \leq \Delta T^* \quad (15)$$

$$1.6) \quad \max \Delta D; \quad \Delta Q \leq \Delta Q^*; \Delta T \leq \Delta T^* \quad (16)$$

$$1.7) \quad \max \Delta D; \quad \Delta Q \leq \Delta Q^*; \Delta T \leq \Delta T^*; \Delta W \leq \Delta W^* \quad (17)$$

2. Минимизация затрат на утилизацию:

$$\min \Delta W \quad (18)$$

с учетом ограничений:

$$\Delta Q \leq \Delta Q^*; \Delta T \leq \Delta T^*.$$

Возможны следующие варианты:

$$2.1) \quad \min \Delta W; \quad \Delta Q \leq \Delta Q^* \quad (19)$$

$$2.2) \quad \min_{\Delta T \leq \Delta T^*} \Delta W ; \quad (20)$$

$$2.3) \quad \min_{\substack{\Delta Q \leq \Delta Q^* \\ \Delta T \leq \Delta T^*}} \Delta W . \quad (21)$$

3. Минимизация воздействия процесса утилизации на ОС и оператора:

$$\min \Delta Q \quad (22)$$

с учетом ограничений:

$$\Delta W \leq \Delta W^* ; \Delta T \leq \Delta T^* .$$

Возможны следующие варианты:

$$3.1) \quad \min_{\Delta W \leq \Delta W^*} \Delta Q ; \quad (23)$$

$$3.2) \quad \min_{\Delta T \leq \Delta T^*} \Delta Q ; \quad (24)$$

$$3.3) \quad \min_{\substack{\Delta W \leq \Delta W^* \\ \Delta T \leq \Delta T^*}} \Delta Q . \quad (25)$$

Конкретная постановка задачи будет зависеть от начальных условий и специфики проекта утилизации. Возможные постановки задачи оптимизации и их применимость для различных направлений утилизации СТ приведены в табл. 2.

Плюс «+» означает возможность и правомерность постановки задачи оптимизации для соответствующих направлений.

Так, например, неправомерно применение постановки задачи максимизации дохода от утилизации для направления утилизации, связанного с захоронением или уничтожением СТ, так как это направление полностью убыточно и возможно только в случае государственного финансирования в целях обеспечения безопасности.

Отметим, что ограничение $\Delta Q \leq \Delta Q^*$ для процессов утилизации обычно является обязательным, поэтому, все постановки задач, не содержащие его, возможны лишь для относительно небольшой категории проектов утилизации СТ, которые характеризуются экологической безопасностью как метода, так и объекта утилизации.

Обобщенная целевая функция, включающая несколько частных, может быть представлена с использованием аддитивной свертки, где критерии

должны быть пронормированы, а их важность оценивается в виде их условного «веса».

Таблица 2
Возможные постановки задач оптимизации и область их применения

Постановки задач	Возможность применения к различным направлениям утилизации						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Задача максимизации дохода							
1.1	-	+	+	-	-	+	-
1.2	-	+	+	+	+	+	+
1.3	-	+	+	-	-	+	-
1.4	-	+	+	+	+	+	+
1.5	-	+	+	-	-	+	-
1.6	-	+	+	+	+	+	+
1.7	-	+	+	+	+	+	+
2. Задача минимизации затрат							
2.1	+	+	+	+	+	+	+
2.2	-	+	+	-	-	+	-
2.3	+	+	+	+	+	+	+
3. Задача минимизации воздействия процесса утилизации на ОС и оператора							
3.1	+	-	+	+	+	+	+
3.2	+	-	+	+	+	+	+
3.3	+	-	+	+	+	+	+

Например, задачу минимизации затрат времени и средств с использованием обобщенной целевой функции можно представить в виде:

$$\begin{aligned} & \min (\alpha_1 \overline{\Delta T} + \alpha_2 \overline{\Delta W}) = \\ & = \min \left(\alpha_1 \cdot \left(\sum_s \sum_i \overline{t_{si}} \cdot x_{si} \right) + \right. \\ & \left. \alpha_2 \cdot \left(\sum_s \sum_i \overline{w_{si}} \cdot x_{si} \right) \right), \quad (26) \end{aligned}$$

где α_1 – «вес» критерия, связанного с затратами времени;

α_2 – «вес» критерия, связанного с финансовыми затратами;

$\overline{t_{si}}$ – нормированные составляющие нормированного критерия времени $\overline{\Delta T}$ на i -й операции на s -м этапе проекта;

$$\overline{\Delta T} = \left\{ \overline{t_{si}} \right\}, \quad 0 \leq \overline{\Delta T} \leq 1; \quad (27)$$

$\overline{w_{si}}$ – нормированные составляющие нормированного критерия затрат $\overline{\Delta W}$ на i -й операции на s -м этапе проекта.

$$\overline{\Delta W} = \left\{ \overline{w_{si}} \right\}, \quad 0 \leq \overline{\Delta W} \leq 1. \quad (28)$$

Заключение

Рассмотренный подход дает возможность осуществлять выбор и оценку направлений в проекте утилизации сложной техники. Оптимизация позволяет, с использованием булевых переменных на основе целочисленного программирования, обосновать основные параметры проекта утилизации сложной техники с учетом заданных ограничений.

При этом обеспечивается выполнение ограничений проекта утилизации в виде допустимых временных и финансовых затрат и требований экологической безопасности.

Анализ применимости возможных постановок задачи оптимизации для различных направлений утилизации СТ позволяет учесть специфику объекта утилизации, а также возможность реализации проекта с учетом ограниченных финансовых и временных ресурсов.

Литература

1. ISO/IEC 15288:2002 (E) System engineering – System life cycle processes (Инженерная практика систем – процессы жизненного цикла системы).
2. Закон України «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції» від 14.01.2000 №1393-XIV (із змінами) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nau.kiev.ua/nau10/ukr/doc.php?uid=1087.3> (10.12.2007).
3. Підсумки утилізації надлишкового озброєння і боеприпасів у 2006 році та плани щодо цієї діяльності на 2007 рік: Брифінг за участю заступника Міністра Оборони України Терещенка В.І. 29.01.2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mil.gov.ua/index.php?lang=ua&part=news&sub=read&id=8885> (10.12.2007).
4. Назаренко А.В. Некоторые аспекты совершенствования системы управления отходами. Вестник Оренбургского государственного университета. – 2003, № 6. – С. 106-110 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vestnik.osu.ru/2003_6/19.pdf (10.12.2007).
5. Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро и др. Справочное пособие / Под ред. И.И. Мазура и В.Д. Шапиро. – М.: Высш. шк., 2001. – 875 с.

Поступила в редакцию 3.12.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.