

## РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ

© 2015

*Л.Г. Бокова*, кандидат технических наук,  
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:** технологичность; производственная технологичность; технологические процессы; количественные показатели оценки технологичности; механообрабатывающие системы; система планирования многономенклатурных технологических процессов.

**Аннотация:** Значительную роль в жизненном цикле изделия играют решения, принятые на этапах конструкторско-технологической подготовки при оценке технологичности, позволяющей определить соответствие запланированного для обработки комплекта деталей возможностям производственной системы и обеспечить достижение наибольшей производительности и эффективности технологических процессов изготовления. В статье представлены методы количественной оценки производственной технологичности изделий, учитывающие возможности использования оборудования для их изготовления и позволяющие создать формализованные процедуры обеспечения технологичности конструкции. В рамках разработанной методики для количественной оценки дополнительных показателей производственной технологичности, учитывающих специфику технологической подготовки единичного, мелко- и среднесерийного производства, выявлены взаимосвязи между производственной технологичностью и ее влиянием на технологические составляющие обработки заданной номенклатуры в конкретной производственной системе, выполнено обоснование состава дополнительных количественных показателей оценки производственной технологичности в системе планирования многономенклатурных технологических процессов. Методика определения дополнительных количественных показателей выполнена в виде самостоятельных проектных процедур, включающих проверку конструктивных характеристик деталей на возможность их изготовления в рамках конкретной производственной системы с учетом технологических возможностей механообрабатывающего оборудования, определение уровня использования технического потенциала оборудования, оценку комплекта изготавливаемых деталей по показателю однородности по виду и конструктивным характеристикам поверхностей как составляющих элементов деталей, и заключение о степени их унификации, прогнозирование технико-экономических показателей изготовления запланированной номенклатуры деталей. Предложенные в статье дополнительные количественные показатели для оценки производственной технологичности расширяют и углубляют знания, получаемые на основе анализа конструктивных элементов деталей и возможностей производственной системы для их изготовления на стадии оценки технологичности при технологической подготовке производства с целью повышения эффективности функционирования многономенклатурных производственных систем.

Технологичность конструкции является одним из базовых научных понятий технологии машиностроения и основой обеспечения использования конструкторско-технологических резервов подготовки производства для решения задач, связанных с повышением технико-экономических показателей изготовления изделий. Сложность оценки технологичности во многом связана с субъективностью оценки, зависящей от опыта и знаний отдельных конструкторов и технологов, что не учитывает существенно расширяющиеся возможности современных производственных систем и не позволяет обеспечить высокую эффективность их эксплуатации.

Процесс обеспечения технологичности изделия, отражающий связь между конструктивными особенностями изделия и уровнем затрат при его производстве, является противоречивым и не имеет в настоящее время полного описания его проведения [1–4]. То, что в одних определенных условиях, характеризующихся, например, специализацией цехов, наличием того или иного оборудования и средств технологического оснащения, может быть рациональным, технологичным, в других может оказаться неприемлемым. К производственным условиям следует отнести также программу выпуска, в зависимости от которой и разрабатывается

технологический процесс изготовления изделия. Конструкция, технологичная в условиях многономенклатурного производства, оказывается нетехнологичной в условиях массового производства и наоборот [5–8].

Процесс оценки технологичности изделий является противоречивым и сложноформализуемым, поэтому реализация оценки технологичности проектного решения возможна только после создания моделей, адекватно устанавливающих связь между конструктивными элементами изделий и характеристиками производственных систем и представленных в виде систем автоматизированного проектирования.

Проводя анализ известных методик оценки производственной технологичности, следует отметить подход [9] как отличающийся более детальной проработкой технико-экономических вопросов изготовления деталей, в основу которого положено установление связей между частными показателями технологичности и их влиянием на технологические составляющие обработки.

Другой отличительной особенностью данного подхода является разработанное представление об исходных данных для расчета показателей технологичности, которое включает как информацию по рассматриваемой детали, так и систематизированную справочно-

методическую информацию, связывающую конструктивные характеристики элементов детали с технологическими методами их получения.

Представленная система показателей позволяет установить связь между конструктивными элементами детали и сложившимися к настоящему времени уровнями конструкторско-технологической стандартизации и унификации. Однако она обладает рядом недостатков: не направлена на оценку технологичности для конкретной производственной системы, в которой будет выполняться обработка детали; справочная и нормативно-техническая информация, используемая в качестве составления исходных таблиц для расчета, требует постоянных корректировок, что отражается на методике вычисления, особенно в установлении применяемых весовых коэффициентов показателей; методика расчета не отражает тип производства и особенности как самой производственной системы, так и применяемых подходов к технологической подготовке производства; ведется оценка производственной технологичности отдельно каждой детали, хотя в условиях многономенклатурного производства для его рационального функционирования важна не только унификация на уровне отдельных конструктивных элементов в рамках одной детали, но и унификация конструктивных характеристик для всей номенклатуры деталей, обрабатываемых одновременно в рамках производственной системы.

Для учета этих факторов необходима разработка дополнительных критериев оценки производственной технологичности, которые позволяли бы вести расчет для конкретной производственной системы и были ориентированы на особенности организации многономенклатурных производственных систем механообработки. Такие исследования стали возможными в рамках создания системы планирования многономенклатурных технологических процессов [10–12]. Возможность разработки дополнительных критериев оценки производственной технологичности обусловлена следующими факторами: сформированной в системе планирования многономенклатурных технологических процессов базой данных о технологических возможностях оборудования [13–15]; принципиально отличающимся подходом к технологической подготовке производства, позволяющим обеспечить многовариантность принятия

решений при проектировании и реализации технологии в зависимости от складывающейся производственной ситуации.

На основе представленных направлений развития подхода к обеспечению производственной технологичности можно сформировать требования к дополнительным критериям для оценки производственной технологичности для многономенклатурных производственных систем (рис. 1).

Определение возможности изготовления конструктивных элементов детали известными в настоящее время технологическими методами с применением имеющегося в рамках конкретной производственной системы оборудования и оснастки разделяется на две задачи:

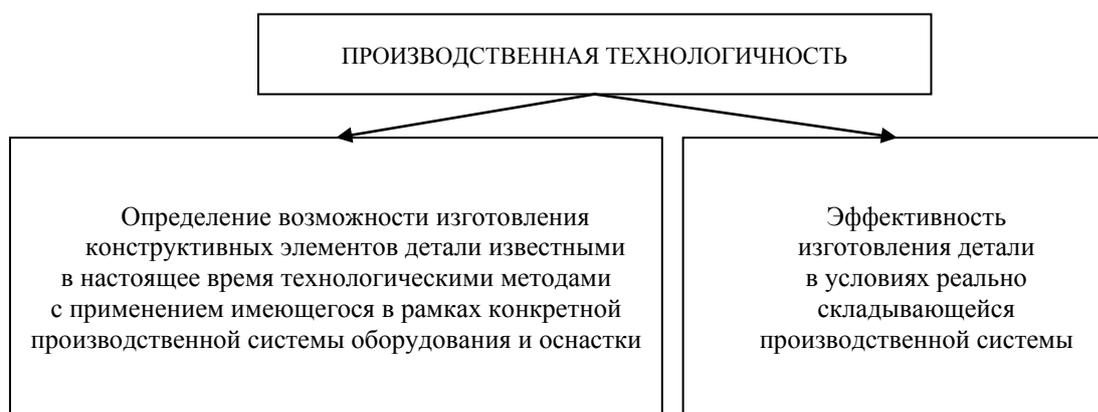
1. Установление наличия разработанных технологических методов получения конкретного элемента детали с учетом его пространственного расположения относительно других элементов, с обеспечением заданных технических требований.

Данная задача традиционна для оценки технологичности деталей и строится на основе анализа нормативно-справочной литературы, опыта разработчиков для отдельных отраслей машиностроения (авиационная, приборостроительная, подшипниковая и т. д.) [16; 17] с учетом их специфики.

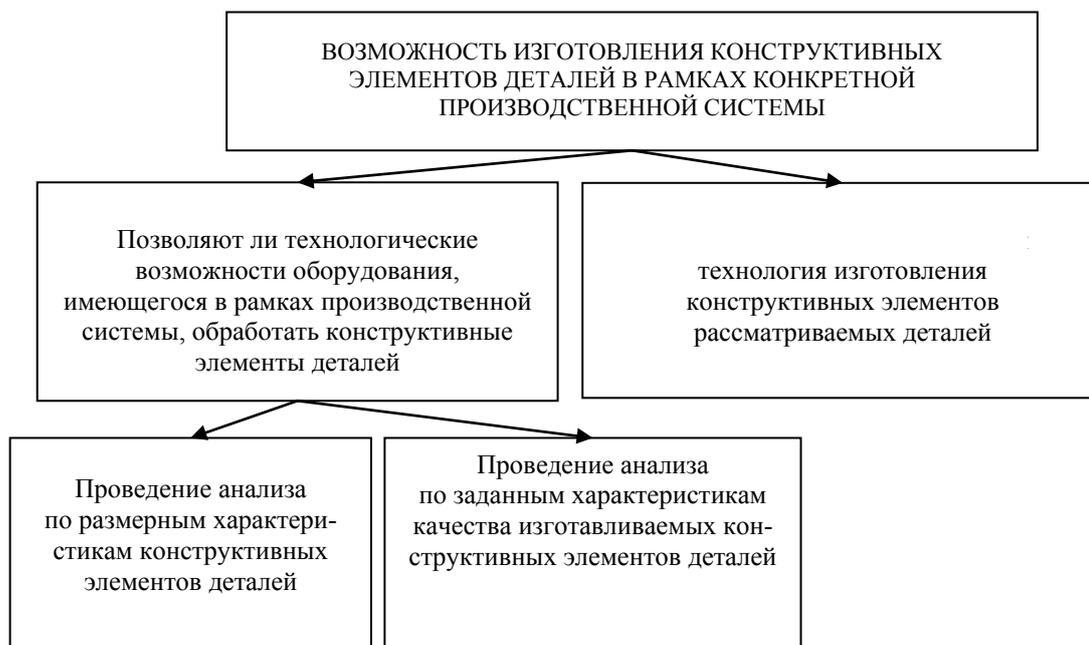
2. Анализ технологических возможностей оборудования, имеющегося в рамках производственной системы с позиции обеспечения получения заданных технических требований поверхностей детали, выполняемый на основе имеющихся информационных баз данных системы планирования многономенклатурных технологических процессов (рис. 2).

Эффективность изготовления деталей в условиях реально складывающейся производственной ситуации основывается на прогнозируемых характеристиках обработки, заданной номенклатуры деталей в конкретной производственной системе. Структура задач для установления дополнительных показателей производственной технологичности представлена на рис. 3.

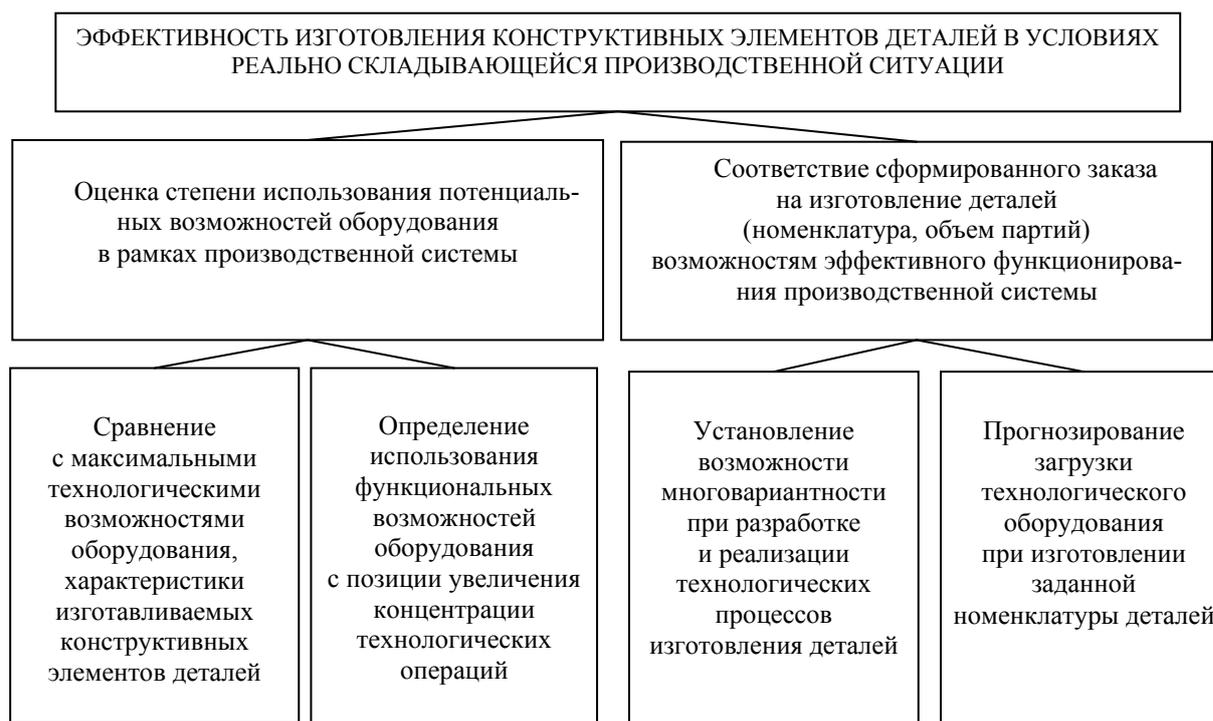
На основе представленных требований к оценке производственной технологичности, с учетом условий конкретной производственной системы и ориентации на особенности многономенклатурных систем механообработки, установленных взаимосвязей между



*Рис. 1. Требования для оценки производственной технологичности для многономенклатурных производственных систем*



*Рис. 2. Возможность изготовления конструктивных элементов деталей в рамках конкретной производственной системы*



*Рис. 3. Структура задач для установления дополнительных показателей производственной технологичности в части эффективности изготовления деталей*

производственной технологичностью и ее влиянием на технологические составляющие обработки обоснован состав дополнительных показателей оценки производственной технологичности для использования в системе планирования многономенклатурных технологических процессов: показатель возможности изготовления заданной номенклатуры деталей [18–20]; показатель использования технологических возможностей производственной систе-

мы; показатель технологичности детали по однородности технологического оборудования; показатель прогнозирования уровня загрузки технологического оборудования при обработке заданной номенклатуры деталей; показатели многовариантности принятия решений при проектировании и реализации технологических процессов.

Предлагаемые показатели расширяют известные показатели и используют дополнительную исходную

информацию, включающую данные о технологических возможностях оборудования, содержащуюся в информационном обеспечении системы планирования многономенклатурных технологических процессов (рис. 4.).

Другой отличительной особенностью оценки производственной технологичности с применением разработанных показателей является то, что определяется не абстрактная производственная технологичность деталей, а технологичность для конкретной производственной системы. Таким образом, не только более коррект-

но делается заключение об обеспечении заданных характеристик изготавливаемых деталей и уровне сложности подготовки производства, но и прогнозируется эффективность функционирования производственной системы при изготовлении деталей. Оценка производственной технологичности с применением разработанных дополнительных показателей ведется как для отдельных деталей, так и для всей номенклатуры деталей, запланированных для обработки в заданный период времени на конкретной производственной системе.

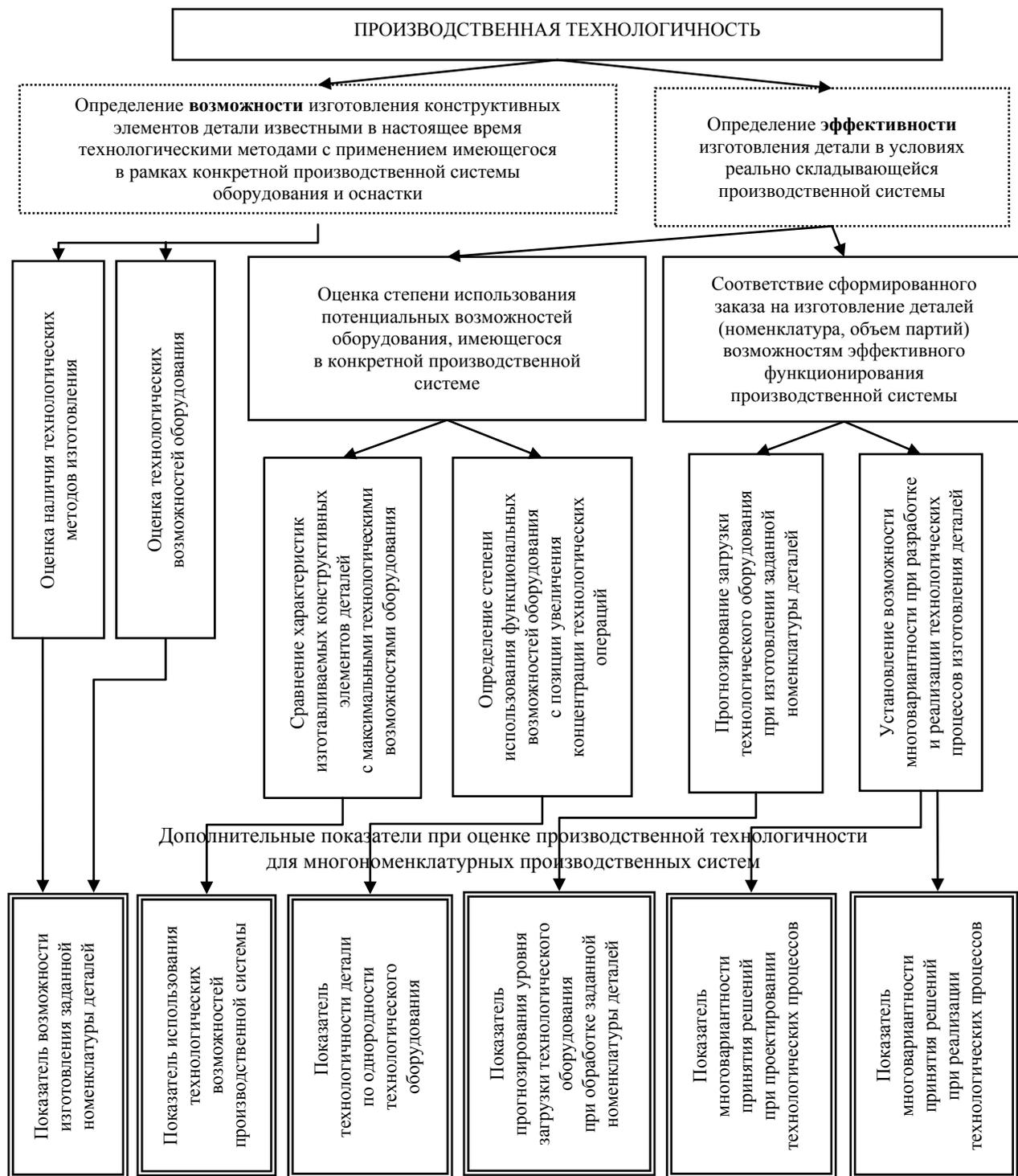


Рис. 4. Дополнительные количественные показатели производственной технологичности

Учет взаимного влияния отдельных деталей и их технологий друг на друга в части рациональной технологической подготовки производства позволяет более точно предсказать, насколько правильно сформировано отдельное производственное задание.

Таким образом, можно говорить о создании дополнительных показателей для оценки производственной технологичности механообрабатывающих производств, включающих учет специфики технологической подготовки единичного и серийного производства и предназначенных для использования в системе планирования многономенклатурных технологических процессов.

Методика, реализующая оценку дополнительных количественных показателей в системе планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки в виде самостоятельных проектных процедур, предусматривается в следующей последовательности:

1. Заключение о возможности изготовления конструктивных характеристик деталей в рамках конкретной производственной системы с учетом технологических возможностей механообрабатывающего оборудования.

2. Установление уровня использования технического потенциала оборудования при изготовлении отдельных деталей и всей запланированной номенклатуры деталей.

3. Исследование и оценка комплекта изготавливаемых деталей по показателю однородности по виду и конструктивным характеристикам поверхностей как составляющих элементов деталей и заключение о степени их унификации.

4. Прогнозирование технико-экономических показателей изготовления запланированной номенклатуры деталей с целью выработки предложений по формированию рационального комплекта деталей для конкретно сформировавшихся реальных производственных условий.

Проведенный анализ по представленным процедурам позволит уже на этапе формирования комплекта обрабатываемых деталей дать оценку их технологичности с точки зрения соответствия тем основным принципам, которые заложены при разработке системы планирования многономенклатурных технологических процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков В.И., Казаков Ю.М. Автоматизация проектирования технологических процессов. Брянск: БГТУ, 2004. 228 с.
2. Амиров Ю.Д. Технологичность конструкций машин как фактор повышения эффективности общественного производства // Вестник машиностроения. 1982. № 3. С. 70–72.
3. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. 2-е изд. М.: Машиностроение, 2007. 736 с.
4. Балабанов А.Н. Технологичность конструкций деталей машин. М.: Машиностроение, 1987. 336 с.
5. Гамрат-Курек Л.И. Базовые показатели технологичности и их расчет // Теория и практика организации подготовки производства машиностроительной продукции: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВПИ, 1981. С. 43–48.
6. Леонтьев И.А. Обеспечение технологичности конструкций изделий. Л.: ЛДНТП, 1984. 28 с.

7. Михельсон-Ткач В.Л. Повышение технологичности конструкций. М.: Машиностроение, 1988. 104 с.
8. Обеспечение технологичности конструкций изделий: сб. статей. М.: Изд-во стандартов, 1976. 80 с.
9. Сагателян Г.Р., Руденко Н.Р., Назаров Н.Г. Анализ технологичности конструкций деталей приборов, изготавливаемых методами обработки материалов резанием. М.: МГТУ, 1995. 32 с.
10. Бочкарев П.Ю., Королев А.В. Принципы создания системы планирования гибких технологических процессов // Доклады Российской академии естественных наук. 1999. № 1. С. 172–184.
11. Бочкарев П.Ю., Бокова Л.Г., Шалунов В.В. Оценка технологичности деталей в системе планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ. 2007. С. 151–153.
12. Бочкарев П.Ю., Бокова Л.Г. Процедура оценки технологичности деталей в системе автоматизированного планирования технологических процессов механообработки // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 41. С. 30–33.
13. Ананьев С.А., Купрович В.И. Технологичность конструкций. М.: Машиностроение, 1969. 424 с.
14. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения. Кн. 2. Основы технологии. М.: Машиностроение, 1982. 367 с.
15. Балашева Ю.В. Комплексная оценка технологичности деталей типа «вал» квалитетными методами : дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2007. 146 с.
16. Бурбаев А.М. Отработка технологичности конструкций оптических приборов. СПб.: СПбГУИТМО, 2004. 95 с.
17. Яновский Г.А. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. М.: Энергия, 1973. 390 с.
18. Бурбаев А.М. Отработка технологичности конструкций оптических приборов. СПб.: СПбГУИТМО, 2004. 95 с.
19. Бочкарев П.Ю., Митин С.Г., Бокова Л.Г. Оценка производственной технологичности изделий с учетом состояния многономенклатурного автоматизированного производства // Инновации. Технологии. Производство: сб. тез. междунар. технолог. форума. Рыбинск, 2014. С. 77–78.
20. Волошинов Д.В. Автоматизированное проектирование объектов и процессов с применением методов конструктивного геометрического моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2008. № 4-1. С. 284–292.

#### REFERENCES

1. Averchenkov V.I., Kazakov Yu.M. *Avtomatizatsiya proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov* [Technological processes design automation]. Bryansk, BGTU Publ., 2004, 228 p.
2. Amirov Yu.D. Machine structures production effectiveness as a factor of public production efficiency improvement. *Vestnik mashinostroeniya*, 1982, no. 3, pp. 70–72.

3. Bazrov B.M. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Basics of manufacturing engineering]. 2nd ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007, 736 p.
4. Balabanov A.N. *Tekhnologichnost konstruksiy detaley mashin* [Machine parts structures possibility]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 336 p.
5. Gamrat-Kurek L.I. Basic indicators of production effectiveness and their calculation. *Mezhvuz. sbornik nauchnikh trudov "Teoriya i praktika organizatsii podgotovki proizvodstva mashinostroitelnoy produktii"*. Voronezh, VPI Publ., 1981, pp. 43–48.
6. Leontyev I.A. *Obespechenie tekhnologichnosti konstruksionnykh izdeliy* [Provision of production effectiveness of the products structures]. Leningrad, LDNTP Publ., 1984, 28 p.
7. Mikhelson-Tkach V.L. *Povyshenie tekhnologichnosti konstruksiy* [Improvement of the structures production effectiveness]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 104 p.
8. *Obespechenie tekhnologichnosti konstruksiy izdeliy. Sbornik statey* [Provision of production effectiveness of the products structures]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1976, 80 p.
9. Sagatelyan G.R., Rudenko N.P., Nazarov N.G. *Analiz tekhnologichnosti konstruksiy detaley priborov, izgotovlyaemykh metodami obrabotki materialov rezaniem* [Analysis of production effectiveness of devices parts structures produced by material cutting methods]. Moscow, MGTU Publ., 1995, 32 p.
10. Bochkarev P.Yu., Korolev A.V. Principles of creation of flexible technological processes system. *Doklady Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk*, 1999, no. 1, pp. 172–184.
11. Bochkarev P.Yu., Bokova L.G., Shalunov V.V. Assessment of parts production effectiveness in the system of planning of multiproduct engineering machine processing. *Mezhvuz. nauch. sbornik "Progressivnye napravleniya razvitiya tekhnologii mashinostroeniya"*. Saratov, SGTU Publ., 2007, pp. 151–153.
12. Bochkarev P.Yu., Bokova L.G. Procedure for assessment of parts production effectiveness in the system of automated planning of engineering machine processing. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 3, no. 2, pp. 30–33.
13. Ananyev S.A., Kuprovich V.I. *Tekhnologichnost konstruksiy* [Production effectiveness of the structures]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969, 424 p.
14. Balakshin B.S. *Teoriya i praktika tekhnologii mashinostroeniya. Kniga 2. Osnovy tekhnologii* [Theory and practice of engineering technology. Book 2. Basics of technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982, 367 p.
15. Balasheva Yu.V. *Kompleksnaya otsenka tekhnologichnosti detaley tipa "val" kvalimetricheskimi metodami*. Diss. kand. tekhn. nauk [Complex assessment of production effectiveness of "shaft" type parts using the qualimetric methods]. Tula, 2007, 146 p.
16. Burbaev A.M. *Otrabotka tekhnologichnosti konstruksiy opticheskikh priborov* [Development of production effectiveness of optical devices structures]. S. Petersburg, SPbGUITMO Publ., 2004, 95 p.
17. Yanovsky G.A. *Metodika otrabotki konstruksiy na tekhnologichnost i otsenki urovnya tekhnologichnosti izdeliy mashinostroeniya i priborostroeniya* [Methodology of structures development for production effectiveness and assessment of production effectiveness level of machine and instrument engineering products]. Moscow, Energiya Publ., 1973, 390 p.
18. Burbaev A.M. *Otrabotka tekhnologichnosti konstruksiy opticheskikh priborov* [Development of production effectiveness of optical devices structures]. S. Petersburg, SPbGUITMO Publ., 2004, 95 p.
19. Bochkarev P.Yu., Mitin S.G., Bokova L.G. Assessment of production effectiveness of products with the account of state of multiproduct automated manufacturing. *Sbornik tezisov mezhdunar. tekhnolog. foruma "Innovatsii. Tekhnologii. Proizvodstvo"*. Rybinsk, 2014, pp. 77–78.
20. Voloshinov D.V. Automated design of objects and processes using the methods of structural geometric modeling. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*, 2008, no. 4-1, pp. 284–292.

**DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR ASSESSMENT OF PARTS OPERABILITY IN THE SYSTEM OF PLANNING OF ENGINEERING MECHANICAL PROCESSING**

© 2015

**L.G. Bokova**, PhD (Engineering),  
assistant professor of Chair “Development of engineering and technological complexes”  
**P.Y. Bochkarev**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor,  
Head of Chair “Development of engineering and technological complexes”  
*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov (Russia)*

*Keywords:* production effectiveness; operability; engineering processes; quantitative indicators of production effectiveness assessment; machine processing systems; system of planning of multiproduct engineering processes.

*Abstract:* The decisions made at the stages of design-engineering preparation during the production effectiveness evaluation, which allows defining the compliance of planned for processing parts set with the possibilities of manufacturing system and providing achievement of the highest operability and efficiency of manufacturing processes, play the significant role in the product life cycle. The paper presents the methods of quantitative assessment of the products operability which take into account the feasibility of use of equipment for their production and allow creating the formalized procedures for the structure production effectiveness provision. Within the developed methodology for quantitative assessment of additional operability indicators which take into account the specificity of technological preparation of single-unit, small-series and medium-scale production, the authors revealed the interrelations between the operability and its impact on the technological components of the specified nomenclature processing within the specified manufacturing system, proved the structure of additional quantitative indicators of operability assessment within the system of planning of multiproduct engineering processes. The methodology of defining additional quantitative indicators is developed in the form of independent design procedures which include the examination of the parts design characteristics for the feasibility of their production within the specified manufacturing system with the account of processing machine’s capabilities, determination of the equipment capacity utilization, assessment of the manufactured parts set according to the form uniformity index and design characteristics of surfaces as the parts components, and the conclusion about the degree of their unification, predictive modeling of technical-and-economic indices of the planned parts nomenclature production. The additional quantitative indicators for operability assessment offered in the paper increase knowledge being obtained on the basis of analysis of the parts design elements and manufacturing system capabilities for their production on the stage of production effectiveness assessment during the technological preparation of production in order to improve the efficiency of multiproduct manufacturing systems functioning.