

5. Лопатин О.П. Влияние режимов эксплуатации дизелей на токсичность отработанных газов / О.П. Лопатин // Молодой ученый. – 2015. – №17. – С. 182 – 185.
6. Стрельников В.А. Повышение экологической безопасности автотранспортных дизелей путем разработки и совершенствования методов и технических средств очистки отработавших газов : дис. ... доктора техн. наук : 05.20.03 / В.А. Стрельников. – Саратов: СГАУ, 2004. – 381 с.
7. Костин А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев. – Ленинград : Машиностроение, 1981. – 284 с.

Митков В. Б., Кувачов В. П. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

*Предложен комплексный подход к оценке уровня экологической безопасности машинно-тракторных агрегатов (МТА), который разрешит оценивать его влияние на окружающую среду в виде прогнозного значения *i*-го фактора экологической безопасности, к их нормативным.*

Ключевые слова: энергетическое средство, отработанные газы, экологическая безопасность, сельскохозяйственный агрегат, комплексный коэффициент.

V.B. Mitkov, V.P. Kuvachov METHOD FOR DETERMINING LEVEL OF ENVIRONMENTAL SAFETY ASSESSMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY

*A comprehensive approach to assessing the environmental safety of the machine and tractor units (MTU), which will allow to assess its impact on the environment as a forecast of the *i*-th ecological safety factor to their normative.*

Keywords: energy unit, exhaust gases, environmental safety, agricultural unit, complex factor.

Стаття надійшла в редакцію: 01.10.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Топілін Г.Є.

УДК 621.03.004.74:621.03.004.67 – 167.7

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ МАШИН ПРИМЕНЕНИЕМ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ПОИСКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е. В. Коноплянченко, к.т.н., доцент,
В. Н. Колодненко, ст. преподаватель
В. А. Герасименко, к.ф.-м.н., доцент,
В. П. Яременко, к.т.н., доцент
Сумський національний аграрний університет

У статті наведено формалізована методика визначення оптимального варіанту технології нанесення покриттів, яка дозволяє виконати структурно-параметричний синтез процесу формування покриття з заданими експлуатаційними властивостями. Запропонована концепція системного підходу дозволяє створювати високоефективні технологічні системи, що застосовуються при реконструкції, модернізації та відновленні працездатності складних машин.

Ключові слова: ощадне розбирання, формалізація, спрямований вибір, методи нанесення покриттів, поверхневий шар, зміцнення.

Введение. Проведенный анализ исследованной износа деталей машин показал, что основной причиной потери работоспособности является износ их рабочих поверхностей. Отказ из-за износа в современных машинах достигает 80-90 % от общего количества отказов. Дефекты поверхностей деталей классифицируются по несоответствию размеров (74,9%), формы (19,5%), шероховатости (4,9 %), физико-механических свойств (0,2 %) и нарушению целостности (0,5 %). Наибольшее количество деталей (возле 83%) имеет износ до 0,6 мм, основная часть которых приходится на цилиндрические поверхности - 52%. При большом разнообразии условий работы деталей наиболее нагруженным у них является поверхностный слой. Поэтому реальный ресурс работы машины зависит от несущей способности поверхностей дета-

лей, которая определяется качеством их поверхностного слоя. Качество поверхностного слоя, в свою очередь, зависит от технологии его формирования, поэтому анализ методов нанесения покрытий на поверхности трения деталей машин является актуальным и своевременным.

Постановка проблемы. На этапе ремонта и модернизации изделий возникает необходимость их разборки до вышедшей из строя детали [3,8]. Известно, что полная разборка оборудования при ремонте или модернизации – одна из нежелательных операций, так как даже при самой квалифицированной сохранной разборке нарушаются сопряжение приработанных деталей и нормальный натяг в пазах с неподвижными посадками [7]. Поэтому перед разборкой оборудования важно определить объективную потребность выполнения работ.

Поиску оптимальной последовательности разборки посвящен ряд концепций таких как [1,4,5,6]: Диаграмма последовательности сборки, которая позволяет выполнить анализ на возможность/невозможность присоединения детали на этапе узловой сборки; И/ИЛИ граф, устанавливающий условия предшествования между деталями; Граф связи, который описывает взаимосвязь и ограничение на перемещение сопрягаемых деталей; Неориентированный граф препятствий, определяющий природу блокирования перемещений деталей, используя понятие разбиения графа; Концепция геометрических ограничений, учитывающая простоту разборки. Кроме этого широкое применение для формализации генерации последовательностей разборки и сборки вызвало их представление в виде сетей Петри [2]. Основная проблема вышеуказанных подходов состоит в том, что они ориентированы только на геометрические объекты без учета технологической специфики их разборки. С этой целью предлагается адаптировать метод сохранной разборки, получивший название «Распространение Волны Разборки», суть которого состоит в определении последовательности частичной разборки минимизированной по количеству отделяемых от изделия элементов, для специфических условий эксплуатации оборудования [4,5]. Адаптация вышеприведенного метода состоит в 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 [3]. Таким образом, реализуется концепция ресурсосберегающей частичной разборки изделия до детали, рабочая поверхность которой требует восстановления и/или упрочнения.

Следующим этапом является формализация процесса поиска рационального варианта комбинированных технологий, позволяющих создать поверхностный слой детали с заданными эксплуатационными свойствами.

Методика решения. Исходя из специфики работы деталей, формируются требования к их рабочим поверхностям, для обеспечения которых необходимо подобрать методы упрочнения.

Так как задача выбора технологии повышения качества рабочих поверхностей деталей машин 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:

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

где P_0 – решение задачи; P_i – элемент решения.

Таким образом, происходит отсев всех ва-

риантов, которые не обеспечивают необходимые требования (тупиковые варианты). Оставшуюся совокупность вариантов реализации задачи повышения качества рабочих поверхностей представляем в виде графа (рис. 1). Граф является ориентированным, его вершина P_0 – решение задачи, уровни графа соответствуют этапам решения, т.е. необходимой совокупности задействованных методов из возможных « m » вариантов комбинаций. Узлы графа – методы достижения необходимых требований на каждом этапе. Ребрами графа являются технологии, позволяющие реализовать конкретный метод. Начало решения задачи (исток) – «висячая» вершина графа, т.е. нижний уровень разбиения задачи.

Таким образом, граф состоит из ветвей решений, т.е. множества узлов $R(P_i)$ графа достижимых из вершины P_0 , для которых, согласно матрицы достижимости R , каждый элемент P_i равен 1.

Так как вершина графа P_0 , которая достижима из P_i , может быть достигнута с использованием пути длиной в 1, 2, ..., m этапов, то множество вариантов решения задачи можно представить в виде:

$$R(P_i) = \Gamma\{P_i\} \cup \Gamma^2\{P_i\} \cup \dots \cup \Gamma^{m-1}\{P_i\} \cup \Gamma^m\{P_i\}$$

где $\Gamma\{P_i\}$ – множество вершин графа, для которых существуют дуги (P_i, P_0) . При этом необходимое условие формирования множества:

$$\{P_0\} = \bigcup \{P(j) \mid P(j) - \text{висячая вершина графа}\}.$$

Поиск решений завершается тогда, когда будут рассмотрены все висячие вершины. Ранжирование вариантов решений происходит в зависимости от длины пути (количества этапов).

Задача структурной оптимизации (минимизации количества применяемых методов) в данном случае:

$$P_0^{opt} = \lim_{m \rightarrow 1} \{P_0\},$$

при соблюдении требований по качеству:

$$Q = \text{extr} \{f_0(x, \omega) \mid x \in D\},$$

где Q – функция качества; $f_0(x, \omega)$ – критерий оптимизации; x – управляемый параметр; ω – постоянный параметр процесса; D – область рациональных значений x .

Применение данной методики для параметрической оптимизации приемлемо при сопоставимых затратах на реализацию методов. Однако в реальных условиях производства себестоимость методов существенно отличается друг от друга, кроме того дисбаланс вносит стоимость материала. Поэтому задачу параметрической оптимизации целесообразно решать в виде графа направленного выбора технологий [8], реали-

зуюмого n -м количеством методов.

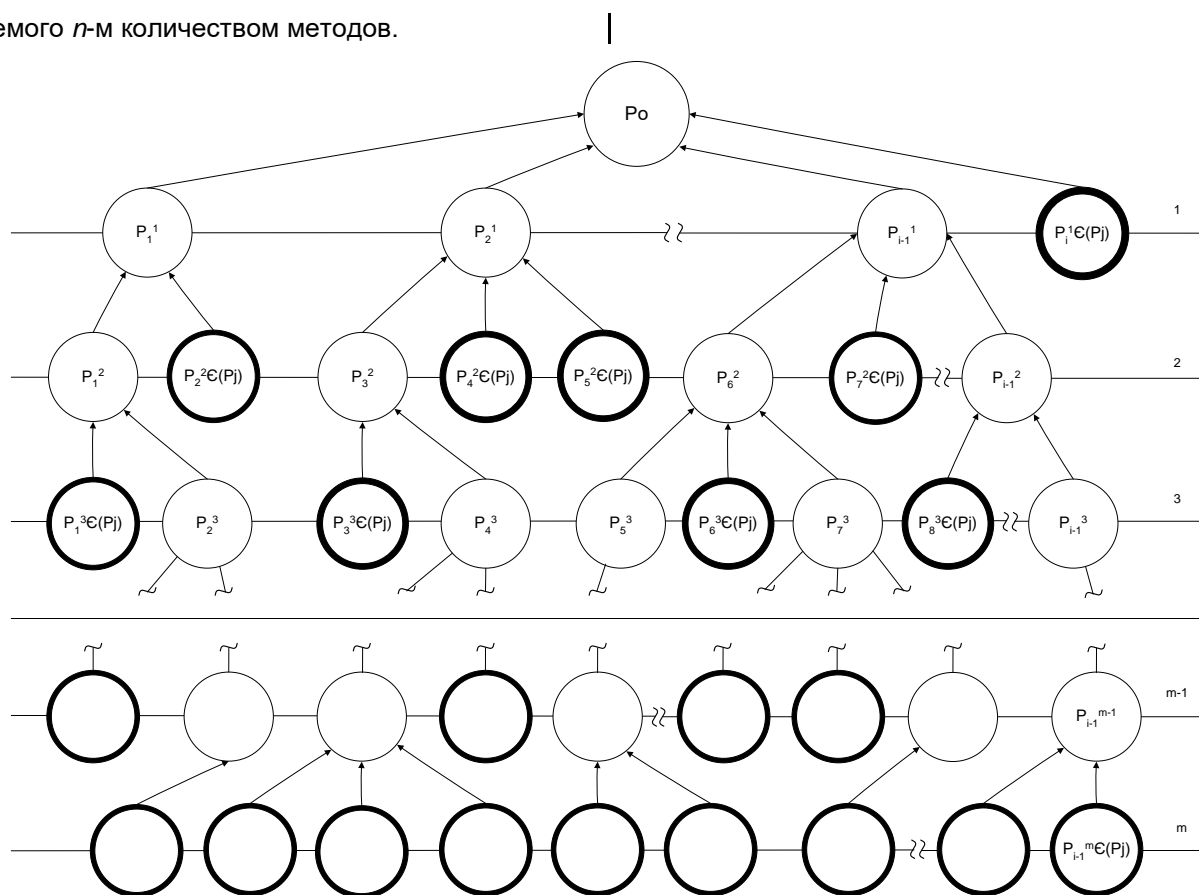


Рис. 1. Граф реализации задачи (дерево решений).

В этом случае математическая модель процедуры направленного выбора представляется в виде гиперкуба, набор плоскостей которого соответствует методам достижения качества,

а сами плоскости представляют собой матрицы средств технологического оснащения и соответствующие им матрицы режимов обработки (рис. 2)

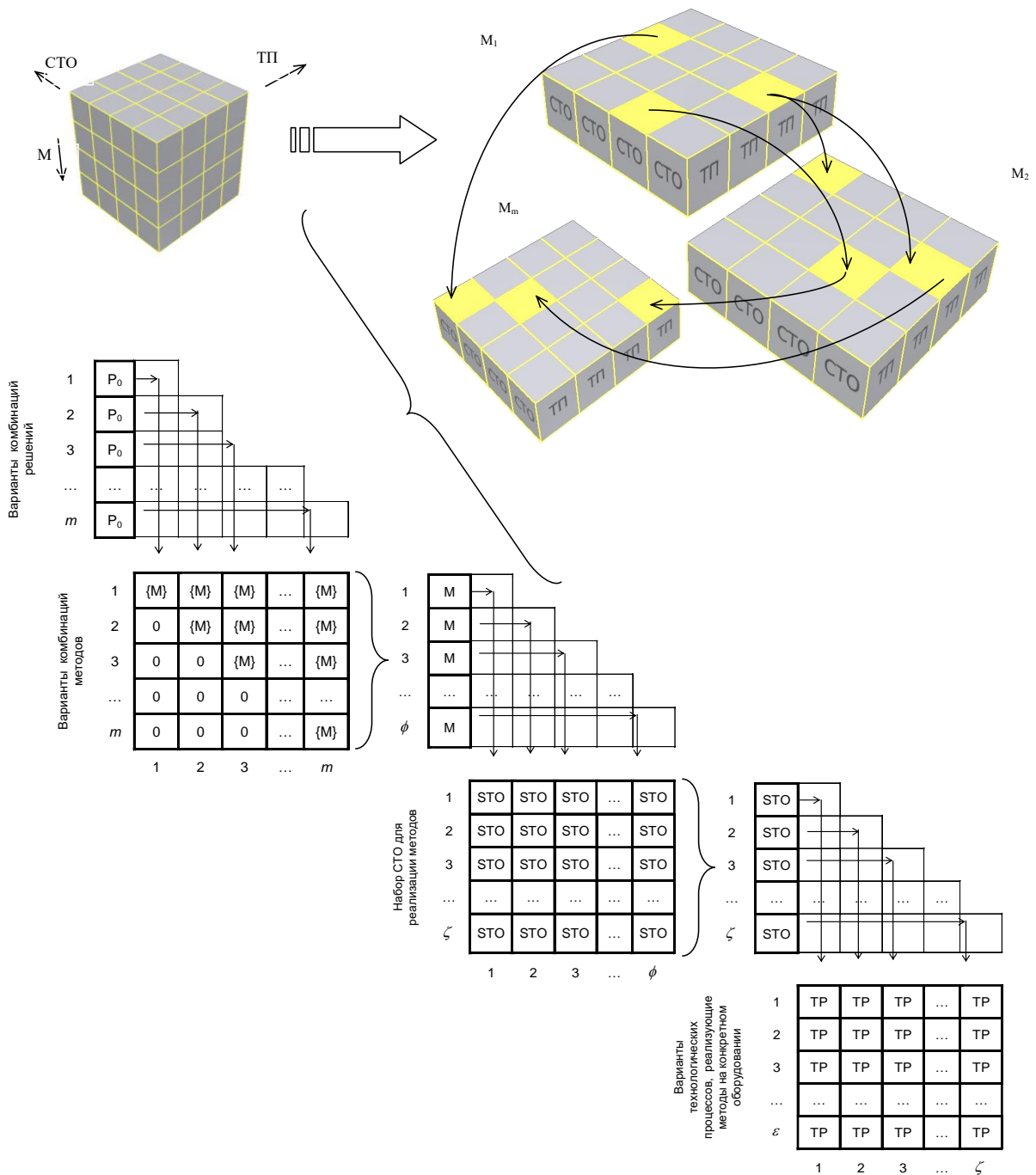


Рис. 2. Модель выбора технологий.

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

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если существует связь между методами } (M_i, M_j); \\ 0, & \text{если связи нет.} \end{cases}$$

Матрица имеет размерность $n \times m$ по числу анализируемых методов и сложности решения задачи.

Заполнение матрицы происходит постро-

но. Согласно графу реализации задач (рис. 1) строка матрицы соответствует набору методов, а столбец определяет сложность решения задачи (количество этапов). Матрица смежности методов строится под каждую ветвь графа с висячей вершиной. Последняя строка, в которой присутствует «1», соответствует нижнему уровню разбиения задачи.

Согласно матрицы смежности, строим сетевую модель выбора интегрированных технологий (рис. 3). Узлы сети являются методами, отрезки пути соответствуют затратам на реализа-

Этапы решения задачи

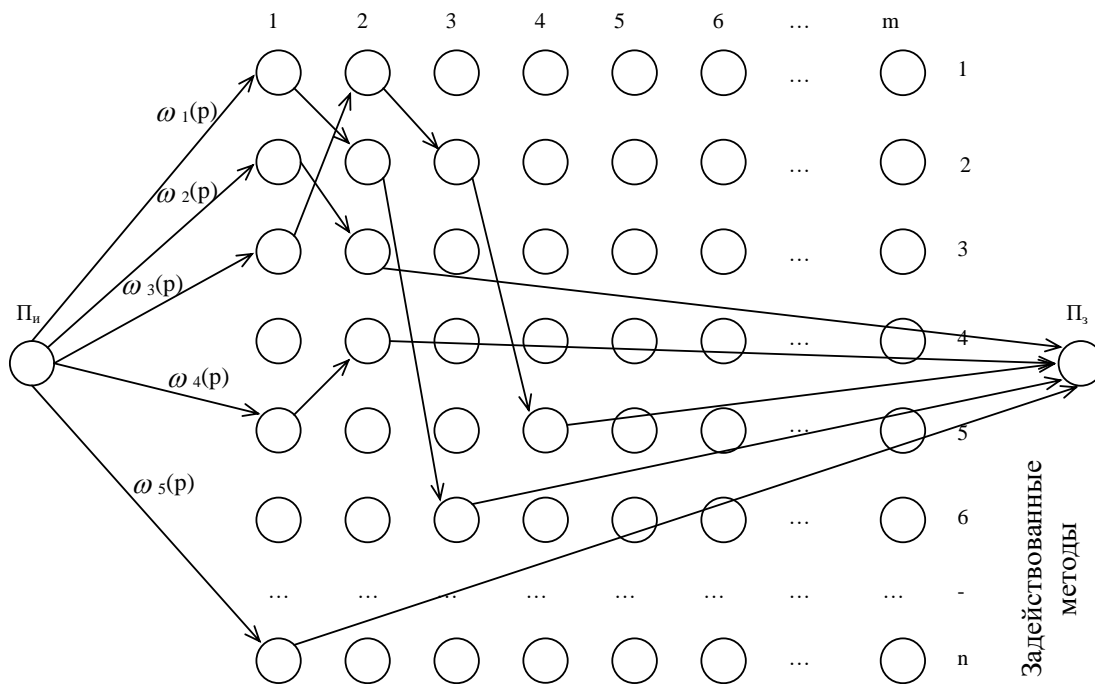


Рис. 3. Сетевая модель выбора технологий.

Направленный выбор интегрированной технологии заключается в определении кратчайшего пути в данной сетевой модели.

Если в качестве весовой функции (ω) принять технологическую себестоимость, отражающую веса на отрезках сети, то весь путь $p = \langle v_0, v_1, \dots, v_k \rangle$ будет равен сумме входящих в него ребер:

$$\omega(p) = \sum_{i=1}^k \omega(v_{i-1}, v_i)$$

В данном случае вес кратчайшего пути из истока Π_n в сток Π_3 будет определяться соотношением:

$$\delta(\Pi_n, \Pi_3) = \begin{cases} \min \{ \omega(p) : \Pi_n \xrightarrow{p} \Pi_3 \} & \text{если есть путь } \Pi_n \rightarrow \Pi_3 \\ \infty & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Оптимизационная задача решается методом линейного программирования. При этом критерий оптимизации будет:

$$\omega = f(\alpha, \lambda)$$

где α – управляемый параметр, который зависит от метода (энергия разряда, подача, частота вращения шпинделя и т.д.); λ – набор технологических ограничений таких, как

- шероховатость поверхности, мкм;
- глубина упрочненного слоя, мм;
- твердость поверхности трения, HV.

Результаты исследований. На технологическом уровне задача решается согласно выражению (необходимое условие):

$$\exists_{\xi \in \theta} P_{0\xi} = \bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^{\psi} \{ P_i \} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}$$

где $\exists_{\xi \in \theta} P_{0\xi}$ – существующий вариант решения задачи;

$\bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^{\psi} \{ P_i \}$ – совокупность этапов решения задачи;

$\exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi}$ – наличие методов решения задачи на каждом этапе;

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

$\exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}$ – наличие у оборудования необходимых технологических режимов для реализации каждого метода.

При этом множество решений на каче-

ственным уровне будет описываться уравнением (достаточное условие):

$$\forall_{k \in X} P_{0k} = \{P_0 \mid \lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}\},$$

т.е. для всех существующих вариантов решения задачи (совокупности интегрированных технологий) заложенные критерии по качеству процесса должны находиться в области допу-

стимых значений диапазона технологических ограничений по шероховатости поверхности, глубине упрочненного слоя и твердости поверхности трения.

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

$$\{C_{P_0}\} = \bigcup_{k \in X} \{C_{P_0}(k)\} \left| \begin{array}{l} \exists_{\xi \in \theta} P_{0\xi} = \bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^{\psi} \{P_i\} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}, \\ \forall_{k \in X} P_{0k} = \{P_0 \mid \lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}\} \end{array} \right.$$

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

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

Таким образом, оптимальным принимается вариант технологического решения, удовлетворяющий критериям качества процесса, и имеющий минимальную технологическую себестоимость реализации.

Выводы. Основная идея, приведенной в работе концепции, заключается в разработке методологии системного подхода к проектированию высокоэффективных технологических систем, применяемых при реконструкции, модернизации и восстановлении сложных машин.

Предложенная формализованная методика определения рационального варианта технологии нанесения покрытий позволяет выполнить структурно-параметрический синтез процесса формирования покрытия с заданными эксплуатационными свойствами. При этом каждому варианту соответствует массив возможных комбинаций решений, ранжируемый по сложности в зависимости от количества этапов реализации (совокупности примененных методов).

Приведенная система направленного выбора технологии формирования покрытий позволяет обеспечить требуемое качество рабочих поверхностей наиболее экономичными методами.

Список использованной литературы:

1. Beasley, D., and Martin, R.R., 1993, "Disassembly sequences for objects built from unit cubes," Journal of Computer Aided Design, Vol. 25, no. 12, pp. 751-761.
2. C.A. Lakos, From Coloured Petri Nets to Object Petri Nets, Springer Veerlag, Vol. 935, 1995
3. Konoplyanchenko E. Saving disassembly at heavy-duty gas turbine compressor reengineering/ E. Konoplyanchenko, V. Kolodnenko, W. Atalawei // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2015. – №4(1113). – С.104-109.
4. Gadh, R. and Srinivasan, H., 2000, "Assembly and disassembly sequences of components in computerized multi-component assembly models," U.S. Software Utility Patent, P99152US.
5. Gupta S. M. Disassembly of Products/ Gupta S. M., McLean C. R. // Computers and Industrial Engineering.- 1996. -Vol.31(1)- P.225-228.
6. Srinivasan, H., Figueroa, R., and Gadh, R., 1999, "Selective disassembly for virtual prototyping as applied to de-manufacturing," Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 15, No. 3, pp. 231-245.
7. Tarellyk V. Improvement of fixed joints quality by integrated technologies of electroerosive alloying/ V.Tarellyk, B. Antoszewski, Ie. Konoplianchenko, V. Martsynkovskiy// Mechanik, Agenda Wydawnicza SIMP, Warszawa (Poland). – 2015. – Vol. 4 (88). –P.178-183
8. Енергоефективні, альтернативні і енергозберігаючі технології: монографія / В. А. Марцинковський, В. Б. Тарельник, Б. Антошевський, Е. Конопляченко та ін.; Під ред. проф. В. А. Марцинковського і проф. В. Б. Тарельника.- м. Суми: Видавництво «МақДен», 2016.- 320 с.- Рос. мов.

Конопляченко Е.В., Колодненко В.Н., Герасименко В.А., Яременко В.П. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ МАШИН ПРИМЕНЕНИЕМ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МЕТОДИКИ ПОИСКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье приведена формализованная методика определения рационального варианта

технологии нанесения покрытий, которая позволяет выполнить структурно-параметрический синтез процесса формирования покрытия с заданными эксплуатационными свойствами. Предложенная концепция системного подхода позволяет создавать высокоэффективные технологические системы, применяемые при реконструкции, модернизации и восстановлении работоспособности сложных машин.

Ключевые слова: сохранная разборка, формализация, направленный выбор, методы нанесения покрытий, поверхностный слой, упрочнение.

Konoplianchenko Ie.V., Kolodnenko V.N., Gerasimenko V.A., Yaremenko V.P. ASSURANCE QUALITY AT REPAIR AND MODERNIZATION OF COMPLEX MACHINES BY RESOURCE-SAVING AND ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES SEARCH FORMALIZED PROCEDURE

At a stage of complex machines maintenance and repair there is their necessity for disassembly for access to the failed detail or a units. It is known, that full disassembly of the equipment at repair – one of undesirable operations as even at the most qualified safe disassembly interface of the worn-in details and a normal tightness in slots with motionless landings are disturbed. The part of details at disassembly is damaged (inflow, paws, flanges break, edges of bolts, nuts get off, rivets and etc.). Aggregates and the details which are not demanding repair, at all it is not recommended to remove from the equipment because of possible lowering working capacity of machines as a whole. Therefore before disassembly of the equipment it is important to define objective necessity of execution of operations. In real conditions of equipment maintenance can vary not only joints parts type going into it, but also a degree of their effect on an environment (chemical, radiological danger, etc.), that by all means leads to change of a set of the methods involved at disassembly.

The article provides a formalized method of determining a rational variant coating technology that allows to make structural and parametric synthesis process for forming a coating with desired performance characteristics. The proposed concept of a systematic approach allows to create high-technology systems used in the reconstruction, modernization and reconstruction of health complex machines.

The basic idea of the concept resulted in operation consists in development of methodology of a system approach to projection of the highly effective technological systems applied at repair and modernizing of complex machines. Practical application of the offered approach will allow to increase quality and safety of special assignment, and introduction of the formalized technique in conditions of real manufacture will allow will increase a level and efficiency of use of available means of complex technological equipment.

Keywords: save disassembly, formalization, directed selection, methods of coating, surface layer, hardening.

Стаття надійшла в редакцію: 11.09.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Кундера Ч.

УДК 621.002.5.52

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕМОНТАЖА
КРУПНОГАБАРИТНЫХ СОСТАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ИХ РЕИНЖИНИРИНГЕ**

В. Т. Лебедь, д.т.н., доцент, Донбасская государственная машиностроительная академия, Украина

В статье рассмотрены вопросы совершенствования технологического процесса реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков, в частности, улучшение процесса базовой операции нагрева бандажей демонтируемых составных прокатных валков. Анализ выполненных результатов теоретических исследований нагрева охватывающих изделий под демонтаж/сборку, а также учет конструктивных особенностей демонтируемого изделия и печи скоростного нагрева позволяют усовершенствовать процесс реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков, относящихся к телам вращения, обеспечивая при этом существенное снижение показателей энергозатрат

Ключевые слова: реинжиниринг, составные крупногабаритные прокатные валки, процесс теплового демонтажа, нагревательные печи, охватывающие и охватываемые детали составных изделий

Анализ последних публикаций и постановка проблемы. Одним из актуальных вопросов совершенствования комплексного процесса реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков (КГСПВ) (рис.1) [1] является

оптимизация процесса нагрева при демонтаже (разборке) такого изделия.

В 60-е годы XX столетия на ряде металлургических комбинатов (Магнитогорском, Новолипецком, Алчевском, «Запорожстали», Мари-