

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ СЛОЖНОГО НАУКОЕМКОГО ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ЕГО МОДЕРНИЗАЦИИ

Шевченко Т. В., Шостак И. В., Собчак А. П., Попова О. И., Морозова О. И.

1. Введение

На сегодняшний день научно-техническое развитие не стоит на месте. Каждый год сотни ученых в мире патентуют свои изобретения. Уже происходят процессы, ведущие к тому, что в промышленном производстве остается все меньше «синих воротничков» рабочих. Зато все больше становится «белых воротничков» специалистов и «стальных воротничков» роботов. Это может вызвать противоречия и неоднозначные процессы [1].

С ростом научно-технического прогресса появляется все больше техники. Каждый год с мире выпускается огромное количество сложных наукоемких изделий, развиваются новые технологии [2]. Это приводит к тому, что устаревшая техника, зачастую, оказывается на свалках. При выходе из строя одного из компонентов изделия ее считают нерабочей в целом. Это приводит к проблемам с экологией.

Ежегодно на пригородных свалках оказываются десятки тонн непригодной для пользования техники. Это оборудование имеет в своем составе материалы на основе фенолформальдегида и поливинилхлорида, и почти все металлы из периодической таблицы Менделеева [3], которые не разлагаются. Становление этой проблемы порождает поиск путей ее решения.

Такое оборудование не должно оказываться на полигонах и свалках, оно должно демонтироваться либо максимально использоваться для вторичной переработки. Исключая одновременную утилизацию всего изделия по причине выхода из строя одного из компонентов:

- потребитель экономит средства на утилизации, закупке новой техники, что немаловажно для производителей в период финансовой нестабильности;
- производитель наукоемкой техники получает прибыль от оборудования в период истечения гарантийного срока;
- для содержания дополнительной сервисной службы, необходимы сотрудники, другими словами обеспечение рабочими местами людей [3].

Все вышесказанное подтверждает актуальность проведенного исследования.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объект исследования – жизненный цикл продукции (объекта сложной техники) производственного предприятия.

В первую очередь отобразим жизненный цикл (ЖЦ) сложной наукоемкой техники, как в графическом, так и формализованном виде (рис. 1).

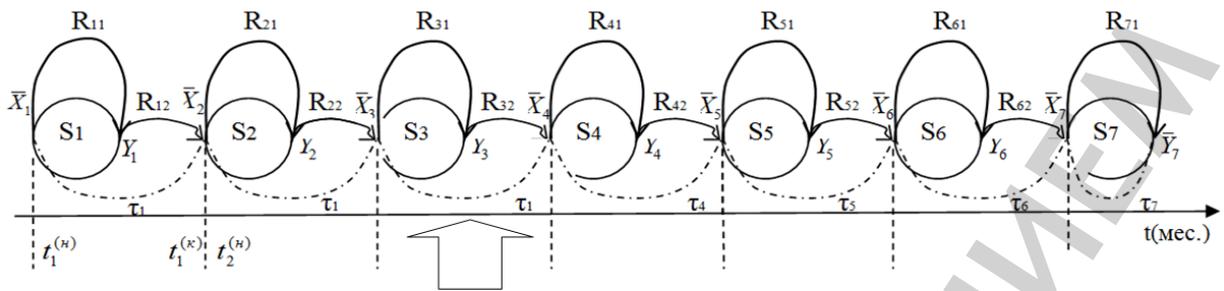


Рис. 1. Жизненный цикл изделий сложной наукоемкой техники

Жизненный цикл сложной наукоемкой техники состоит из 7-ми этапов таких как:

- маркетинг;
- проектирование изделия;
- подготовка производства;
- производство;
- реализация;
- эксплуатация;
- утилизация.

Концептуальная модель системы жизненного цикла имеет следующий вид:

$$A = \langle S, \bar{X}, \bar{Y}, R, T \rangle, \quad (1)$$

где $S = \sum_{i=1}^7 S_i$, $\bar{X}_i = \{x_j\}$, $\bar{X}_i = \{x_j\}$, $\bar{Y}_i = \{y_k\}$, $j = \overline{1,7}$, $k = \overline{1,7}$,

$$R \supset \{R_{l_1}\} \cup \{R_{n_2}\}, l = \overline{1,7}, n = \overline{1,7}, \{R_{l_1}\} \cap \{R_{n_2}\} = \emptyset,$$

$$T = \{\tau_1, \dots, \tau_7\}, \forall \tau_i \in T \mid \tau_i = [t_i^m, t_i^k], \forall \tau_i \in T \mid t_{i+1}^{(n)} i = \overline{1,7}, S_{\tau_i} : R_{\tau_i} \rightarrow \bar{X}_{\tau_i}.$$

В концептуальной модели ЖЦ сложной наукоемкой техники на ВПП используются следующие обозначения:

S_1, \dots, S_7 – этапы жизненного цикла продукции;

\bar{X}_i – входные данные на соответствующем этапе жизненного цикла продукции;

\bar{Y}_i – выходные данные соответствующих этапов жизненного цикла продукции;

$t_i^{(n)}, t_i^{(k)}$ – моменты соответственно начала и окончания каждого этапа жизненного цикла продукции;

R_{l_1} – преобразователь данных типа «операция – элемент» для l -того этапа ЖЦ;

R_{n_2} – преобразователь данных типа «элемент – элемент» для n -ного этапа ЖЦ;

τ_1, \dots, τ_7 – временные интервалы длительности каждого этапа жизненного цикла продукции.

Выделим все входные и выходные данные на каждом этапе ЖЦ на ВПП (табл. 1) [2].

Таблица 1

Входные и выходные данные на каждом этапе жизненного цикла

Этапы	Вход	Выход
1	$\overline{X}_1 = \{x_1^1, \dots, x_n^1\}$, $\{x_1^1, \dots, x_n^1\}$ – множество потенциальных клиентов	$\overline{Y}_1 = \{y_1^{(1)}, \dots, y_n^{(1)}\}$, $\{y_1^{(1)}, \dots, y_n^{(1)}\}$ – множество заявок на изготовление j-го вида оборудования
2	$\overline{X}_2 = \{x_1^2, \dots, x_n^2\}$, $\{x_1^2, \dots, x_n^2\}$ – множество заказов на изготовление m-количества j-того вида оборудования	$\overline{Y}_2 = \{y_1^{(2)}, \dots, y_n^{(2)}\}$, $\{y_1^{(2)}, \dots, y_n^{(2)}\}$ – конструкторско-технологическая документация
3	$\overline{X}_3 = \{x_1^3, \dots, x_n^3\}$, $\{x_1^3, \dots, x_n^3\}$ – технологические маршрутные карты	$\overline{Y}_3 = \{y_1^{(3)}, \dots, y_n^{(3)}\}$, $\{y_1^{(3)}, \dots, y_n^{(3)}\}$ – производственные агенты для изготовления j-того вида оборудования
4	$\overline{X}_4 = \{x_1^4, \dots, x_n^4\}$, $\{x_1^4, \dots, x_n^4\}$ – цифровые управляющие программы прошивки ПЛИС процессов станка с ЧПУ	$\overline{Y}_4 = \{y_1^{(4)}, \dots, y_n^{(4)}\}$, $\{y_1^{(4)}, \dots, y_n^{(4)}\}$ – множество изготовленных узлов и деталей
5	$\overline{X}_5 = \{x_1^5, \dots, x_n^5\}$, $\{x_1^5, \dots, x_n^5\}$ – конструкторско-технологическая документация сборки изделия	$\overline{Y}_5 = \{y_1^{(5)}, \dots, y_n^{(5)}\}$, $\{y_1^{(5)}, \dots, y_n^{(5)}\}$ – множество изготовленного оборудования j-того вида
6	$\overline{X}_6 = \{x_1^6, \dots, x_n^6\}$, $\{x_1^6, \dots, x_n^6\}$ – установка оборудования	$\overline{Y}_6 = \{y_1^{(6)}, \dots, y_n^{(6)}\}$, $\{y_1^{(6)}, \dots, y_n^{(6)}\}$ – сервисное обслуживание
7	$\overline{X}_7 = \{x_1^7, \dots, x_n^7\}$, $\{x_1^7, \dots, x_n^7\}$ – множество заказов на утилизацию	$\overline{Y}_7 = \{y_1^{(7)}, \dots, y_n^{(7)}\}$, $\{y_1^{(7)}, \dots, y_n^{(7)}\} = \emptyset$

Каждый продукт имеет свой жизненный цикл, т. е. временной интервал, срок годности. В Украине он установлен в сроке 5 лет. В этом и кроются все проблемы предприятий. Нынешняя ситуация в стране не позволяет предприя-

тиям обновлять свои производственные мощности каждые 5 лет, поэтому и является наиболее проблемным местом.

Процесс протекания утилизации определяется ее началом, которое в большинстве случаев совпадает с концом гарантийного периода от предприятия изготовителя или его представителей (дистрибьюторов, дилеров и т. д.) и временем, необходимым для всего объема работ (определение путей и способов, разборка, сортировка, переработка и т. д.), т. е. полного уничтожения изделия.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является исследование метода декомпозиции сложного изделия и определение оптимальных путей для ее реализации на основании исследования жизненного цикла продукции. При этом затрагивая экономический, экологический и социальный аспекты, продление жизненного цикла сложных изделий путем замены или ремонта вышедших из строя компонентов, то есть продление срока эксплуатации изделия.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Провести оценку жизненного цикла ОСТ с последующей конкретизацией этапов жизненного цикла продукции.
2. Представить наукоемкие изделия в виде архитектуры распределенной иерархии.

4. Исследование существующих решений проблемы

Решением проблемы утилизации твердых отходов занимались авторы работ [4, 5]. Эти исследования связаны с решением целого ряда научных и практических задач, среди которых важное место занимают определение объёмов образующихся отходов, которые не подлежат вторичной переработке, том числе и наукоемких изделий, средства их переработки.

При этом в ресурсах мировой научной периодики, могут быть выделена работа [6], который акцентирует внимание на том, что отходное электронное сложное оборудование содержит много перерабатываемых элементов и, таким образом можно уменьшить количество отходов ОСТ. К сожалению, реализация данного подхода достаточно затратна для Украины, и не даст значительных результатов. Все физические процессы разделения в утилизации отходов электрического и электронного наукоемкого оборудования раскрыты в работе [7].

По мнению авторов работ [8, 9], модернизация наукоемкого оборудования заключается в замене деталей или узлов на более современные, качественные. В их исследованиях не учтено, что с увеличением использования электрических и электронных изделий, приборов в нашей жизни, скоростью обновления электротехнических изделий, жизненный цикл значительно сократился.

Как подчеркнуто в работе [10], при мониторинге работы предприятия, выпускаемого сложные наукоемкие изделия, необходимо правильно акцентировать как на сильные, так и на слабые стороны оборудования с целью их модернизации.

Приближенное решение проблемы, изложено в работах [11–13], предполагает, что успех проекта модернизации ОСТ в улучшении характеристик восстановления окружающей среды и ресурса (изделия) измеряется оценками жиз-

ненного цикла и оценкой воздействия на окружающую среду. Этого не достаточно для разрешения проблемы. На сегодняшний день вопрос решается тем, что осуществляют захоронения в глубинах океанов. Но вопрос в том, чтобы уменьшить количество утилизированных наукоемких изделий, которые тяжело поддаются вторичной переработки.

5. Методы исследования

Современная архитектура сложных наукоемких изделий содержит большое количество компонентов. С помощью декомпозиции можно разбить любое изделие на отдельные составляющие. Дерево декомпозиции для современных сложных изделий представляет собой многоуровневый иерархический компонентный состав (рис. 2).



Рис. 2. Простая декомпозиция изделия

Время службы детали определяет срок службы узлов, которые в свою очередь определяют срок службы агрегатов, а агрегаты – срок службы изделия. Таким образом, ее физическое устаревание. Данный срок можно пролонгировать, применяя метод мягкой утилизации. Наряду с этим существует смежное понятие – модернизации, но оно не учитывает момент утилизации. Предложенным методом добиваемся, чтоб начало этапа утилизации наступило не по истечению срока службы самой быстро изнашиваемой детали, а наоборот – пролонгировать срок службы изделия до срока службы самой долговечной детали в изделии.

Таким образом, для комплексного исследования проблемы необходимо отображение стадий жизни изделия – от зарождения идеи до утилизации. Для этого используем понятие жизненного цикла изделия, которое состоит из целого ряда стадий, этапов и отдельных работ, выполняемых для обеспечения его существования.

Жизненный цикл – последовательные и взаимосвязанные между собой степени системы продукта от приобретения или добычи природных ресурсов до окончательного удаления [14].

В рамках рассматриваемой темы нас интересует этап проектирования и этап эксплуатации, так как на этапе проектирования изделия проводится научно-исследовательская и опытно-конструкторская разработка и определяются

пути модернизации сложного изделия методом декомпозиции, а также ранжирования по необходимости модернизации какого-либо компонента. А вот на этапе эксплуатации определяется физическое устаревание, которое оказывает большое влияние на работу изделия и определяет срок службы.

Наряду с физическим старением существует моральное, которое для наукоемких изделий, как показано в мировой практике, тенденциях и благодаря прогрессу оказывает большее влияние на окончание срока эксплуатации так как приобретает свойство невостребованности [15].

Чтобы определить, какое влияние определенная рабочая среда окажет на систему, выполняется системное исследование (декомпозиция и анализ). На этапе декомпозиции обеспечивается общее представление системы и разделение ее на составные части, на этапе анализа обеспечивается формирование детального представления системы, а также позволяется сформулировать требования к системе.

На этапе анализа осуществляются [3]:

- 1) функционально-структурный анализ системы;
- 2) морфологический анализ (взаимосвязь компонентов);
- 3) генетический анализ (предыстория, причины развития ситуации);
- 4) анализ аналогов;
- 5) формирование требований к создаваемой системе.

Декомпозиция влияет на принятие решений, обоснованность принимаемых решений руководителем.

6. Результаты исследования

Представим сложное наукотехническое изделие путем декомпозиции на составляющие в виде архитектуры распределенной иерархии. Данная иерархия базируется на продуцировании представления знаний об объекте, в котором за основу принимается иерархия с отношением наследования и активными слотами, к процедурам-запросам и процедурам-демонам которых присоединены динамические знания в форме продукционных правил. Такой подход позволяет естественным образом сочетать в одной модели статистические знания о предметной области в виде иерархии наследования и динамические знания в виде присоединенных процедур, управляющих логическим выводом.

Таким образом, декомпозиция изделий может быть представлена функцией свойств:

$$W: I^2 \rightarrow S,$$

где I – множество идентификаторов; S – множество слотов вида:

$$\langle v, d, \{Q_i\}, \{D_j\}, \{C_k\}, \leq_q, \leq_d, a \rangle,$$

включающих в себя текущее значение слота и значение по умолчанию, множества процедур-запросов и процедур-демонов с соответствующими им стратеги-

ями разрешения конфликтов в форме отношений полного порядка на множестве процедур \leq_q и \leq_d , множество ограничений и т. д. Процедуры-запросы Q_i являются выражениями из некоторого множества E , а процедуры-демоны – функциями изменения свойств:

$$D_j: W \rightarrow W,$$

$D_j: W \rightarrow W$ где через W обозначено множество функций свойств иерархии. Множество значений слотов T может иметь произвольную природу (например, являться семейством типов с динамическим преобразованием или строгой типизацией) – для описания семантики вывод необходимо потребовать, чтобы это множество представляло собой полную решетку.

Отношение наследования: индуцируется слотом с зарезервированным именем *parent*:

$$F: G \parallel F(\textit{parent}) \parallel = G.$$

Таким образом, становится возможным описание динамического наследования, в котором родитель вычисляется в процессе логического вывода. Типичная для декомпозиции операция спецификации по образцу реализуется неявным включением в модель правила:

$$F(\textit{parent}) \leftarrow \textit{match}(F, G).$$

При рассмотрении множественного наследования слот *parent* предполагается спискового типа, и $F: G \leftrightarrow G \in \parallel F(\textit{parent}) \parallel$.

В основе определения семантики логического вывода лежит рекуррентное определение функции:

$$\parallel \cdot \parallel: C \times E \times W \rightarrow T \times W,$$

описывающее процесс обратного логического вывода, а также функции целенаправленного прямого вывода:

$$\Phi_{\langle f, s \rangle}: W \rightarrow W.$$

На множестве состояний W естественным образом индуцируется отношение частичного порядка, относительно которого это множество является полной решеткой. Так как предлагаемая модель вывода является монотонной (о чем говорит монотонность функций вывода по состояниям), то существует естественным образом определяемая семантика неподвижной точки, основанная на последовательном применении функций свойств $\parallel \cdot \parallel$ и Φ .

Процесс комбинированного вывода может быть также проиллюстрирован как поиск пути в конечном биграфе состояний, факторизованных отношением неразличимости множеством всех посылок правил.

Для функций свойств введем оператор комбинирования $*$ следующим образом:

$$W_1 * W_2 = \lambda f, s \left\{ \begin{array}{l} W_1(f, s), \text{ если } \langle f, s \rangle \in I_1 \\ W_2(f, s), \text{ если } \langle f, s \rangle \in I_2 \\ \perp, \text{ в противном случае} \end{array} \right\}.$$

Этот оператор является симметричным и ассоциативным, что позволяет распространить его на случай произвольного числа аргументов. Будем называть $W = * W = *_{i=1}^n W_i$ функцией состояния распределенной фреймовой системы. При этом такая функция будет определять некоторую локальную иерархию, которую мы назовем эквивалентной порожденной системой для исходной распределенной системы.

Логический вывод в распределенной декомпозированной системе может рассматриваться с позиции эквивалентной системы на основании уже определенной семантики, либо введением семантической функции распределенного вывода:

$$\|\cdot\| : C \times E \times \tilde{W} \rightarrow T \times \tilde{W},$$

оперирующей над множествами функций состояний.

Для вычисления статических и мобильных ссылок эта функция будет определять взаимодействие составных частей распределенной иерархии:

$$\|\circ W_1(f, s)\|_{\{W_1 \dots W_i \dots W_n\} \rightarrow \tilde{W}} = \|f, s\|_{\{W_1 \dots W_i^* W_j \dots W_n\} \rightarrow \tilde{W}},$$

$$\|\bullet W_1(f, s)\|_{\{W_1 \dots W_i \dots W_n\} \rightarrow \tilde{W}}^F = \|f, s\|_{\{W_1 \dots W_i^* W_j \dots W_n\} \rightarrow \tilde{W}}^{\bullet W_1(F)}$$

В то время как для выражений, не содержащих удаленных ссылок, она будет сводиться к определенной ранее локальной семантике:

$$\|E\|_{\{W_1 \dots \tilde{W}_i \dots W_n\} \rightarrow \tilde{W}} = \|E\|_{W_1 \dots W_i}.$$

Можно сказать, что для систем, использующих только мобильное или только статистическое взаимодействие семантика распределенного вывода будет эквивалентна семантике локального вывода результата декомпозиции

сложного наукоемкого приборостроительного изделия виртуального производства в порожденной системе составляющей компонентов изделия.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Сильные стороны метода декомпозиции ОСТ проявляются в:

- пролонгации жизненного цикла продукции сложной наукоемкой техники;
- выявлении неучтенных технических и функциональных характеристик изделий исходя из возможностей современных технологий;
- поддержании постоянного уровня спроса на продукцию;
- положительном влиянии на экологическую составляющую страны.

При этом можно выделить ряд преимуществ над существующими способами преодоления физического и морального старения ОСТ. К таковым можно отнести:

- временной показатель: заключается в максимальной пролонгации жизненного цикла продукции;
- позволяет не терять позиции спроса на рынке;
- экологический фактор, который не учтен во всех исследованиях касающихся модернизации сложной техники машиностроения.

Weaknesses. Отрицательный фактор реализации метода декомпозиции сложного наукоемкого приборостроительного изделия является погрешность в выявлении узла для модернизации, так как играет роль человеческий фактор. От этого зависят все последующие решения относительно путей модернизации объекта сложной техники. Таким образом неправильное решение может повлечь за собой снижение уровня спроса на ОСТ.

Opportunities. Дальнейшие исследования должны быть направлены на более глубокую математическую оценку влияния рассмотренного метода в статье на экологическую составляющую, не со стороны расширения возможностей утилизации, а со стороны недопущения, сокращения утилизации таких объектов или отсутствием такой необходимости. Полученные результаты, которые будут реализованы на действующих предприятиях Украины, даст возможность пролонгировать жизненный цикл изделия на 3–15 лет, тем самым увеличивая прибыль предприятия.

Threats. Отрицательная сторона при реализации данного исследования состоит в том, что все инновационные доработки по расширению функциональных возможностей ОСТ должны безукоризненно состыковываться с уже имеющимися электронными и программными компонентами, которые уже есть на данный момент в ОСТ. Это добавляет времени, неудобство разработчику, а следовательно и дополнительные затраты в сравнении, если бы разработчик создавал новое управление с учетом новейших технологий и компонентов. При имеющемся блоке управления и механо-части приходится приспособляться, наращивать дополнительные крепежи, коммутационные платы и т. д. Это может отразиться на качестве работы ОСТ.

Метод декомпозиции ОСТ на протяжении своей жизни применяют люди в быту, а также в офисах, используя при этом персональный компьютер, постоянно наращивая не только память, мощность видеокарты, но и функциональные возможности самого ПК.

8. Выводы

1. Проведена оценка жизненного цикла ОСТ с последующей конкретизацией этапов жизненного цикла продукции. Освещены все входные и выходные данные на каждом этапе вплоть до утилизации. При этом выделен основной проблемный этап – «эксплуатация», который непосредственно влияет на продолжительность жизненного цикла.

2. Отображены наукоемкие изделия в виде архитектуры распределенной иерархии. Таким образом математический аппарат изложенный в работе, позволяет сделать рациональный выбор того или иного узла для модернизации продукции. При чем, логический вывод в распределённой декомпозированной системе может рассматриваться с позиции эквивалентной системы на основании уже определенной семантики. Применение метода декомпозиции ОСТ позволяет не только осуществить рациональный выбор узла объекта сложной техники, модернизировав его, добавив функциональные возможности оборудования, но и тем самым значительно продлить этап жизненного цикла – «эксплуатацию». По результатам исследований можно сделать вывод о том, что применяя рассмотренный метод, утилизация ОСТ происходит постепенно с годами (до 15 лет), а не через 5 амортизированных лет (как предрасположено на производствах), другими словами – мягко утилизируя некоторые узлы и детали, которые выработали свой ресурс или морально устарели.

Литература

1. Filosofiiia sovremennogo nauchno-tehnicheskogo razvitiia [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <https://www.zubolom.ru/lectures/philosophy3/57.shtml>
2. Surkova, L. E. Struktura sistemnogo analiza [Electronic resource] / L. E. Surkova // Sistemnyi analiz v servise. – 2011. – Available at: \www/URL: <http://www.studfiles.ru/preview/3176323/>
3. Sobchak, A. P. Informatsionnaia podderzhka etapa utilizatsii izdelii slozhnoi naukoemkoi tehniki [Text] / A. P. Sobchak, O. I. Popova // Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. – 2016. – № 4 (40). – P. 47–54.
4. Vnukova, N. V. Problemy i perspektivy kompleksnoi utilizatsii munitsipal'nyh othodov g. Har'kova [Electronic resource] / N. V. Vnukova, N. P. Goroh, I. E. Suhorukov, Yu. Yu. Gorbik. – Available at: \www/URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-kompleksnoy-utilizatsii-munitsipalnyh-othodov-g-harkova>
5. Kuznetsova, L. P. Problema utilizatsii otrabotannyh motornyh masel [Text] / L. P. Kuznetsova // Molodoi uchenyi. – 2009. – № 10. – P. 60–63.
6. Li, D. Review of Recycling and Processing of Waste Electronic Equipment [Text] / D. Li // Proceedings of the 2016 International Conference on Education, Management and Computing Technology (ICEMCT-16). – Atlantis Press, 2016. doi:[10.2991/icemct-16.2016.219](https://doi.org/10.2991/icemct-16.2016.219)

7. Menad, N.-E. Physical Separation Processes in Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling [Text] / N.-E. Menad // WEEE Recycling. – 2016. – P. 53–74. doi:[10.1016/b978-0-12-803363-0.00003-1](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803363-0.00003-1)
8. Usik, I. Y. Modernization of mechanical and electrical equipment [Text] / I. Y. Usik, R. T. Kharitonov // Metallurgist. – 1962. – Vol. 6, № 7. – P. 331–333. doi:[10.1007/bf00734951](https://doi.org/10.1007/bf00734951)
9. Cheibub, J. A. Modernization Theory [Text] / J. A. Cheibub, J. R. Vreeland // Oxford Handbooks Online. – Oxford University Press, 2016. doi:[10.1093/oxfordhb/9780199845156.013.26](https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199845156.013.26)
10. Dobrov, P. P. Monitoring of the performance efficiency of the equipment at the enterprises of aviation instrumentation [Text] / P. P. Dobrov // MIR (Modernization Innovation Research). – 2016. – Vol. 7, № 2 (26). – P. 208–211. doi:[10.18184/2079-4665.2016.7.2.208.211](https://doi.org/10.18184/2079-4665.2016.7.2.208.211)
11. Legarth, J. B. Re-design of electromechanical products for re-use and recycling [Text] / J. B. Legarth, H. Erichsen, J. C. Gregersen // Life Cycle Networks. – Springer US, 1997. – P. 215–224. doi:[10.1007/978-1-4615-6381-5_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6381-5_18)
12. Mann, R. D. The economics of equipment recycling [Text] / R. D. Mann // International Conference on Clean Electronics Products and Technology (CONCEPT). – IEE, 1995. doi:[10.1049/cp:19951175](https://doi.org/10.1049/cp:19951175)
13. Wang, S. Study on the recycling technology of mechatronic products [Text] / S. Wang // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2002. – Vol. 38, № supp. – P. 76. doi:[10.3901/jme.2002.sup.076](https://doi.org/10.3901/jme.2002.sup.076)
14. Sobchak, A. P. Informatsionnaia tehnologiiia avtomatizatsii tehnologicheskoi podgotovki virtual'nogo proizvodstva predpriiatia [Text] / A. P. Sobchak, I. V. Shostak, V. N. Pavlenko, O. I. Popova // Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. – 2016. – № 3 (39). – P. 118–125.
15. Sobchak, A. P. Modelirovanie povedeniia litsa prinimaiushchego resheniia na virtual'nom predpriatii. Primenenie modelei v informatsionnyh tehnologiiiah [Text] / A. P. Sobchak, O. I. Popova // Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Ser. Avtomatyzatsiia ta upravlinnia mekhaniko-tekhnologichni systemy ta kompleksy. – 2016. – № 7 (1179). – P. 72–77.