

УДК 658. 512

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

В.Б. Богуцкий

## AUTOMATED DESIGN SYSTEM FOR FIXTURES TO METALWORKING MACHINES

V.B. Bogutsky

**Аннотация.** Показано, что процесс конструирования приспособлений для металлорежущих станков во многом является одним из важнейших этапов в производстве и одним из перспективных путей интенсификации процесса является разработка и внедрение систем для ее автоматизированного проектирования. Предложена структура автоматизированной системы проектирования приспособлений для металлорежущих станков, которая выполняет процессы предварительного анализа, синтеза и проработки конструкции, проведения необходимых расчетов и возможную доработку новой конструкции на основе использования базы формализованных логических правил, приемов проектирования и знаний опытных конструкторов.

**Ключевые слова:** приспособления для металлорежущих станков; система автоматизированного проектирования; алгоритм работы; база знаний опытных конструкторов.

**Abstract.** It is shown that the process of designing fixtures for metalworking machines is largely one of the most important stages in production and one of the promising ways to intensify the process is the development and implementation of systems for its computer-aided design. Proposed the structure of the automated computer-aided design system of fixtures for metalworking machines that performs the process of preliminary analysis, synthesis and elaboration of the design, perform the necessary calculations and possible revision of a new design based on the use of a database of formalized logical rules, methods of design and knowledge of experienced designers.

**Key words:** fixtures for metalworking machines; computer-aided design system; algorithm of work; knowledge base of experienced designers.

### Введение

В современных условиях рынка предприятие должно гарантировать качество выпускаемой продукции, совершенствовать ее потребительские свойства, предлагать принципиально новые образцы и сокращать время, необходимое для появления продукции на рынке за счет повышения производительности процессов.

Как показано в [1-3 и др.], за последние двадцать лет были сделаны значительные улучшения в области проектирования станков и технологий обработки. Тем не менее, на конечную производительность процесса обработки влияет вся технологическая система, состоящая из заготовки, применяемой технологии, оборудования, инструмента и приспособления для базирования и закрепления заготовок. В качестве неотъемлемой части этой цепочки приспособление играет важную роль в прямом воздействии на производительность и точность производственного процесса. Приспособление должно обеспечивать требуемую ориентацию и положение заготовок жесткий и точный зажим детали, для эффективной и точной обработки. Точность конструкции приспособления во многом является критичной для качества обрабатываемых деталей. Согласно [4, 5 и др.] около 40% отбракованных деталей в основном отбраковываются из-за погрешностей вызываемых приспособлением.

Процесс конструирования приспособления для механической обработки во многом основывается на индивидуальных знаниях и опыте конструктора и является одним из важнейших этапов в производстве. За достаточно короткий период конструктор должен обеспечить ее экономические свойства (трудоёмкость работ на проектирование составляет от 50

н/часов до нескольких тысяч) с учетом технических критериев: точности, правильности функционирования, надежности, технологичности, стандартизации и унификации элементов и др.. Такая постановка задачи требует от конструкторов значительного опыта в решении подобных проблем и приводит к значительному увеличению сроков и затрат на цикл проектирования. Затраты, связанные с проектированием, изготовлением и эксплуатацией приспособления, составляют 10...20% от общих затрат при производстве [6 и др.]. Обеспечение снижения затрат времени и качества конструирования приспособлений для металлорежущих станков становятся все более актуальными задачами на машиностроительных предприятиях для решения которых необходима автоматизация этого процесса.

Одним из перспективных путей интенсификации процесса конструирования приспособлений является разработка и внедрение систем ее автоматизированного проектирования (CAFD) интегрированных (в рамках PDM-системы) с системами автоматизированного проектирования (CAD/CAM) и с автоматизированными системами управления производством (PLM-системы).

В мировой практике были предприняты различные подходы к автоматизированному проектированию приспособлений для металлорежущих станков: проектирование на основе прототипа (CBR), экспертная система на основе норм (Rule-based ES), генетический алгоритм (GA), мультиагентный подход (MAA), машинное обучение, геометрический анализ и т. д. [7-11 и др.]. Несмотря на то, что в области создания систем автоматизированного проектирования приспособлений сделано достаточно много, следует отметить, что реально применяющиеся на предприятиях системы проектирования, как правило, не учитывают логические правила и приемы проектирования, которыми пользуются (иногда на подсознательном уровне) опытные конструктора [12-14 и др.].

Цель статьи – представить концептуальную структуру системы проектирования приспособлений для металлорежущих станков выполняющую процессы предварительного анализа, синтеза и проработки конструкции, проведения необходимых расчетов и возможную доработку новой конструкции на основе использования базы формализованных логических правил и приемов проектирования опытных конструкторов.

Структура предлагаемой автоматизированной системы проектирования приспособлений для металлорежущих станков показана на рисунке. В её состав входят подсистемы: постановка задачи и создание массива поисковых предписаний (I); автоматизированного поиска конструкторских решений (II); разработки унифицированных и новых конструкций технологической оснастки (III); расчетов конструкций, анализа и доработки рабочих конструкций приспособлений (IV).

### **Структура автоматизированной системы**

Входом в систему является подсистема I включающая в себя сформированный массив технологических характеристик оснащаемых операций (блок 1) и массив выполнения предварительных расчетов (блок 2 – расчеты усилий резания, усилия закрепления, погрешности базирования и т.д.) на основе которых формируется массив поисковых предписаний  $A_{s_i}$  (блок 3) с указанием необходимого количества единиц приспособлений для каждой операции или группы операций.

Подсистема II представляет собой автоматизированную часть системы проектирования, осуществляющую выбор конструкторских решений. Проектированию новых конструкций приспособлений всегда должен предшествовать поиск аналогов, ранее разработанных для обработки деталей, близких по конструкторским и технологическим признакам рассматриваемой детали. В тоже время, процесс конструирования должен основываться на максимальном использовании унифицированных элементов. Это требует от системы автоматизированного проектирования приспособлений, возможности выполнения функций накопления и хранения информации об имеющихся разработках, а также ее выдачи в соответствии с запросами, возникающими при подготовки производства (проектирование нового технологи-

ческого процесса или внесение изменения в действующий). С этой целью, в автоматизированной системе используется информационно-поисковая система, функционирование которой направлено на выполнение задания по поиску и систематизации данных на основе сформулированных логических правил и проектно-поисковых процедур (из альтернативных вариантов выбирается чертеж рабочей конструкции (если имеется в базе), типовая компоновка, схема соединения деталей и сборки в целом.).

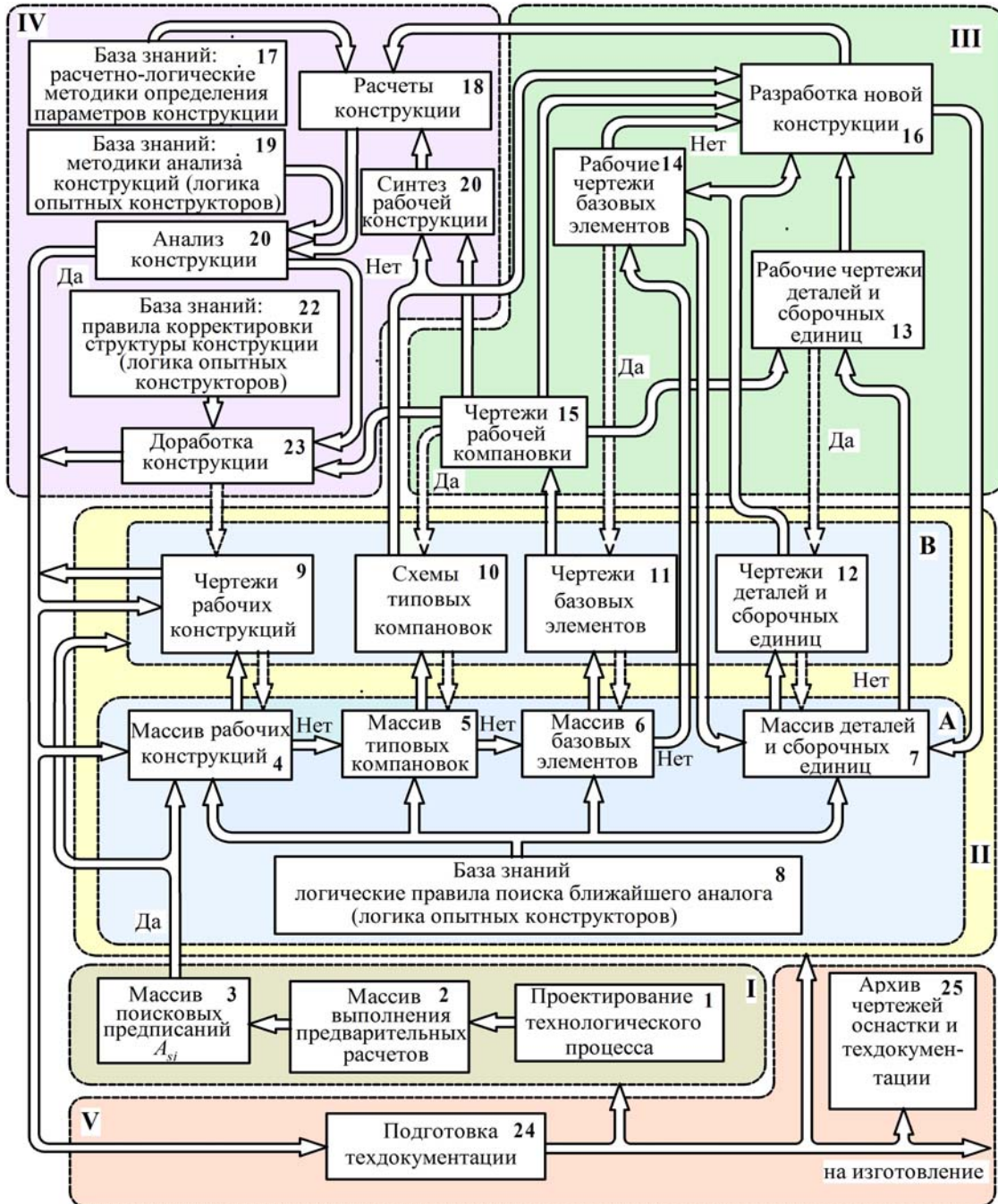


Рисунок – Блок-схема автоматизированной системы проектирования приспособлений для металлорежущих станков.

Для этого массив  $A_{si}$  или отдельные информационные запросы на оснащение операций вводятся в активную часть (зона А) подсистемы с информационной базой (блок 8) содержащей логические правила поиска ближайшего аналога (логика опытных конструкторов оснастки), где по поисковым образам в соответствующих массивах отыскиваются адреса 3-D

моделей и чертежей рабочих конструкций (блок 4), типовых компоновок (блок 5), чертежей базовых элементов (блок 6), их элементов-деталей и сборочных единиц (блок 7).

По выданным активной частью подсистемы адресам, в пассивной части подсистемы II (зона B), роль которой выполняет база 3-D моделей и чертежей оснастки (в базе данных находятся параметрические модели унифицированных конструкций и моделей деталей (чертежи рабочих конструкций □ блок 9, схемы типовых компоновок □ блок 10, чертежи базовых элементов □ блок 11 и блок 12 □ чертежи отдельных деталей и сборочных единиц), а так же, в параметрическом виде, набор связей между деталями), выбираются чертежи конструкций и передаются для анализа и дальнейшей разработки в подсистемы III и IV.

Подсистема III постоянно функционирует, и при текущем, рабочем оснащении производства разрабатываются базовые элементы оснастки (блок 14), формируются на основе базисных частей рабочие компоновки (блок 15), создаются рабочие унифицированные конструкции на базе типовых, при разработке комплексных конструкций постоянно разрабатываются и унифицируются недостающие элементы деталей и сборочные единицы (блок 13). В результате этого подсистемой могут создаваться принципиально новые конструкции оснастки (блок 16), унифицируются прогрессивные технические решения и обобщается опыт проектирования приспособлений, что сокращает время, повышает качество оснащения и совершенствует саму автоматизированную систему, наделяя ее признаками обучающихся и самообучающихся систем.

В подсистеме III разрабатываются как унифицированные, так и новые конструкции приспособлений с последующей стандартизацией наиболее удачных из них и перспективных в применении. В тех случаях, когда в оснащении нуждаются большое число операций, например при освоении производства новых изделий, необходимо дополнительно проводить работы по унификации. Разработка подсистемой унифицированных конструкций при этом осуществляется на базе обобщенных представителей оснащаемых операций, полученных в результате обработки массива  $A_{si}$  и активной части подсистемы II.

Подсистемой IV анализируются и дорабатываются рабочие конструкции приспособлений. На основе базы знаний (блок 17), в которой собраны расчетно-логические методики определения параметров конструкции приспособлений (формулы для производства расчетов и алгоритмы их применимости в зависимости от требований к проектируемому приспособлению: точность, сила зажима, характеристики силового привода и др.), выполняется расчет разработанной конструкции (блок 18), с последующим ее анализом (блок 21) на основе формализованной методики анализа конструкции (блок 19). При необходимости, с учетом результатов анализа и на основе формализованных правил корректировки структуры конструкции (блок 21), выполняется доработка конструкции (блок 23).

В подсистеме V выполняется (под контролем и возможным участием конструктора) оформление рабочих чертежей спроектированного приспособления, 3-D моделей и рабочих чертежей новых деталей, спецификации, схемы сборки и другая техническая документация (блок 24), которая передается в цеха для изготовления деталей, в архив (блок 25) и в пассивную часть подсистемы II.

### **Алгоритм работы автоматизированной системы**

Предлагаемая автоматизированная система работает по следующему алгоритму:

– рабочая конструкция выбирается с помощью автоматизированной части системы из имеющихся в её памяти 3-D моделей и чертежей, поисковые образы которых полностью совпадают с поисковым предписанием. Выданные подсистемой II решения анализирует конструктор. Наиболее рациональное из этих решений выбирают в качестве рабочей конструкции;

– если подсистемой II выдаётся чертеж типовой компоновки из унифицированных элементов (блок 10), рабочая конструкция формируется путем её синтеза из этих элементов. Для этого конструктор в соответствии с размерами обрабатываемой детали составляет поисковые



предписания на выбор элементов, которые не имеют однозначного обозначения в чертеже типовой компоновки. Поисковые предписания вводят в активную часть подсистемы II, в которой производится поиск адресов 3-D моделей и чертежей. Выбранные по выданным адресам чертежи поступают подсистему IV, в которой конструктором осуществляется на их основе синтез рабочей конструкции (блок 20);

– когда подсистемой II выдается чертеж специального приспособления, частично удовлетворяющего информационному запросу, то конструктор в подсистеме III на основе анализа полученного прототипа, формирует рабочую конструкцию, производит необходимые расчеты и создаёт доработанную конструкцию (блок 23). Как и в предыдущем случае, при этом используют конструктивные элементы, имеющиеся в подсистеме II;

– если подсистемой II не выдается положительного решения или выдётся решение, на основе которого в подсистеме невозможна или нерациональна разработка типовой или базисной конструкции, в подсистеме III разрабатывается новая конструкция (блок 16) с использованием элементов содержащихся в массиве подсистемы II. Если необходимые элементы проектируемого приспособления в массиве подсистемы II не содержатся, их разработка введётся в подсистеме III с получением рабочих чертежей деталей и сборочных единиц (блоки 13 и 14).

В процессе проектирования конструктор контролирует все стадии и при необходимости помогает системе, решая некоторые сложные пространственные геометрические задачи на основе подготовленных на предыдущих стадиях данных.

Выбранные одним из рассмотренных способов рабочие конструкции приспособлений поступают на выход и на подготовку чертежей и других документов автоматизированной системы, необходимых для изготовления и эксплуатации.

Взаимосвязь рассмотренных подсистем осуществляется через элементы и массивы посредники, лежащие в областях пересечения подсистем. Такими элементами являются: массив оснащаемых операций (блок 1), в подсистеме I, в подсистемах II- III □ чертежи рабочих конструкций (блоки 4 и 9), разработка новых конструкций (блок 16), анализ конструкций (блок 20) и доработка конструкций (блок 23) в подсистеме IV. Связь подсистем II, III и IV осуществляется по принципу постоянного обращения к поисковым массивам, обеспечивая при этом заданный ход итерационного процесса выбора оснастки и разработки конструкций.

Внешние связи рассмотренной структуры автоматизированной системы проектирования приспособлений для металлорежущих станков определяются структурой современных автоматизированных систем технологической подготовки производства, например, таких как VOGBIT, PDM STEP, Agile, Suite, T-FLEX DOCs, Windchill и др.

## Выводы

1. Применение данного подхода к построению автоматизированных систем проектирования приспособлений для металлорежущих станков ускоряет этот процесс, снижает его трудоёмкость и повышает его качество за счет использования баз знаний.

2. Для реализации предложенной структуры в дальнейшем необходимо сформулировать и формализовать логические правила и проектно-поисковых процедуры поиска ближайшего аналога, расчетно-логические методики расчетов, методики анализа конструкции и правила корректировки структуры конструкции (логика опытных конструкторов оснастки).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Vukelic D., Zuperl U., Hodolic J. Complex system for fixture selection, modification, and design // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009. No.45 (7-8), pp. 731-748. DOI: 10.1007/s00170-009-2014-y.

2. Prabhakaran G., Padmanaban K.P., Krishnakumar R. Machining fixture layout optimization using FEM and evolutionary techniques. International Journal of Advanced Manufacturing

- Technology, 2007. No.32, (11-12). pp.1090-1103. DOI: 10.1007/s00170-006-0441-6.
3. Boyle I., Rong R., Brown D.C. A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2011. No.27, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.rcim.2010.05.008.
  4. Shailesh S. Pachbhai, Laukik P. Raut. A review on design of fixtures // *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2014. V.2. Is.2, pp. 126-146.
  5. Rétfalvi A. Fixture design system with automatic generation and modification of complementary elements for modular fixtures // *Acta Polytechnica Hungarica*, 2015. V.12. No.7, pp. 163-182.
  6. Amy J.C. Trappey, C.R. Liu. A literature survey of fixture design automation // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1990. V.5. Is. 3, pp. 240-255.
  7. Ishikawa Y., Aoyama T. Optimization of fixturing condition by means of the genetic algorithm // *Japan Society of Mechanical Engineers*, 1996. V.62. No.598, pp. 2409-2416.
  8. Wang Hui, (Kevin) Rong Yiming. Case based reasoning method for computer aided welding fixture design // *Computer-Aided Design*, 2008. No.40(12), pp.1121-1132.
  9. Mervyn F., Senthil Kumar A., Nee A.Y.C. Automated synthesis of modular fixture designs using an evolutionary search algorithm // *International Journal of Production Research*, 2005. No.43(23), pp. 5047-5070. DOI: 10.1080/00207540500160904.
  10. Subramaniam V., Senthil Kumar A., Seow K.C. A multi-agent approach to fixture design // *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2001. No. 12(1), pp.31-42.
  11. Xiong C.H., Li Y.F., Rong Y.K., Xiong Y.L. Qualitative analysis and quantitative evaluation of fixturing // *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2002. V.18. No. 5-6, pp. 335-342.
  12. Богуцкий В.Б., Фролов Д.Ю. Интеллектуальное проектирование приспособлений по аналогу // *Современные проблемы теории машин. Материалы VI международной научно-практической конференции*, 2018. № 6. С. 87-88.
  13. Kumar S.A., Subramaniam V., Teck T.B. Conceptual design of fixtures using machine learning techniques // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2000. No.16 (3), pp. 176-181. DOI: 10.1007/s001700050024.
  14. Djordje Vukelic, Goran Simunovic et al.. Intelligent design and optimization of machining fixtures. *Tehnički vjesnik*, 2016. No.23 (5), pp.1325-1334. DOI: 10.17559/TV-20150908142130.

## REFERENCES

1. Vukelic D., Zuperl U., Hodolic J. Complex system for fixture selection, modification, and design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009. No.45 (7-8), pp. 731-748. DOI: 10.1007/s00170-009-2014-y.
2. Prabhakaran G., Padmanaban K.P., Krishnakumar R. Machining fixture layout optimization using FEM and evolutionary techniques. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007. No.32, (11-12). pp.1090-1103. DOI: 10.1007/s00170-006-0441-6.
3. Boyle I., Rong R., Brown D.C. A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2011. No.27, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.rcim.2010.05.008.
4. Shailesh S. Pachbhai, Laukik P. Raut. A review on design of fixtures. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2014. V.2. Is. 2, pp. 126-146.
5. Rétfalvi A. Fixture design system with automatic generation and modification of complementary elements for modular fixtures. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2015. V.12. No.7, pp. 163-182.
6. Amy J.C. Trappey, C.R. Liu. A literature survey of fixture design automation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1990. V.5. Is. 3, pp. 240-255.

7. Ishikawa Y., Aoyama T. Optimization of fixturing condition by means of the genetic algorithm. Japan Society of Mechanical Engineers, 1996. V.62. No.598, pp. 2409-2416.
8. Wang Hui, (Kevin) Rong Yiming. Case based reasoning method for computer aided welding fixture design. Computer-Aided Design, 2008. No.40(12), pp.1121-1132.
9. Mervyn F., Senthil Kumar A., Nee A. Y. C. Automated synthesis of modular fixture designs using an evolutionary search algorithm. International Journal of Production Research, 2005. No.43(23), pp. 5047-5070. DOI: 10.1080/00207540500160904.
10. Subramaniam V., Senthil Kumar A., Seow K.C. A multi-agent approach to fixture design. Journal of Intelligent Manufacturing, 2001. No. 12(1), pp.31-42.
11. Xiong C.H., Li Y.F., Rong Y.K., Xiong Y.L. Qualitative analysis and quantitative evaluation of fixturing. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2002. V.18. No.5-6, pp. 335-342.
12. Bogutskiy V.B., Frolov D. Yu. *Intellectual'noe proektirovanie prisposoblenij po analogu* [Intellectual design technological equipment by analogue]. Modern problems of theory of machines. Proceedings of the VI International scientific-practical conference, 2018. Iss. 6, pp. 87-88.
13. Kumar S.A., Subramaniam V., Teck T.B. Conceptual design of fixtures using machine learning techniques. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000. No.16 (3), pp. 176-181. DOI: 10.1007/s001700050024.
14. Djordje Vukelic, Goran Simunovic et al.. Intelligent design and optimization of machining fixtures. Tehnički vjesnik, 2016. No.23 (5), pp.1325-1334. DOI: 10.17559/TV-20150908142130.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Богуцкий Владимир Борисович*

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры Технология машиностроения.

E-mail: [VBBogutskiy@sevsu.ru](mailto:VBBogutskiy@sevsu.ru)

*Bogutsky Vladimir Borisovich*

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia, candidate of technical sciences, assistant professor of dept. Technology of mechanical engineering.

E-mail: [VBBogutskiy@sevsu.ru](mailto:VBBogutskiy@sevsu.ru)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:  
229053, г. Севастополь, ул. Университетская 33. Богуцкий В.Б.  
+7 (8692) 54-06-67