

Коноплянченко Е.В.,
Герасименко В.А.,
Колодненко В.Н.,
Бало П. Н.

Сумской национальный
аграрный университет,
г.Сумы, Украина,
E-mail: konoplyanchenko@ukr.net.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОГО
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА
ЭТАПЕ ЕГО РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ
ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ
СОХРАННОЙ РАЗБОРКИ**

УДК 621.03.004.74:621.03.004.67

В статье рассмотрены современные методики формализации процесса генерации последовательности разборки машин. Указаны проблемы и описаны пути оптимизации частичной разборки на этапе ремонта и модернизации оборудования. Приведена методология системного подхода к проектированию высокоэффективных технологических систем, применяемых при ремонте и модернизации машин, которая учитывает последствия эксплуатации изделий и степень их остаточного влияния на окружающую среду.

***Ключевые слова:** ремонт, модернизация, направленный выбор технологий, сохранный разборка, надежность.*

Актуальность проблемы. Разборка - это комплекс операций, имеющих целью разъединение объектов ремонта на сборочные единицы и детали, в строго определенной технологической последовательности. При этом главной задачей разборки является разъединение сопряженных деталей, дающее экономически целесообразное сохранение их годности, разбираемой сборочной единицы и самого изделия.

Анализируя структуру соединений деталей при сборке изделий в машиностроении можно сделать вывод: в машинах присутствуют 30-40% соединений типа цилиндрический вал – втулка, 15-20% - плоскостных, 15-25% резьбовых, 6-7% конических, 2-3% сферических и др. Все эти соединения характеризуются различными конструктивными, технологическими и экономическими факторами: степенью относительной подвижности, возможностью разборки, технологичностью в сборке и демонтаже, затратами труда и средств на сборку и т.д. Количество разъемных соединений в современных машинах составляет 65-85% от общего их количества. Эти соединения, могут быть полностью разобраны без повреждения соединяемых деталей. Остальные соединения относятся к группе неразъемных, хотя в условиях эксплуатации и ремонта машин они подвергаются разборке. Процесс разборки в этом случае значительно усложняется, так как одна или обе соединяемые детали после разборки оказываются непригодными [1].

Постановка проблемы. Анализ современных технологий ремонта техники показывает значительную разность уровня технологического оснащения и технологий, которые используются на промышленном и ремонтном предприятиях. Сложность решения задач высока в связи с тем, что оригинален не только путь к месту дефекта, но и технология восстановления вышедшего из строя элемента машины. Это связано со случайностью появления дефекта по причине различной надежности составных частей машины. [2].

Известно, что полная разборка оборудования при ремонте или модернизации – одна из нежелательных операций, так как даже при самой квалифицированной сохранный разборке нарушаются сопряжение приработанных деталей и нормальный натяг в пазах с неподвижными посадками [3]. Часть деталей при разборке повреждается (ломаются приливы, лапки, фланцы, сбиваются грани болтов, гаек, разрушаются шплинты, заклепки и т. п.). Агрегаты и детали, не требующие ремонта, вообще не рекомендуется снимать с оборудования из-за возможного снижения работоспособности машин в целом. Поэтому актуальным является вопрос оптимизации пути доступа до вышедшего из строя

узла или изношенной детали, а также обоснование объективной потребности в выполнении работ по восстановлению их работоспособности [2].

При формализации решения задачи определения последовательности разборки изделия необходимо разработать ее математическую модель, выбрать критерий оптимизации, разработать систему показателей, которые ограничивают перебор множества вариантов, разработать метод решения задачи, представить его математически, алгоритмически и программно.

Иногда в практике производств при определении последовательности разборки используется технологическая схема сборки изделия. В большинстве же случаев работа выполняется на основе опыта и интуиции технолога. Технологическая схема сборки изделия многовариантна, зависит от ряда факторов и используемых критериев оптимизации [4]. Тогда и процесс разборки будет направлен тем же путем. Однако условия разборки, а затем и сборки на ремонтном предприятии и предприятии-производителе изделия могут значительно отличаться. Проблема не только в наличии необходимых средств технологического оснащения, но и в стоимости отдельных деталей и сборочных единиц, вероятности бездефектной разборки сборочных соединений, квалификации ремонтного персонала, стоимости сборочных операций по обеспечению заданной точности, герметичности и т.п. Поэтому правильный выбор пути подхода к сборочному элементу или детали, которая вышла из строя, значительно повлияет на работоспособность отремонтированного оборудования и соответственно – на стоимость технологического процесса ремонта.

В зарубежной литературе при формализации процесса частичной разборки изделий используют метод полусфер Гаусса [5], которым определяют допустимые направления векторов перемещения детали изделия в свободном пространстве. В работах [6 – 8] предложен подход к генерации последовательности разборки, основанный на использовании геометрического описания компонентов изделия, матриц препятствий и контактирования, топологического описания поверхностей компонентов и правил, применения «И-ИЛИ» графов, графов связей и сетей Петри. Широкое применение для формализации генерации последовательностей разборки нашел метод получивший название «Wave Propagation» (Распространение Волны), суть которого состоит в определении последовательности частичной разборки, минимизированной по количеству отделяемых от изделия элементов, для специфических условий эксплуатации оборудования [9 – 11]. Данным подходом решаются две задачи: - построение волны разборки, для определения топологии доступа к детали, до которой необходимо выполнить разборку; - определение точек пересечения волн разборки для формирования множества вариантов последовательности разборки изделия.

Методика исследований. Основная проблема вышеуказанных подходов состоит в том, что они ориентированы только 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. Адаптация данных методик 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 [1]. При этом изделие, с точки зрения технологии разборки, представляется совокупностью видов соединений, входящих в него деталей. А период эксплуатации изделия, представляется как функция, зависящая от ряда факторов: – времени эксплуатации; – условий эксплуатации; – 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.).

Так как задача поиска рационального пути доступа до отказавшей детали 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 вариантов, которые не обеспечивают необходимые требования (тупиковые варианты).

Оставшуюся совокупность вариантов реализации задачи доступа до отказавшей детали 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 .

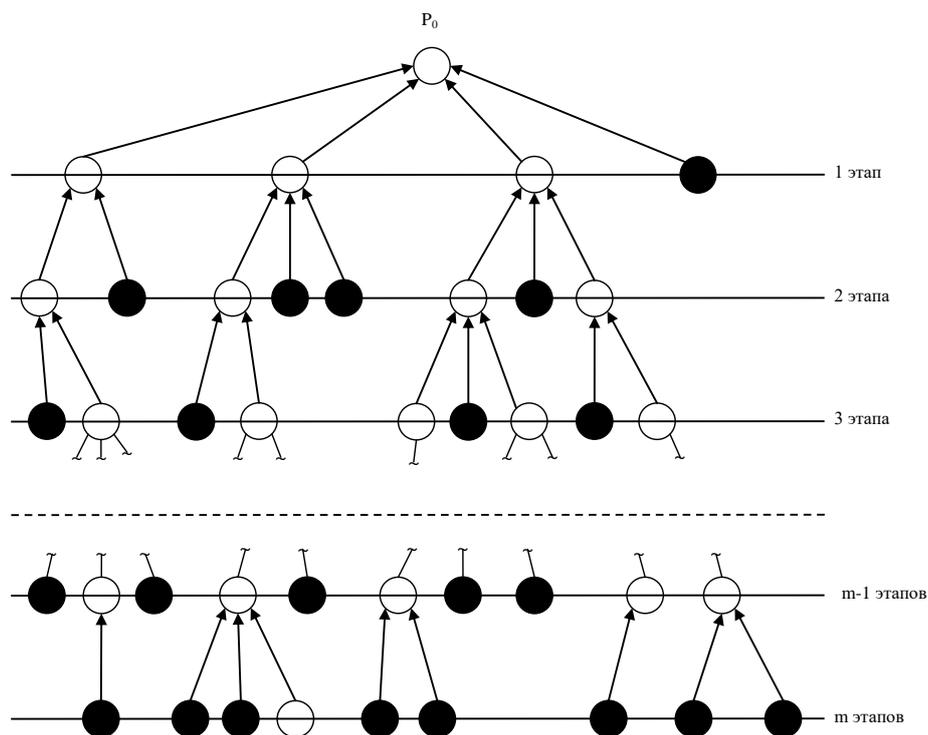


Рис. 1 – Граф реализации задачи (дерево решений).

В этом случае математическая модель процедуры направленного выбора задействованных методов 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) [12].

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 качественном уровне будет описываться уравнением (достаточное условие):

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

т.е. для всех существующих вариантов решения задачи (совокупности комбинированных технологий) заложенные критерии по качеству процесса должны находиться в области допустимых значений диапазона технологических ограничений.

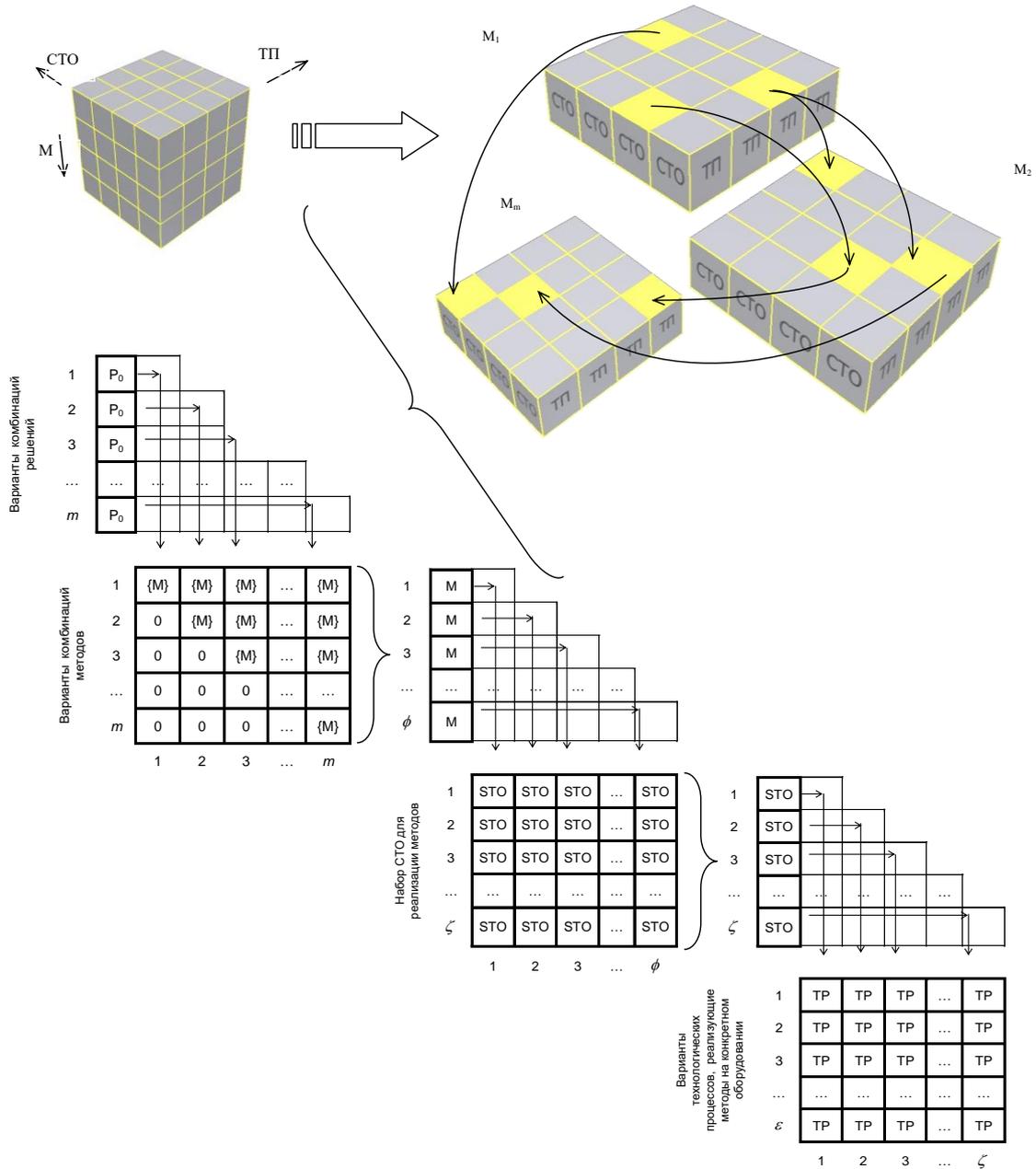


Рис. 2 – Модель выбора технологий

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

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

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

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

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

Выводы. Применение предлагаемого подхода позволит повысить качество и надежность процесса ремонта и модернизации сложного оборудования, а внедрение формализованной методики в условиях реального производства позволит повысить уровень и эффективность использования имеющихся средств технологического оснащения. Предложенная методика определения рационального варианта технологии доступа до отказавшей детали позволяет выполнить структурно-параметрический синтез процесса «сохранной» разборки изделия. 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 технологий разборки позволяет обеспечить требуемое качество и надежность ремонта и модернизации сложной техники наиболее экономичными методами.

Литература:

1. Коноплянченко Е. К вопросу обеспечения качества ремонта оборудования направленным выбором технологии его разборки// VI Konferencja Naukowo-Techniczna TEROTECHNOLOGIA 2009 Targi -Kielce, 29-30 - wrzesnia 2009 (Польша). – С.188-195
2. Коноплянченко Є.В. Особливості застосування часового резервування при забезпеченні надійності складних систем/ Коноплянченко Є.В., Чибіряк Я.І., Колодненко В.М.//Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - 2017. – № 8. - С. 21-28.
3. Tarelnyk V. Improvement of fixed joints quality by integrated technologies of electroerosive alloying/ V. Tarelnyk, B. Antoszewski, Ie. Konoplianchenko, V. Martsynkovskiy// Mechanik, Agenda Wydawnicza SIMP, Warszawa (Poland). – 2015. – Vol. 4 (88). –P.178-183
4. Konoplyanchenko, E. Rational syntheses of technological processes of assembly [Text] / E. Konoplyanchenko, N. Zakharov, O. Radchuk, V. Yaremenko // Technical Papers of ISA: Integrated Manufacturing Solutions Real-Time Manufacturing Strategies. – 2002. – Vol. 432. – P. 109–118.
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. H.C. Yi, B. Yu, L. Du, C. Li, D. Hu, A study on the method of disassembly time evaluation of a product using work factor method. Proceedings of the 2003 IEEE International Conferences on Systems. Man. Cybernetics (2003), pp. 1753-1759.
7. C.A. Lakos, From Coloured Petri Nets to Object Petri Nets, Springer Verlag, Vol. 935, 1995
8. Ивахненко А.Г., Олейник А. В. Генерация последовательностей разборки изделий для повторного использования и переработки// Моделирование систем. - №1(5), 2003- С.33-40.
9. Gadh, R. and Srinivasan, H., 2000, “Assembly and disassembly sequences of components in computerized multi-component assembly models,” U.S. Software Utility Patent, P99152US.
10. 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.
11. 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.
12. Енергоєфективні, альтернативні і енергозберігаючі технології: монографія/ В. А. Марцинковський, В. Б. Тарельник, Б. Антошевський та ін.; під ред. проф. В. А. Марцинковського і проф. В. Б. Тарельника. – м. Суми: Видавництво «МакДен», 2016. – 320 с.

Summary

Konopliachenko Ie.V., Gerasimenko V.A., Kolodnenko V.N. Balo P.N. Providing reliability of complex production equipment at the stage of its repair and modernization by the use of saved disassembly technology

The article considers modern methods of formalizing the process of generating the sequence of disassembly of machines. Problems are described and ways of optimization of disassembly during the stage of equipment repair and upgrade are described. Offered the new approach, which considers consequences of maintenance of the complex equipment. The product, from the point of disassembly technique, view is represented as set of parts joints that going into it. Thus the period of product maintenance is represented as the function that depending from of some factors. The factor of time – for long time of parts maintenance even in normal conditions occurs change of an aspect of the connection, linked for example, to wear of pairs abrasion, change of parts physical properties being in contact (drying of rubber seals, contact surface magnetization and etc.). The maintenance conditions factor – effect of an excited environment, a dust content of a working area, effect of a heat, heavy loadings, maintenance in hard radiation conditions (heightened radiation), etc. The factor of a degree of residual effect on an environment – defines a degree of consequences of unfavorable maintenance conditions effect any product as a whole, and details going into it in particular (explosion hazard, residual radiation, biological danger, etc.). All the above-stated factors influence, separately and in the set, not only on transformation of joints aspects, but also on generation of sequence of selective product disassembly up to the costing parts. Besides the choice of industrial conditions on repair shop and means of technological equipment also depends on a combination of their influence.

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 machines. Practical application of the offered approach will allow to increase quality and safety of complex machines, and introduction of the formalized technique in conditions of real manufacture will allow increase in level of efficiency and the use of available means of complex technological equipment.

Keywords: repair, modernization, directional choice of technologies, safe disassembly, reliability.

References

1. Konopljanchenko E. K voprosu obespechenija kachestva remonta oborudovanija napravlennym vyborom tehnologii ego razborki// VI Konferencija Naukowo-Techniczna TERO-TECHNOLOGIA 2009 Targi -Kielce, 29-30 - wrzesnia 2009 (Pol'sha). – S.188-195
2. Konopljanchenko E.V. Osoblivosti zastosuvannja chasovogo rezervuvannja pri zabezpechenni nadijnosti skladnih sistem/ Konopljanchenko E.V., Chibirjak Ja.I., Kolodnenko V.M.//Tehnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv. - 2017. – № 8. - S. 21-28.
3. Tarelnyk V. Improvement of fixed joints quality by integrated technologies of electroerosive alloying/ V. Tarelnyk, B. Antoszewski, Ie. Konoplianchenko, V. Martsynkovskiy// Mechanik, Agenda Wydawnicza SIMP, Warszawa (Poland). – 2015. – Vol. 4 (88). –P.178-183
4. Konoplyanchenko, E. Rational syntheses of technological processes of assembly [Text] / E. Konoplyanchenko, N. Zakharov, O. Radchuk, V. Yaremenko // Technical Papers of ISA: Integrated Manufacturing Solutions Real-Time Manufacturing Strategies. – 2002. – Vol. 432. – P. 109–118.
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. H.C. Yi, B. Yu, L. Du, C. Li, D. Hu, A study on the method of disassembly time evaluation of a product using work factor method. Proceedings of the 2003 IEEE International Conferences on Systems. Man. Cybernetics (2003), pp. 1753-1759.
7. C.A. Lakos, From Coloured Petri Nets to Object Petri Nets, Springer Veerlag, Vol. 935, 1995
8. Ivahnenko A.G., Olejnik A. V. Generacija posledovatel'nostej razborki izdelij dlja povtornogo ispol'zovanija i pererabotki// Modelirovanie sistem. - №1(5), 2003- S.33-40.
9. Gadh, R. and Srinivasan, H., 2000, "Assembly and disassembly sequences of components in computerized multi-component assembly models," U.S. Software Utility Patent, P99152US.
10. 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.
11. 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.
12. Energoefektivni, al'ternativni i energozberigajuchi tehnologii: monografija/ V. A. Marcinkovs'kij, V. B. Tarel'nik, B. Antoshevs'kij ta in.; pid red. prof. V. A. Marcinkovs'kogo i prof. V. B. Tarel'nika. – m. Sumi: Vidavnictvo «MakDen», 2016.- 320 s.