

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕИНЖИНИРИНГА СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ ВНЕДРЕНИЕМ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Коноплянченко Е.В., к.т.н., доцент, Герасименко В.А., к.ф-м.н, доцент,  
Колодненко В.Н., ст. преподаватель**  
(Сумской национальной аграрный университет)

*Приведена формализованная методика реализации CALS-технологий на этапе реинжиниринга сложной техники, которая позволяет обеспечить качество процесса ее ремонта и модернизации, с целью продления ресурса.*

**Введение.** В отечественной литературе при употреблении термина CALS обычно имеется в виду расшифровка Computer-Aided Acquisition and Lifecycle Support. Русскоязычным аналогом CALS является равнозначный термин ИПИ (Информационная Поддержка процессов жизненного цикла Изделий). Зародившись в секторе оборонной промышленности, концепция информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий получила широкое распространение во многих областях современного производства.

Согласно концептуальным положениям ИПИ/CALS - это реальные процессы которые отображаются на виртуальную информационную среду, в которой определение продукта представлено в виде полного электронного описания изделия, а среда его создания и среда эксплуатации – в виде систем моделирования процессов и их реализации. Все три составляющие (определение продукта, среды его создания и среды эксплуатации) не только взаимосвязаны, но и непрерывно развиваются на всем протяжении жизненного цикла продукта [3].

В общем, виде жизненный цикл сложной техники содержит этапы ее проектирования, производства, эксплуатации, ремонта (реинжиниринга) и утилизации.

Реинжиниринг – это этап жизненного цикла изделия, который позволяет решать задачи по его реконструкции, модернизации и восстановления работоспособности, с целью обеспечения конкурентоспособности и продления ресурса.

**Постановка задачи.** Проблема формализации реинжиниринга состоит в том, что изделия современного машиностроения отличаются большим разнообразием типов соединений входящих в них деталей, характеризующиеся различными конструктивными, технологическими факторами: степенью относительной подвижности, возможностью разборки и т.д. При этом реальных условиях эксплуатации изделия меняется не только тип соединения входящих в него деталей, но и степень их воздействия на окружающую среду, что приводит к изменению набора задействованных при ремонте и модернизации методов.

Сложный и малоизученный характер влияния данных факторов не позволял построить единую модель внедрения CALS - технологии на этапе реновации изделий. Основная проблема современных концепций формализации этапа разборки изделия состоит в том, что они ориентированы на геометрические объекты без учета технологической специфики их разборки. В реальных условиях эксплуатации оборудования может меняться не только тип соединения входящих в него деталей, но и степень их воздействия на окружающую среду (химическая, радиологическая, бактериологическая опасность и т.д.), что непременно приводит к изменению набора задействованных при разборке методов. Важное влияние на оптимальный вариант оказывает: наличие необходимого технологического оснащения и его стоимость; стоимость выполнения операций разборки, отладки и контроля отдельных узлов машин; стоимость отдельных деталей, которые входят в изделие; экологическая безопасность доступа к деталям, которые работают в условиях опасных для человека [1,2].

Таким образом, задачу реинжиниринга объектов машиностроения необходимо решать в комплексе с научно обоснованной совокупностью применяемых технологических методов. При оптимизации разборочных работ, необходимые новые методики, которые позволяют выполнить разборку до детали, которая вышла из строя по оптимальному пути в условиях существующего производства.

**Методика исследований.** Предлагаемая концепция основана на формализации процесса разборки изделий с учетом влияния, как условий эксплуатации на изделие, так и учета степени влияния остаточных негативных эксплуатационных факторов в изделии на окружающую среду.

Изделие, с точки зрения технологии разборки представляется совокупностью видов соединений входящих в него деталей:

$$M = \{VS_i^j\},$$

где  $VS_i^j$  -  $j$  – е количество  $i$ -х видов соединений деталей в изделии.

Процесс трансформации вида соединения в период эксплуатации представлен на рисунке 1.

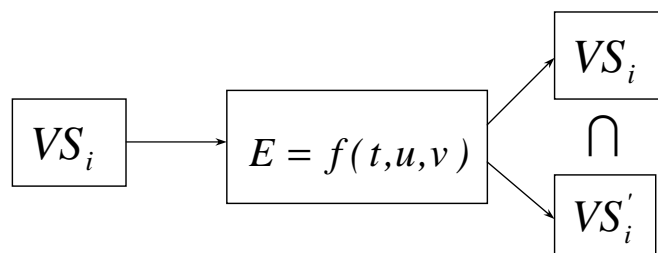


Рис. 1. Схема трансформации вида соединения в процессе эксплуатации изделия

Здесь  $VS_i$  - вид соединения деталей в изделии до эксплуатации;

$VS'_i$  - постэксплуатационная трансформация вида соединения.

$E = f(t, u, v)$  - период эксплуатации изделия, как функция, зависящая от ряда факторов:  $t$  – времени эксплуатации;  $u$  – условий эксплуатации;  $v$  – степени остаточного воздействия на окружающую среду.

Фактор времени – за длительное время эксплуатации деталей даже в нормальных условиях происходит изменение вида соединения, связанное например, с износом пар трения, изменения физических свойств деталей находящихся в контакте (пересыхание резиновых уплотнений, намагничивание поверхности контакта и т.д). Фактор условий эксплуатации – воздействие агрессивной среды, запыленность рабочей зоны, термовоздействие, тяжелые нагрузки, эксплуатация в условиях жесткого излучения (повышенная радиация), химическое, бактериологическое и др. виды заражения. Фактор степени остаточного воздействия на окружающую среду – определяет степень последствий воздействия неблагоприятных условий эксплуатации на изделие в целом, и входящие в него детали в частности (взрывоопасность, остаточная радиационное излучение, биологическая опасность и т.д.).

Все вышеуказанные факторы оказывают влияние, по отдельности и в своей совокупности, не только на трансформацию видов соединений, но и на генерацию последовательности частичной разборки изделий до вышедшей из стоя детали. Кроме того, выбор производственных условий на ремонтном предприятии и средств технологического оснащения также зависит от комбинации их влияния [1].

Так как задача выбора технологий разборки является инвариантной, т.е. реализуемой различными методами или их комбинацией, на первом этапе направленного выбора формируем матрицу достижимости решения задачи  $R = [r_i]$ , которая определяется следующим образом:

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } P_0 \text{ достижима из } P_i \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}, \text{ где}$$

$P_0$  – решение задачи;  $P_i$  – элемент решения.

Таким образом происходит отсев всех вариантов, которые не позволяют достичь необходимые требования (тупиковые варианты).

Возможные варианты реализации задачи реинжиниринга представляем в виде графа (рис.2).

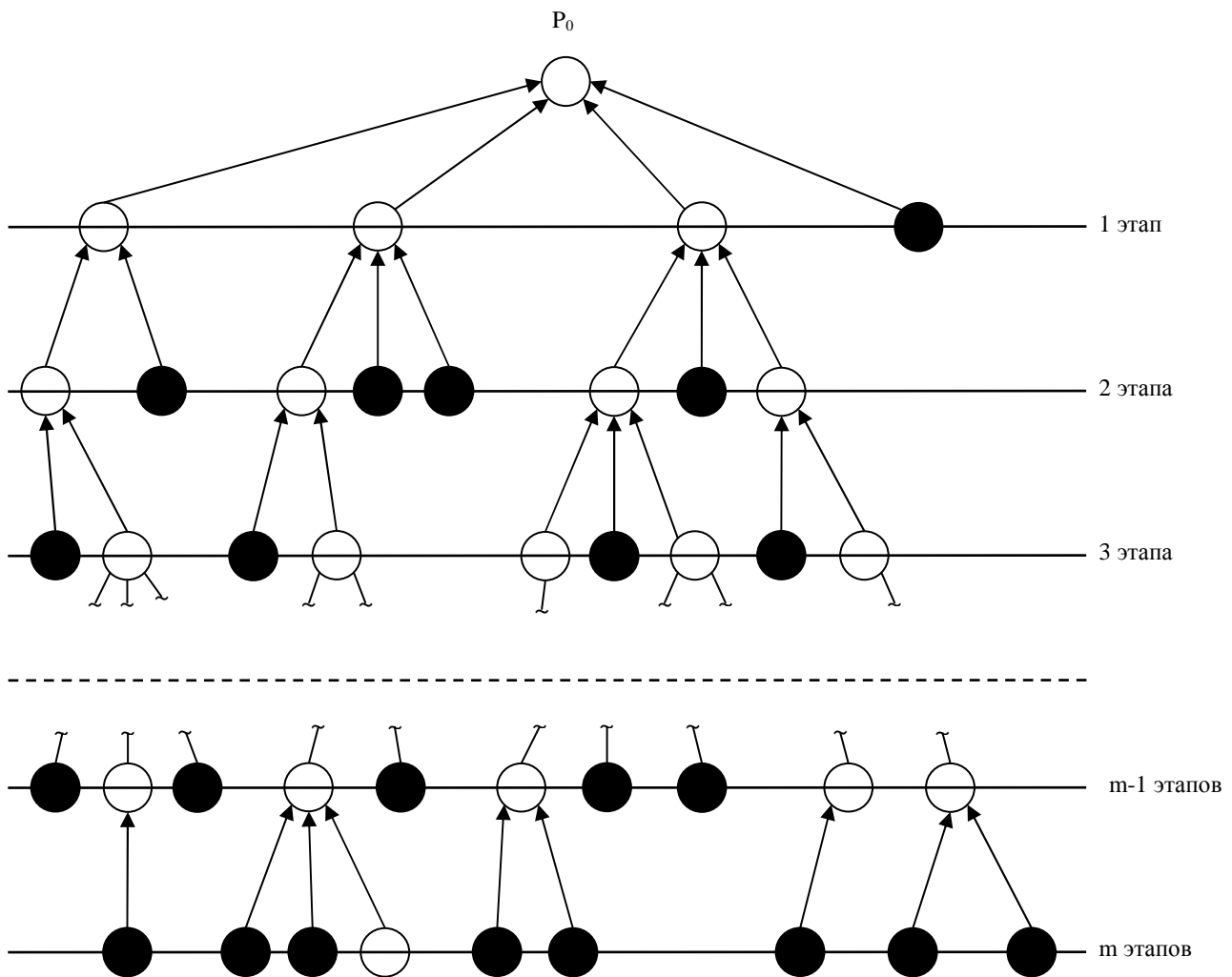


Рис. 2. Граф реализации задачи (дерево решений).

Граф является ориентированным, вершина которого  $P_0$  является решением задачи, уровни графа соответствуют этапам решения, т.е. количеству задействованных методов из возможных « $m$ » вариантов комбинаций. Узлы графа – методы достижения необходимых требований. Ребра графа – технологии, позволяющие реализовать методы. В графе имеются висячие вершины – нижний уровень разбиения задачи.

Граф строится согласно матрицы достижимости  $R$ , в которой множество вершин  $R(P_i)$  графа достижимых из вершин  $P_0$  состоит из таких элементов  $P_i$ , для которых  $i$ -й элемент в матрице равен 1.

В этом случае математическая модель процедуры направленного выбора технологий реинжиниринга представляется в виде гиперкуба, набор плоскостей которого соответствует методам разборки, а сами плоскости представляют собой матрицы средств технологического оснащения и соответствующих им технологических режимов (рис. 3).

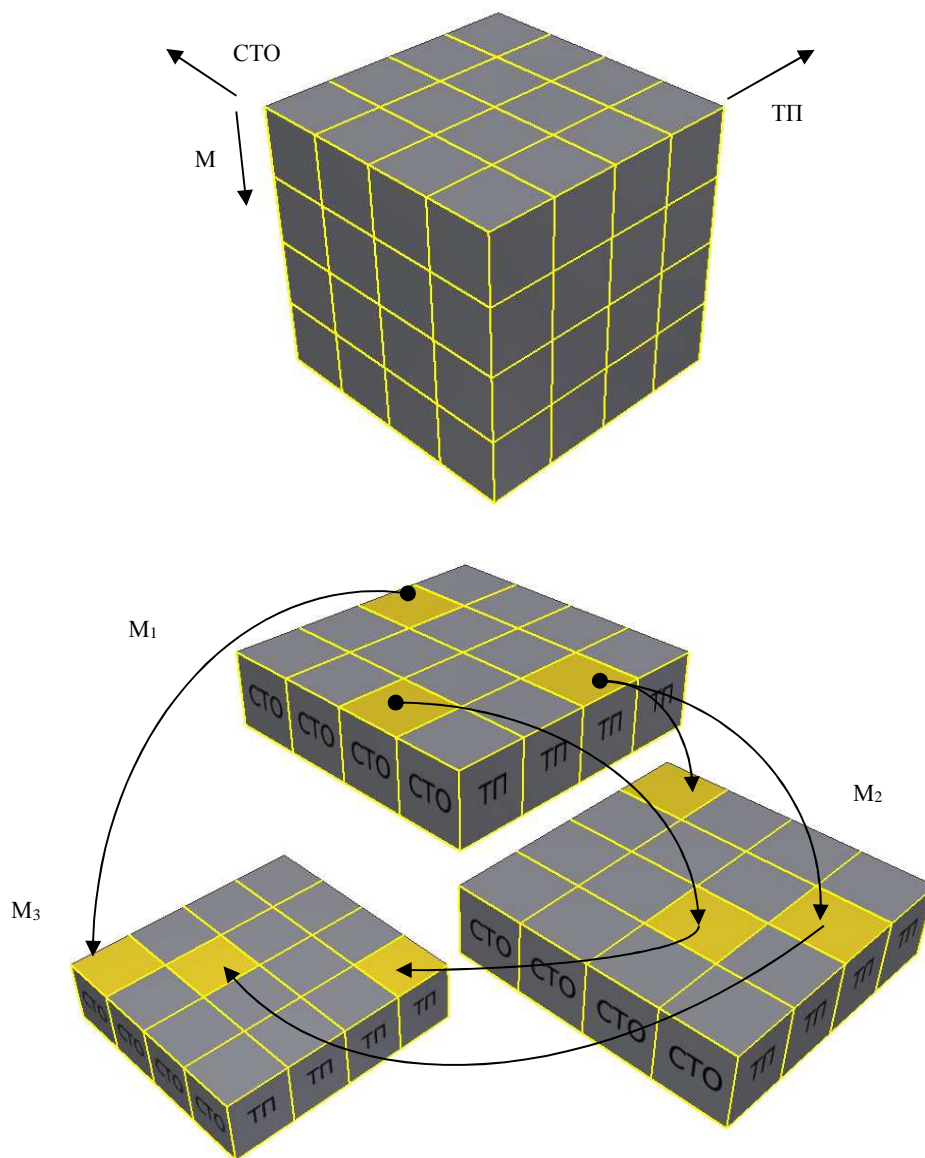


Рис. 3. Модель выбора технологий реинжиниринга.

Данная модель позволяет построить матрицу смежности методов  $A = [a_{i,j}]$  (рис. 4), которая определяется следующим образом:

$a_{i,j} = 1$ , если существует связь между методами  $(M_i, M_j)$

$a_{i,j} = 0$ , если связи нет.

Матрица имеет размерность  $n \times n$  по числу анализируемых методов.

A =	0	0	0	1	0	...	0	1
	0	0	1	0	0	...	0	2
	1	0	0	0	0	...	0	3
	0	0	0	0	1	...	0	4
	0	0	0	0	0	...	1	5
	...	...	...	...	...	...	...	...
	0	1	0	0	0	...	0	n
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	...	$M_n$	

Рис. 4. Матрица смежности методов разборки

Заполнение матрицы происходит построчно. Согласно графа реализации задач (рис. 2.) строка матрицы соответствует набору методов, а столбец определяет сложность решения задачи (количество этапов).

**Результаты исследований.** Множество решений данной задачи на качественном уровне описывается уравнением (необходимое условие):

$$\forall_{\psi \in \Psi} R_{\psi} = \{R \mid \gamma_R^{\min} \leq \gamma_R \leq \gamma_R^{\max}\},$$

т.е. для всех существующих вариантов решения задачи (совокупности технологий) заложенные критерии по качеству процесса должны находиться в области допустимых значений  $\lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}$ , по прогнозированию вероятности бездефектной разборки ответственных изделий, по обеспечению заданной точности, герметичности и т.п. Кроме того, одним из приоритетных критериев является экологическая безопасность доступа к деталям, которые работают в условиях опасных для человека и/или окружающей среды.

Решением задачи на технологическом уровне (достаточное условие):

$$\exists_{\xi \in \theta} R_{\xi} = \bigcap_{\psi=1}^{\chi} R_{\psi} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon},$$

где  $\exists_{\xi \in \theta} R_{\xi}$  – существующий вариант решения задачи;

$\bigcap_{\psi=1}^{\chi} R_{\psi}$  – совокупность вариантов решения задачи, удовлетворяющих необходимому условию;

$\exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi}$  – наличие методов решения задачи для каждого варианта;

$\exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta}$  – наличие средств технологического оснащения, способных реализовать необходимые методы;

$\exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}$  – наличие необходимых технологических режимов для средств технологического оснащения под каждый метод.

В этом случае из технологических себестоимостей вариантов решения задачи удовлетворяющего необходимому и достаточному условию формируется множество, согласно выражения:

$$\{C_{P_0}\} = \bigcup_{k \in X} \{C_{P_0}(k) \mid \begin{cases} \exists_{\xi \in \theta} R_{\xi} = \bigcap_{\psi=1}^{\chi} R_{\psi} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}, \\ \forall_{\psi \in \Psi} R_{\psi} = \{R \mid \gamma_R^{\min} \leq \gamma_R \leq \gamma_R^{\max}\} \end{cases}\}$$

Оптимизационная задача по экономическим критериям (минимуму технологической себестоимости) тогда представляется выражением:

$$P_0^{opt} = \lim_{C_{mex} \rightarrow \min} P_0 \mid C_{mex} \in \{C_{P_0}\}.$$

## Выводы

Основная идея приведенной в статье концепции заключается в разработке методологии системного подхода к проектированию высокоэффективных технологических систем, применяемых при реконструкции, модернизации и

восстановлении работоспособности технических средств и объектов материального производства в машиностроении.

Применение предлагаемого подхода позволит повысить качество процесса ремонта и модернизации сложной современной техники, тем самым продлить ее ресурс, а внедрение формализованной методики в условиях реального производства повысит уровень и эффективность использования имеющихся средств технологического оснащения.

### **Список литературы**

1. Коноплянченко Е.В. Обеспечение качества процесса реновации машин внедрением ресурсосберегающих технологий их разборки/ Коноплянченко Е.В., Колодненко В.Н. // Вісник Сумського національного аграрного університету, Вип. 2(22), 2010.- С.15-19.
2. Коноплянченко Е.В. Практические аспекты применения временных технологических цепей в ремонтных методах обеспечения надежности сложной техники/ Коноплянченко Е.В., Колодненко В.Н., Герасименко В.А. //Вісник ХНТУСГ. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків: ХНТУСГ. – 2012. – Вип. 128 – С.152- 156.
3. Коноплянченко Е.В. Формализованный подход к информационной поддержке процессов жизненного цикла изделий на этапе их ремонта и модернизации/Коноплянченко Е.В., Колодненко В.Н.// Технологии XXI века: Сборник научных статей по материалам 18-ой межд. конф.(10-15 сентября 2012) -Сумы: СНАУ, 2012.- С.26-27.

### **Анотація**

#### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РЕІНЖИНІРИНГУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІКИ ВПРОВАДЖЕННЯМ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ CALS-ТЕХНОЛОГІЙ У РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

**Коноплянченко Є.В., Герасименко В.О., Колодненко В.М.**

*Наведено формалізовану методику реалізації CALS-технологій на етапі реінжинірингу складної техніки, що дозволяє забезпечити якість процесу її ремонту та модернізації, з метою продовження ресурсу.*

### **Abstract**

#### **MAINTENANCE OF COMPLEX TECHNICAL EQUIPMENT REENGINEERING QUALITY WITH INTRODUCTION OF SAVE- RESOURCE CALS-TECHNOLOGIES IN REPAIR MANUFACTURE**

**Konoplyanchenko E.V., Gerasimenko V.A., Kolodnenko V.N.**

*The formalized technique of CALS-technologies realization at a stage of complex technical equipment reengineering which allows to provide quality of process of its repair and modernization, with the purpose of resource prolongation is resulted.*