

**НОВИКОВ Ф. В., ПОЛЯНСКИЙ В. И., ДИТИНЕНКО С. А., КРЮК А. Г.**

## **КОНЦЕПЦИИ ВЫСОКОТОЧНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Сформулированы основные условия повышения эффективности механической обработки высокоточных деталей машин на основе применения прогрессивных методов высокоскоростного резания на современных станках с ЧПУ типа “обрабатывающий центр” и высокопроизводительных сборных конструкций инструментов с износостойкими покрытиями. Показана эффективность применения разработанной физико-математической теории процессов обработки материалов и технологии машиностроения, позволяющей с единых позиций производить теоретический анализ и оптимизационные расчеты технологических параметров лезвийной и абразивной обработки. Приведено новое теоретическое решение об определении технологических возможностей уменьшения погрешностей обработки при растачивании отверстий, обусловленных упругими перемещениями, возникающими в технологической системе. Даны практические рекомендации.

**Ключевые слова:** технология машиностроения, механическая обработка, высокоточные детали машин, производительность обработки, точность обработки, растачивание отверстия, упругие перемещения, технологическая система

Сформульовано основні умови підвищення ефективності механічної обробки високоточних деталей машин на основі застосування прогресивних методів високошвидкісного різання на сучасних верстатах з ЧПУ типу “обробний центр” і високопродуктивних збірних конструкцій інструментів зі зносостійкими покриттями. Показано ефективність застосування розробленої фізико-математичної теорії процесів обробки матеріалів та технології машинобудування, яка дозволяє з єдиних позицій проводити теоретичний аналіз і оптимізаційні розрахунки технологічних параметрів лезової та абразивної обробки. Наведено нове теоретичне рішення про визначення технологічних можливостей зменшення похибок обробки при розточуванні отворів, обумовлених пружними переміщеннями, що виникають в технологічній системі. Надано практичні рекомендації.

**Ключові слова:** технологія машинобудування, механічна обробка, високоточні деталі машин, продуктивність обробки, точність обробки, розточування отвору, пружні переміщення, технологічна система

The main conditions for increasing the efficiency of machining high-precision parts of machines based on the application of progressive high-speed cutting methods on modern CNC machines such as the “machining center” and high-performance prefabricated structures of tools with wear-resistant coatings are formulated. The efficiency of the application of the developed physical and mathematical theory of the processes of material processing and engineering technology is shown, which makes it possible to perform theoretical analysis and optimization calculations of technological parameters of blade and abrasive processing from single positions. A new theoretical decision is made to determine the technological possibilities of reducing processing errors during boring holes caused by elastic displacements arising in the technological system. It has been theoretically established that as the number of tool passes increases, the processing errors decrease quite intensively, according to the law of geometric progression. Therefore, from the point of view of increasing the accuracy of the hole size, it is advisable to remove the allowance in one or several passes of the tool, and from the point of view of increasing the alignment of the hole, on the contrary, it is necessary to increase the number of passes of the tool.

**Keywords:** engineering technology, machining, high-precision machine parts, processing capacity, machining accuracy, hole boring, elastic movements, technological system

**Введение.** При изготовлении деталей машин из материалов с повышенными физико-механическими свойствами необходимо применение эффективных технологий механической обработки, позволяющих повысить качество, точность и производительность обработки. В особой мере это относится к механической обработке высокоточных деталей гидравлической аппаратуры, которые работают в условиях интенсивного трения и изнашивание и изготавливаются из разнообразных труднообрабатываемых материалов (высокопрочных сталей и сплавов, высокотвердых магнитных сплавов, пластичных цветных металлов и т.д.). К точности и качеству изготовления этих деталей предъявляются высокие требования: точность размера, формы и взаимного расположения поверхностей – 1...10 мкм, шероховатость поверхности –  $R_a = 0,04...0,2$  мкм. Однако стабильно выполнить эти требования традиционными методами механической обработки сложно в связи с образованием разнообразных погрешностей обработки, температурных дефектов и отдельных рисок-царапин на обрабатываемых поверхностях. Для их устранения технологическими процессами предусмотрено выполнение большого числа дополнительных трудоемких финишных операций доводки, полирования и ручной обработки, которые значительно снижают эффективность изготовления деталей. Поэтому совершенствование технологий финишной механической обработки является актуаль-

ной задачей, направленной на повышение конкурентоспособности машиностроительной продукции.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время накоплен значительный опыт механической обработки деталей машин для различных по обрабатываемости материалов. Получили широкое применение прогрессивные методы высокоскоростного резания на современных станках с ЧПУ типа “обрабатывающий центр” и высокопроизводительные сборные конструкции инструментов с износостойкими покрытиями. Усилиями многих поколений ученых сформированы основы теории резания материалов и проектирования металлорежущих инструментов и станков, разработаны нормативы режимов резания, получены решения ряда важных оптимизационных технологических задач и т.д. [1–3]. Вместе с тем, наука о резании материалов, как и 100 лет назад, основана на эмпирических знаниях, т.е. на результатах экспериментальных исследований и эмпирических зависимостях физических и технологических параметров обработки, которые справедливы лишь для “узких” диапазонов изменения режимов резания и не дают общих технологических решений. Достаточно строгой физико-математической теории процесса резания нет. При этом известные решения разнородны, поскольку отсутствует единый подход к математическому описанию технологических процессов, отсутствует единая система уравнений (зависимостей),

описывающих целевые функции и технические ограничения обработки. Несомненно, это сужает возможности оптимального проектирования технологических процессов, поскольку недостаточно теоретических знаний о технологических возможностях различных методов механической обработки. В итоге практика опережает теорию. Этим объясняется отсутствие мощных технологических решений, которые позволяют совершить своего рода прорыв в познаниях процесса резания и кардинально решить проблему повышения (в 10 раз и больше) технико-экономических показателей обработки. Достаточно отметить, что и в настоящее время отсутствуют научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных методов обработки при проектировании операционной технологии, не говоря о более сложном проектировании маршрутной технологии. В результате технолог подходит к проектированию операционно-маршрутной технологии (выбору наиболее эффективных методов обработки) чисто интуитивно, ссылаясь на свой собственный опыт, а не на научную теорию, что, несомненно, не отвечает требованиям рыночной экономики по созданию конкурентоспособной машиностроительной продукции.

**Изложение основного материала.** Все возрастающие требования к качеству и точности обрабатываемых поверхностей деталей, повышению производительности обработки предопределяют необходимость получения более общих технологических решений на основе создания фундаментальной физико-математической теории механической обработки. В особой мере это относится к финишным операциям, которые наиболее ответственны за окончательное формирование параметров точности, качества и эксплуатационных свойств обрабатываемых поверхностей деталей машин.

Это чрезвычайно важно именно сейчас, когда на предприятия поступают современные высокооборотные станки с ЧПУ и компьютерная техника, с помощью которой можно автоматизировать проектные работы, выбирать оптимальные варианты операционно-маршрутной технологии на основе количественных расчетов. Для этого необходима эффективная практическая формализованная теория технологии машиностроения, механической и физико-технической обработки, доведенная до уровня инженерных формул. Это позволит с единых позиций произвести оптимизацию параметров лезвийной и абразивной обработки и получить оптимальные технологические решения, обеспечивающие выбор наиболее эффективных методов обработки в широких диапазонах изменения технологических параметров. Это также позволит научно обоснованно подойти к раскрытию (уточнению) физической сущности процессов обработки и установлению их технологических возможностей с точки зрения повышения производительности, точности и качества обработки, а также теоретическому обобщению основных результатов обработки, достигнутых разными методами обработки.

В связи с этим авторами разработана физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения [4–6], которая, в

отличие от известных теорий, позволяет с единых позиций аналитически описать основные технологические параметры обработки, на качественно новом фундаментальном уровне раскрыть физические закономерности разных методов механической обработки и обосновать их технологические возможности. Причем, все теоретические решения доводятся до простых инженерных формул, которые можно использовать как в научных целях, так и для решения конкретных практических задач непосредственно в заводских условиях. Это открывает широкие перспективы решения оптимизационных технологических задач направленного выбора наиболее эффективных методов механической обработки при проектировании технологических процессов и особенно операций финишной обработки, когда необходимо обеспечить высокие требования по точности и качеству обрабатываемых поверхностей и одновременно снизить трудоемкость обработки.

Поэтому на основе данной теории решена важная научно-практическая проблема повышения точности, качества и производительности обработки ответственных высокоточных деталей путем разработки и внедрения высокоэффективных технологий механической обработки с использованием современных высокооборотных станков с ЧПУ, прогрессивных конструкций лезвийных и абразивных инструментов и новых кинематических схем высокоскоростной обработки. Это позволило перевести обработку ряда сложных деталей гидравлической аппаратуры на новые более эффективные технологии, т.е., по сути, провести техническое перевооружение предприятий и выйти на качественно новый уровень производства.

Суть разработанной физико-математической теории процессов обработки материалов и технологии машиностроения заключается в математическом представлении с единых позиций основных закономерностей силовой и тепловой напряженности механической обработки с учетом такого важнейшего параметра как энергоемкость обработки. Для этого разработаны математические модели определения сил и температуры резания, упругих перемещений, которые возникают в технологической системе и в большинстве случаев определяют точность механической обработки. Аналитически описаны закономерности формообразования поверхностей и съема материала при лезвийной и абразивной обработках. В результате получены расчетные зависимости для определения основных параметров шероховатости обработанных поверхностей и обоснованы условия их уменьшения. Решены оптимизационные технологические задачи с использованием критериев наибольшей производительности и наименьшей себестоимости обработки. Теоретически определены условия обработки, которые исключают образование на обрабатываемых поверхностях прижогов, микротрещин и других температурных дефектов. Определена максимально возможная производительность обработки и оптимальные режимы резания с учетом ограничений по точности, шероховатости и качеству обрабатываемых поверхностей. В результате появилась возможность направленного выбора эффективных методов обра-

ботки и осуществления обоснованного перехода на финишных операциях, например, от абразивного шлифования к лезвийной обработке или от процессов резания к процессам пластического деформирования обрабатываемых материалов и т.д. На основе полученных теоретических решений произведена разработка и выбор оптимальных схем обработки, которые внедрены на ряде операций финишной механической обработки деталей гидравлической аппаратуры и обеспечивают их высококачественную бездефектную обработку.

В теории большое внимание уделено разработке технологий изготовления высокоточных отверстий в деталях гидравлической аппаратуры, поскольку их удельный вес в общем технологическом цикле обработки значителен и составляет 50 % и более. Так, предложено при финишной обработке отверстий использовать прогрессивный метод высокоскоростного фрезерования концевыми фрезами, который обеспечивает высокопроизводительную и высокоточную бездефектную обработку и является чрезвычайно перспективным направлением в механической обработке.

Как показывает практика, применение разработанных технологий механической обработки и современных высокооборотных станков с ЧПУ позволяет резко сократить трудоемкость прецизионной обработки сложных деталей гидравлической аппаратуры (изготовленных из высокопрочных сплавов и сталей). Так, при изготовлении сложных корпусных деталей, которые раньше требовали, например, до 200 операций механической обработки (особенно финишной обработки), за счет применения новых технологий и современного оборудования количество операций сократилось до 2 раз. Это позволило существенно снизить трудоемкость обработки деталей при обеспечении необходимых показателей точности и качества.

В качестве примера приведено новое теоретическое решение об определении технологических возможностей уменьшения погрешностей обработки при растачивании отверстий, обусловленных упругими перемещениями, возникающими в технологической системе.

Так, величина упругого перемещения  $y$ , возникающего в технологической системе при первом проходе инструмента, определяется зависимостью [7]:

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{pez}}{\sigma \cdot S}\right)}, \quad (1)$$

где  $t$  – глубина резания, м;

$c$  – жесткость технологической системы, Н/м;

$S$  – подача, м/об.;

$\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;

$K_{pez} = P_z / P_y$ ;

$P_y, P_z$  – соответственно радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, Н.

Уменьшить величину  $y$  можно уменьшением параметров  $\sigma, S, t$  и увеличением  $c$  и  $K_{pez}$ . Очевидно, уменьшение подачи  $S$  и глубины резания  $t$

ведет к снижению производительности обработки, что неэффективно. Поэтому целесообразно уменьшать отношение  $\sigma / K_{pez}$  (которое определяет, по сути, энергоемкость обработки) и увеличивать жесткость технологической системы  $c$ .

Уменьшить отношение  $\sigma / K_{pez}$  можно повышением режущей способности инструмента (применением более твердых и износостойких инструментальных материалов, а также износостойких покрытий инструментов) и снижением интенсивности трения в зоне резания.

При условии  $\frac{c \cdot K_{pez}}{\sigma \cdot S} > 1$  зависимость (1) принимает упрощенный вид:

$$y = \frac{\sigma \cdot Q}{c \cdot K_{pez} \cdot V}, \quad (2)$$

где  $Q = S \cdot t \cdot V$  – производительность обработки, м<sup>3</sup>/с;  
 $V$  – скорость резания, м/с.

Как следует из зависимости (2), увеличить производительность обработки  $Q$  при заданной погрешности обработки, обусловленной величиной упругого перемещения  $y$ , можно в первую очередь за счет увеличения скорости резания  $V$ , т.е. переходом в область высокоскоростного резания. При этом также эффективно уменьшать отношение  $\sigma / K_{pez}$  и увеличивать жесткость технологической системы  $c$ .

При условии  $\frac{c \cdot K_{pez}}{\sigma \cdot S} < 1$  фактически справедливо соотношение  $y \approx t$ . В этом случае съем металла практически отсутствует, а в технологической системе образуются упругие перемещения, соизмеримые с глубиной резания. Это связано с низкой жесткостью технологической системы  $c$  или со значительным затуплением инструмента и соответственно увеличением отношения  $\sigma / K_{pez}$ . В результате происходит своего рода копирование исходной погрешности обрабатываемой поверхности, т.е. исходная погрешность обработки отверстий не устраняется.

В этом случае величина упругого перемещения  $y$  определяет точность размера обрабатываемой поверхности: чем меньше  $y$ , тем она выше. Наряду с обеспечением точности размера обрабатываемой поверхности, при обработке отверстия важно выполнить требования по точности формы обрабатываемой поверхности. Поэтому представляет интерес аналитическое определение погрешности обработки отверстия в виде ее несоосности, которая является одним из основных параметров точности обработки отверстия (рис. 1 [8]).

Предположим, что исходная несоосность обрабатываемого отверстия равна величине  $\Delta_0$  (расстоянию между центром исходной окружности отверстия  $O_0$  и положением оси инструмента до обработки  $O_1$ ). Тогда величины упругих перемещений  $y_1$  и  $y_2$ , которые возникают в технологической системе в моменты ре-

зания с наибольшей  $(t + \Delta_0)$  и наименьшей  $(t - \Delta_0)$  глубинами резания, определяются:

$$y_1 = \frac{(t + \Delta_0)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)}; \quad (3)$$

$$y_2 = \frac{(t - \Delta_0)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)}, \quad (4)$$

где  $t = (D - d)/2$ ;

$d$ ,  $D$  – соответственно, диаметры обработанного и обрабатываемого отверстий, м.

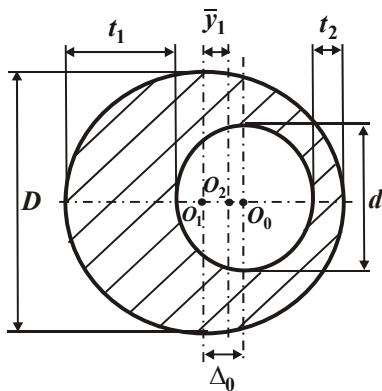


Рис. 1 – Расчетная схема определения несоосности обрабатываемого отверстия при растачивании

Несоосность обрабатываемого отверстия, которая равна расстоянию между положениями оси инструмента до обработки  $O_1$  и при его первом проходе  $O_2$ , определится:

$$\bar{y}_1 = y_1 - y_2 = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)}. \quad (5)$$

Из зависимости (5) следует, что основным путем уменьшения величины  $\bar{y}_1$  является уменьшение  $\Delta_0$ . Остальные параметры, которые входят в зависимость (5), влияют на величину  $\bar{y}_1$  так же, как и на величину упругого перемещения  $y$  в зависимости (1). Поэтому закономерности формирования величин  $y$  и  $\bar{y}_1$  одни и те же. Отличие состоит лишь в количественных значениях глубины резания  $t$  и величины  $2\Delta_0$ , которые входят в зависимости (1) и (5). При условии  $t > 2\Delta_0$  точность обработки отверстия обусловлена точностью размера, а при условии  $t < 2\Delta_0$ , наоборот, точностью формы обрабатываемого отверстия.

Необходимо определить, насколько уменьшится несоосность отверстия при втором проходе инструмента. В этом случае наибольшая и наименьшая глубины резания соответственно выражаются:  $(t + y_1)$  и  $(t + y_2)$ , где  $y_1$ ,  $y_2$  – величины упругих перемеще-

ний, которые возникают в технологической системе и определяются зависимостями (3) и (4). Тогда несоосность обрабатываемого отверстия при втором проходе инструмента определится зависимостью, аналогичной зависимости (5):

$$\begin{aligned} \bar{y}_2 &= \frac{(t + y_1)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)} - \frac{(t + y_2)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)} = \\ &= \frac{\bar{y}_1}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)} = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)^2}. \quad (6) \end{aligned}$$

Сравнивая зависимости (5) и (6) видно, что величина  $\bar{y}_2$  всегда меньше величины  $\bar{y}_1$ , поскольку знаменатель зависимости (6) больше знаменателя зависимости (5). Следовательно, увеличение количества проходов инструмента приводит к уменьшению несоосности обрабатываемого отверстия.

Аналогично зависимости (6), можно определить несоосность обрабатываемого отверстия, т.е. величину  $\bar{y}_n$  после  $n$ -го прохода инструмента:

$$\bar{y}_n = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)^n}. \quad (7)$$

Из зависимости (7) вытекает, что величина  $\bar{y}_n$  с увеличением количества проходов инструмента  $n$  уменьшается по закону геометрической прогрессии, т.е. довольно интенсивно. Поэтому заданную величину  $\bar{y}_n$  можно достичь за относительно небольшое количество проходов инструмента. Однако это справедливо при условии  $\frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S} > 1$ . При условии  $\frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S} < 1$  добиться снижения несоосности отверстия с увеличением количества проходов инструмента  $n$  значительно сложнее, так как сьем металла фактически отсутствует и исправление погрешности формы отверстия не происходит – имеет место копирование исходной погрешности обработки.

Необходимо отметить, что зависимость (7) не содержит глубину шлифования  $t$ . Следовательно, с одинаковой эффективностью обработку можно выполнять как по схеме выхаживания, т.е. без поперечной подачи, так и по схеме обработки с поперечной подачей. Однако во втором случае обеспечивается высокопроизводительный сьем металла, что предполагает широкое практическое использование схемы обработки с поперечной подачей.

Необходимо отметить, что величина упругого перемещения  $y$  (которая определяет точность размера обрабатываемого отверстия) с увеличением количества проходов инструмента  $n$ , как показано в работе [4], непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к определенному значению. Поэтому с точки зрения повышения точности размера обрабатываемого отверстия целесообразно сьем припуска осу-

ществлять за один или несколько проходов инструмента, а с точки зрения повышения соосности отверстия, наоборот, необходимо увеличивать количество проходов инструмента  $n$ .

**Выводы.** В работе сформулированы основные условия повышения эффективности механической обработки высокоточных деталей машин на основе применения прогрессивных методов высокоскоростного резания на современных станках с ЧПУ типа “обрабатывающий центр” и высокопроизводительных сборных конструкций режущих инструментов с износостойкими покрытиями. Показана эффективность применения разработанной физико-математической теории процессов обработки материалов и технологии машиностроения, которая позволяет с единых позиций производить теоретический анализ и оптимизационные расчеты технологических параметров лезвийной и абразивной обработки. Приведено новое теоретическое решение об определении технологических возможностей уменьшения погрешностей обработки при растачивании отверстий, обусловленных упругими перемещениями, возникающими в технологической системе. Теоретически установлено, что с увеличением количества проходов инструмента погрешности обработки уменьшаются довольно интенсивно – по закону геометрической прогрессии. Поэтому с точки зрения повышения точности размера обрабатываемого отверстия целесообразно съём припуска осуществлять за один или несколько проходов инструмента, а с точки зрения повышения соосности отверстия, наоборот, необходимо увеличивать количество проходов инструмента.

#### Список литературы:

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
2. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов / А.А. Маталин. – М.: Машиностроение, 1970. – 390 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах: Т.1 / Под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мецгерякова. – 4-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. “Точность обработки деталей машин”. – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. “Концепции развития технологии машиностроения”. – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.
7. Полянський В. І. Технологічне забезпечення якості та продуктивності механічної обробки отворів в деталях гідроапаратури: автореф. дис. ... кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування / В.І. Полянський. – Маріуполь: ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, 2012. – 21 с.
8. Іванов І. Є. Технологічне забезпечення точності і стабільності виготовлення різьбових отворів у балонах в умовах масового виробництва: автореф. дис. ... кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування / І.Є. Іванов. – Маріуполь: Приазовський державний технічний університет, 2008. – 21 с.

#### References (transliterated)

1. Bobrov V.F. Osnovy teorii rezaniya metallov / V.F. Bobrov. – M.: Mashinostroyeniye, 1975. – 343 s.
2. Matalin A.A. Tochnost' mekhanicheskoy obrabotki i proyektirovaniye tekhnologicheskikh protsessov / A.A. Matalin. – M.: Mashinostroyeniye, 1970. – 390 s.
3. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya. V 2-kh tomakh: T.1 / Pod redaktsiyey A.G. Kosilovoy i R.K. Meshcheryakova. – 4-ye izdaniye, pererab. i dop. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 656 s.
4. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniya / Pod obshch. red. F.V. Novikova i A.V. Yakimova. V desyati tomakh. – T. 1. “Mekhanika rezaniya materialov” – Odessa: ONPU, 2002. – 580 s.
5. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniya / Pod obshchey redaktsiyey F.V. Novikova i A.V. Yakimova. V desyati tomakh. – T.7. “Tochnost' obrabotki detaley mashin”. – Odessa: ONPU, 2004. – 546 s.
6. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniya / Pod obshch. red. F.V. Novikova i A.V. Yakimova. V desyati tomakh. – T. 10. “Kontseptsii razvitiya tekhnologii mashinostroyeniya”. – Odessa: ONPU, 2005. – 565 s.
7. Polyans'kiy V. I. Tekhnologichne zabezpechennya yakosti ta produktivnosti mekhanichnoy obrobki otvoriv v detalyakh gidroaparaturi: avtoref. dis. ... kandidata tekhnichnikh nauk za spetsial'nistyu 05.02.08 – tekhnologiya mashinobuduvannya / V. I. Polyans'kiy. – Mariupol': DVNZ “Priazovskiy derzhavniy tekhnichniy universitet”, 2012. – 21 s.
8. Ivanov I. E. Tekhnologichne zabezpechennya tochnosti i stabil'nosti виготовлення різьбових отворів у балонах в умовах масового виробництва: avtoref. dis. ... kandidata tekhnichnikh nauk za spetsial'nistyu 05.02.08 – tekhnologiya mashinobuduvannya / I. E. Ivanov. – Mariupol': Priazovskiy derzhavniy tekhnichniy universitet, 2008. – 21 s.

Поступила (received) 26.10.2017