

**ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**
© 2015

С.Г. Митин, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»
П.Ю. Бочкарев, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов»
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов (Россия)

Ключевые слова: технологическая подготовка производства; автоматизация проектирования; САПР ТП; технологическая операция; многономенклатурное производство.

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности многономенклатурных механообработывающих производственных систем путем комплексной автоматизации технологической подготовки. В результате анализа возможностей современных программных средств автоматизации проектирования выявляются их недостатки и формулируются принципы создания интегрированной системы конструкторского и технологического проектирования, обеспечивающие эффективное взаимодействие на различных стадиях проектирования. В качестве основы для принятия рациональных решений обозначается система автоматизированного проектирования технологических операций, занимающая центральное место в интегрированной системе планирования технологических процессов. В ходе разработки системы автоматизированного проектирования технологических операций формируются подходы к формализации проектных процедур на основе использования математического моделирования. Важной особенностью предлагаемых моделей и методик является учет всей запланированной номенклатуры обрабатываемых деталей и ориентация на текущее состояние производственной системы. Для процедуры генерации комплектов технологической оснастки описывается модель с применением сетей Петри, которая позволяет сформировать множество возможных вариантов режущего и вспомогательного инструмента для всей запланированной номенклатуры обрабатываемых деталей. Отсев нерациональных вариантов предлагается осуществлять по критерию однородности, который обеспечивает инвариантность структур операций. Для моделирования процедуры генерации возможных последовательностей технологических переходов используется теория графов. Моделирование процедур выбора рациональных комплектов оснастки и структур операций осуществляется совместно. Для этого предлагается использование аппарата динамического программирования, в результате чего оптимизируется система в целом и отсутствует необходимость перебора всех возможных вариантов. Критериями оптимизации являются суммарное время обработки всех запланированных деталей и количество смен инструмента. В заключении статьи определяются пути дальнейшего развития и применения разрабатываемой системы.

В условиях рыночной экономики для повышения эффективности предприятий машиностроения на первый план выходит задача увеличения производительности и сокращения длительности производственного цикла, большую часть которого в многономенклатурном производстве составляют затраты времени на конструкторско-технологическую подготовку [1]. Развитие новых направлений технологии машиностроения, которые позволят выйти на создание конкурентоспособной промышленности является актуальной задачей [2]. Повышение конкурентоспособности машиностроительного производства связано не только с разработкой прогрессивных технологических процессов (ТП) и методов механической обработки, но и с созданием эффективной системы технологической подготовки производства (ТПП), которая способствует использованию новых технологий и обеспечивает автоматизированное проектирование технологических процессов механической обработки с целью сокращения затрат времени и рационализации проектных решений.

Анализ мировых тенденций в области автоматизации планирования технологических процессов [3; 4] и возможностей современных программных продуктов автоматизации ТПП показал, что за последние десятилетия удалось существенно ускорить разработку ТП на основе новых подходов к формализации проектирования [5–13] и упростить разработку технологической документации за счет введения электронного докумен-

тооборота и обеспечения взаимодействия между конструкторской и технологической системами автоматизированного проектирования.

Однако на данный момент автоматизированы этапы, которые легко поддаются формализации, например, расчет режимов обработки, трудовое и материальное нормирование, заполнение технологической документации. Вместе с тем остаются нерешенными задачи автоматизации творческого характера, например, формирование маршрута обработки деталей, выбор оборудования и технологической оснастки, разработка структуры технологической операции.

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) предоставляют лишь удобную среду для работы с базой данных аналогов ТП и справочной информацией об оборудовании и технологической оснастке, а проектирование ТП выполняет технолог, который принимает решения, основываясь на субъективном опыте. Кроме того, существующие САПР не имеют возможности учитывать особенности каждого конкретного предприятия и не позволяют оперативно реагировать на изменение условий производства.

Выход из этой ситуации видится в создании системы сквозного автоматизированного проектирования, которая на любом из этапов подготовки производства может ориентироваться на возможности конкретной производственной системы и позволяет принимать рациональные решения задач проектирования в короткие

сроки [14]. На данный момент эта задача является актуальной и нерешенной в полной мере. Одним из путей ее решения является создание интегрированной системы автоматизированного планирования технологических процессов (ИСАППП).

На этапе разработки конструкции изделий ИСАППП путем анализа технологических возможностей конкретной производственной системы обеспечивает конструктору информационную поддержку при назначении требований точности и качества поверхностей деталей, способствующих рациональному использованию технологических возможностей [15].

При формировании комплекта обрабатываемых деталей ИСАППП оценивает производственную технологичность всего комплекта и дает рекомендации по изменению конструкции деталей или состава комплекта деталей, запланированного к обработке в рассматриваемой производственной системе, с целью повышения эффективности работы производственной системы [16].

Разработка ТП состоит из этапов, каждый из которых формализован: формирование оптимальных планов обработки деталей [17]; формирование комплекта технологических баз и кортежей технологических переходов [18]; разработка технологических операций механической обработки, где предлагаются многовариантные решения задач проектирования и существует возможность выбора рациональных вариантов структур операций, оборудования, технологической оснастки, режимов обработки в зависимости от складывающейся производственной ситуации [19].

В структуре ИСАППП центральное место занимает система проектирования технологических операций механообработки (рис. 1). Это связано с тем, что для обеспечения взаимодействий на указанных выше уровнях необходимо быстро оценить, как те или иные решения повлияют на технологию изготовления, а следовательно, для различных исходных параметров необходимо разработать варианты технологических операций и выбрать из них наиболее эффективный для реализации.

В рамках создания системы автоматизированного проектирования технологических операций нами проведены работы по формированию состава и формализации проектных процедур проектирования технологических операций, выполняемых на различных группах оборудования [20]. Наиболее важные проектные процедуры и модели для их формализации представлены на рис. 2.

Модель процедуры формирования комплектов технологической оснастки построена с применением аппарата сетей Петри. Множества мест отражают различные варианты сочетаний типоразмеров оснастки. События определяют наличие или отсутствие возможности обработки с помощью того или иного варианта оснастки на каждом технологическом переходе. Спроектированная сеть Петри состоит из нескольких уровней, на каждом из которых проверяется соответствие различных параметров, в результате чего генерируются возможные варианты технологической оснастки. Из сформированного множества производится отсев нерациональных



Рис. 1. Подсистема проектирования технологических операций в составе ИСАППП:

1 – разработка принципиальных схем обработки элементарных поверхностей деталей, 2 – формирование кортежей технологических переходов, 3 – выбор технологического оборудования

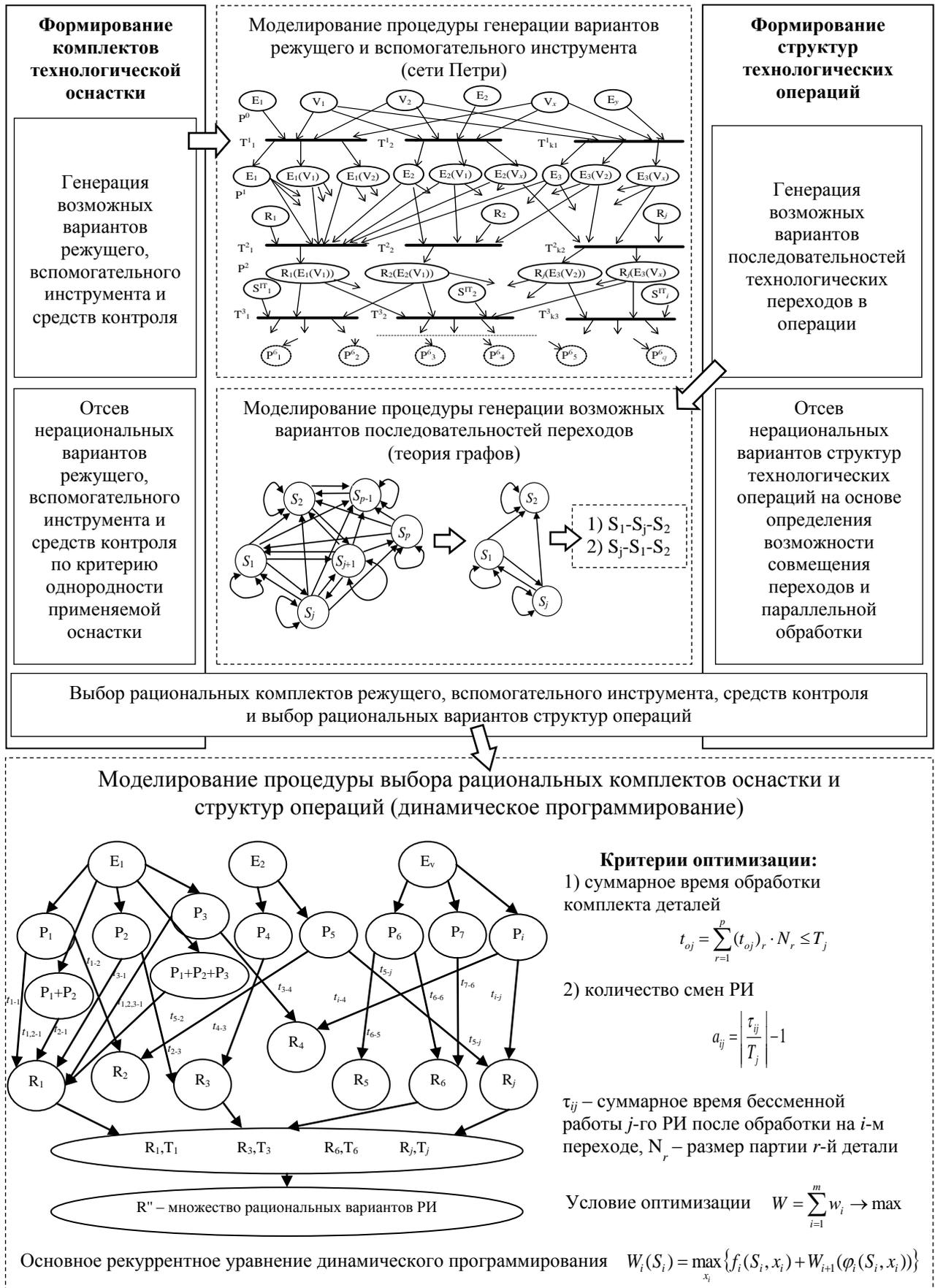


Рис. 2. Основные проектные процедуры проектирования технологических операций и модели для их формализации

вариантов по критерию однородности, который обеспечивает инвариантность структур операций и высокий уровень взаимозаменяемости вариантов технологических операций.

На этапе разработки рациональной структуры операции ключевой задачей является выбор рациональной последовательности технологических переходов в каждом кортеже. Модель строится с применением теории графов. Вершинам графа присваивается код элементарной обрабатываемой поверхности. Каждая дуга графа отражает возможную последовательность обработки. В результате задача генерации возможных последовательностей обработки сводится к задаче нахождения возможных путей между вершинами графа, соответствующими переходам в кортеже. После этого производится отсев нерациональных вариантов последовательностей обработки по критерию минимизации штучно-калькуляционного времени за счет нахождения возможности совмещения переходов и параллельной обработки.

Задача выбора рациональных комплектов режущего и вспомогательного инструмента и структур операций для всей номенклатуры обрабатываемых деталей решается с использованием аппарата динамического программирования, преимущество которого заключается в оптимизации системы в целом и отсутствии необходимости расчета параметров оптимизации для каждого сочетания вариантов.

Опыт создания моделей и методик автоматизации проектных процедур показал как их схожесть, так и значительное различие некоторых из них в зависимости от вида технологического оборудования и методов механической обработки. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку системы для формирования состава и распределения проектных процедур в зависимости от поступающего задания на проектирование. Решение этой задачи видится в применении математического аппарата кластерного анализа, который позволит провести классификацию проектных процедур и сформировать модель для автоматизации выбора необходимых из них для обеспечения проектирования технологических операций.

Таким образом, для решения задачи повышения эффективности машиностроительного производства существует необходимость комплексной автоматизации конструкторского и технологического проектирования. Это становится возможным на основе создания интегрированной системы автоматизированного планирования технологических процессов, обеспечивающей взаимодействие между системами конструкторской и технологической подготовки производства и конкретной производственной системой. Ключевым вопросом в обеспечении взаимодействия является разработка системы автоматизированного проектирования технологических операций механообработки, способной в кратчайшие сроки сгенерировать различные варианты и выбрать рациональные решения для складывающейся производственной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безъязычный В.Ф., Рябов А.Н. Исследование путей повышения производительности при различных типах производства // Вестник Рыбинской государственной

авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2012. № 2. С. 148–152.

2. Суслов А.Г. Направления дальнейшего развития технологии машиностроения // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2010. № 1. С. 3–6.
3. Marri H.B., Gunasekaran A., Grieve R.J. Computer-Aided Process Planning: A State of Art // International journal of advanced manufacturing technology. 1998. № 14. P. 261–268.
4. Yusof Y., Latif K. Survey on computer-aided process planning // International journal of advanced manufacturing technology. 2014. № 75. P. 77–89.
5. Shaw C. Feng. A machining process planning activity model for systems integration // Journal of intelligent manufacturing. 2003. № 14. P. 527–539.
6. Deja M., Siemiatkowski M.S. Feature-based generation of machining process plans for optimised parts manufacture // Journal of intelligent manufacturing. 2003. № 24. P. 831–846.
7. Базров Б.М. Модульная технология // Научные исследования в машиностроении. 2011. № 4. С. 3–10.
8. Базров Б.М. Типовая технология в современных условиях // Научные исследования в машиностроении. 2014. № 4. С. 44–48.
9. Аверченков А.В., Аверченкова Е.Э. Автоматизированная подготовка производства инновационных изделий в условиях малых машиностроительных предприятий // Вестник Брянского государственного технического университета. 2010. № 3. С. 49–57.
10. Аверченков В.И., Жога В.Л. Автоматизация процедуры конструкторско-технологической классификации деталей с использованием самоорганизующейся нейронной сети // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2006. № 4. С. 94–97.
11. Аверченков В.И., Подвесовский А.Т., Брундасов С.М. Автоматизация многокритериального выбора программно-технических решений на основе семантического расширения иерархических и сетевых моделей // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2004. № 5. С. 105–111.
12. Аверченков В.И. Формализация методов технологического проектирования, обеспечивающих требуемое качество изделий // Научные исследования в машиностроении. 2012. № 9. С. 32–38.
13. Чигиринский Ю.Л. Возможность формализованного решения задач технологического проектирования // СТИН. 2009. № 12. С. 26–29.
14. Бочкарев П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки // Технология машиностроения. 2002. № 1. С. 10–14.
15. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Автоматизация принятия конструкторских решений в соответствии с технологическими возможностями многономенклатурных производственных систем // Научные исследования в машиностроении. 2014. № 11. С. 44–47.
16. Бочкарев П.Ю., Митин С.Г., Бокова Л.Г. Разработка дополнительных показателей оценки производственной технологичности для учета особенностей многономенклатурных механообрабатывающих систем // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2014. № 4. С. 16–20.

17. Пластинкин А.В. Выбор оптимальных планов обработки поверхностей деталей в системе планирования многономенклатурных технологических процессов // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 81–85.
 18. Кочадаев А.В. Алгоритм поиска технологических баз в системе планирования технологических процессов // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 76–81.
 19. Шалунов В.В., Комаревцев Д.В., Семенихин И.М. Автоматизированное проектирование технологических операций, выполняемых на токарно-фрезерных автоматах продольного точения с ЧПУ // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 3. № 2. С. 146–150.
 20. Митин С. Г., Бочкарев П. Ю. Формирование методического обеспечения автоматизированной подсистемы проектирования операций фрезерной обработки // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 1. С. 32–39.
- REFERENCES**
1. Bez'yazichny V.F., Ryabov A.N. Study of ways of efficiency improvement in various types of production. *Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii im. P.A. Solovyeva*, 2012, no. 2, pp. 148–152.
 2. Suslov A.G. Trends of perfection development manufacturing engineering. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem*, 2010, no. 1, pp. 3–6.
 3. Marri H.B., Gunasekaran A., Grieve R.J. Computer-Aided Process Planning: A State of Art. *International journal of advanced manufacturing technology*, 1998, no. 14, pp. 261–268.
 4. Yusof Y., Latif K. Survey on computer-aided process planning. *International journal of advanced manufacturing technology*, 2014, no. 75, pp. 77–89.
 5. Shaw C. Feng. A machining process planning activity model for systems integration. *Journal of intelligent manufacturing*, 2003, no. 14, pp. 527–539.
 6. Deja M., Siemiatkowski M.S. Feature-based generation of machining process plans for optimised parts manufacture. *Journal of intelligent manufacturing*, 2003, no. 24, pp. 831–846.
 7. Bazrov V.M. Modular technology. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2011, no. 4, pp. 3–10.
 8. Bazrov V.M. Typical technology in modern conditions. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2014, no. 4, pp. 44–48.
 9. Averchenkov A.V., Averchenkova E.E. Automated preparation for manufacturing of innovative products at small-scale machine building enterprises. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, no. 3, pp. 49–57.
 10. Averchenkov V.I., Zhoga V.L. Automation of procedure of engineering and design classification of components with the use of self-organizing neural network. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, no. 4, pp. 94–97.
 11. Averchenkov V.I., Podvesovsky A.T., Brundasov S.M. Automation of multicriterion selection of programme-engineering solution on the basis of conceptual expansion of hierarchical and network models. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2004, no. 5, pp. 105–111.
 12. Averchenkov V.I. Formalization of technological design methods, providing the required products quality. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2012, no. 9, pp. 32–38.
 13. Chigirinsky Yu.L. Opportunity for formalized solution of production engineering issues. *STIN*, 2009, no. 12, pp. 26–29.
 14. Bochkarev P.Yu. System representation of planning technological machining process. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2002, no. 1, pp. 10–14.
 15. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Automation of design decision support in accordance with technological capabilities of multiproduct manufacturing systems. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2014, no. 11, pp. 44–47.
 16. Bochkarev P.Yu., Mitin S.G., Bokova L.G. Development of additional indices for assessment of technological effectiveness for recording peculiarities of multiproduct machining process systems. *Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii im. P.A. Solovyeva*, 2014, no. 4, pp. 16–20.
 17. Plastinkin A.V. Selection of optimal plans for processing the surface of components in the planning system of multiproduct technological processes. *Progressivnie nauchnie napravleniya razvitiya tekhnologii mashinostroeniya*. Saratov, SGTU publ., 2005, pp. 81–85.
 18. Kochadaev A.V. Algorithm for search of technological bases in the system of planning technological processes. *Progressivnie nauchnie napravleniya razvitiya tekhnologii mashinostroeniya*. Saratov, SGTU publ., 2005, pp. 76–81.
 19. Shalunov V.V., Komarevtsev D.V., Semeniخين I.M. Automated design of production operations at CNC-milling machines CNC longitudinal turning. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 146–150.
 20. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Formation of methodical support of automated subsystem of milling operations design. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2012, no. 1, pp. 32–39.

**PRINCIPLES OF CREATING THE SYSTEM OF COMPUTER-AIDED
DESIGN OF PRODUCTION OPERATIONS IN MULTIPRODUCT MANUFACTURING**

© 2015

S.G. Mitin, candidate of technical sciences, Associate Professor,
assistant professor of the Department of Mechanical Engineering and Manufacturing Technologies
P.Y. Bochkaryov, Doctor of Engineering, Professor,
Head of the Department of Mechanical Engineering and Manufacturing Technologies
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov (Russia)

Keywords: production preparation; design automation; CAPP system, production operation, multiproduct manufacturing.

Abstract: The article considers issues of increasing efficiency in multiproduct machining manufacturing systems by complex automation of production preparation stage. After analysis of modern software possibilities for design automation their shortcomings come to light and the principles are formulated for creation of integrated design and process planning system that ensures effective interaction at various design stages. As a basis for making rational decisions, the automated design system for production operation takes the central place in the integrated technological process planning system. In the course of development of the automated design system for production operations the approaches are found to formalization of design procedures by means of mathematical modeling. An important feature of the proposed models and techniques is the accounting of all planned nomenclature of the processed components as well as orientation to the current state of a production system. For the procedure of equipment generation the model is described with application of Petri nets that allows creating a set of feasible options of cutting and auxiliary tools for all planned nomenclature of the processed components. Elimination of irrational options can be carried out by using criterion of uniformity which ensures invariance of operation structures. For modeling the procedure of generating possible process steps sequences, the graph theory is used. Modeling of procedures for selection of rational equipment sets and operation structures is carried out simultaneously. To do this, the authors suggest using dynamic programming, therefore the system is optimized in general and there is no need for examining of all possible options. Criteria of optimization are the total processing time of all planned components and number of tool changes. In the conclusion of the article the ways of further development and application of the developed system are defined.