

УДК 658.512; 004.652
DOI: 10.30987/article_5d2635cb8bb590.52117741

Ю.Л. Чигиринский, д.т.н.
(ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет,
400005, Россия, Волгоград, пр. им. Ленина, 28)
E-mail: julio-tchigirinsky@yandex.ru

Информационная структура маршрутного технологического проектирования

На основании анализа функциональных возможностей современных информационных систем обоснована применимость многомерных комбинированных информационных структур для построения информационного обеспечения систем автоматизации технологической подготовки машиностроительного производства. Разработана математическая модель данных для формализованного решения задачи построения элементарных технологических маршрутов обработки поверхности в случае применения комплексных показателей качества, определяемых эксплуатационными свойствами изделий.

Ключевые слова: технологическое проектирование; комплекс показателей качества изделия; многомерная информационная структура; маршрут обработки; OLAP; структурная оптимизация.

Yu.L. Chigirinsky, Dr. Sc. Tech.
(FSBEI HE Volgograd State Technical University, 28. Lenin Avenue, Volgograd, Russia, 400005)

Information structure of route technological designing

On the basis of the analysis of functional potentialities of modern information systems the applicability of multidimensional combined information structures is substantiated for the formation of the information support of technological pre-production automation systems of engineering production. There is developed a simulator of data for the formalized solution of the problem of elementary technological route formation for surface processing in case of quality complex indices application defined by product operation properties.

Keywords: technological design; complex of product quality indices; multi-dimensional information structure; processing route; OLAP; structural optimization.

Введение

Задачи проектирования маршрутной технологии механической обработки всегда сводятся к решению проблемы гарантированного обеспечения требований точности и качества изделия, заданных в конструкторской документации. До недавнего времени [1, 2] большая часть рабочих чертежей изделий машиностроения содержала обязательные требования в отношении размерной точности, допустимых погрешностей формы и взаимного расположения поверхностей и допустимых микрогеометрических, чаще всего высотных, параметров микрорельефа (рис. 1). Отметим, что величины технологических допусков на размер, приведенные в правой части таблицы, представляют собой избыточную информацию – поскольку могут быть определены исходя из качества точности и номинального значения выполняемого при обработке размера.

4. Точность и качество поверхности при обработке наружных ц

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски диаметра				
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
Обтачивание: черновое	50–6,3	120–60	14	–	–	–	–	620
			13	180	220	270	330	390
			12	120	150	180	210	250
получистовое или однократное	25–1,6	50–20	13	180	220	270	330	390
			12	120	150	180	210	250
чистовое	6,3–0,4	30–20	11	75	90	110	130	160
			10	48	58	70	84	100
			9	30	36	43	52	62
			8	18	22	27	33	39

Рис. 1. Фрагмент таблицы точности («Справочник технолога-машиностроителя» под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, 1986)

Однако современное машиностроительное производство ориентировано не просто на выполнение требований качества обработки, а на обеспечение требуемых эксплуатационных

свойств отдельных деталей и изделий в целом. Эксплуатационные свойства изделия определяются [2] комплексом показателей (на примере ряда машиностроительных предприятий Нижневолжского региона), кроме уже названных, включающих еще и физико-механические характеристики поверхностного слоя. В конструкторской документации определяются требования в отношении предельной глубины поверхностного слоя с измененными физико-механическими свойствами (т. н. дефектного слоя), реже – знак и уровень остаточных напряжений I рода, дополнительно к традиционным высотным (Ra или Rz), нормируются высотные (R_{max}), шаговые (S , S_m , t_p) параметры микропрофиля и направление шероховатости. Расширение набора нормируемых показателей диктует необходимость применения, в маршрутном технологическом проектировании, информационных структур, обеспечивающих возможность формализованного решения инженерных задач с использованием современных математических методов [4, 7] быстрого поиска и допускающих достаточно компактное хранение данных о технологических возможностях методов механической обработки.

Информационное обеспечение технологического проектирования

Традиционно, в качестве информационного обеспечения индивидуального маршрутного технологического проектирования рассматривают табличные логические модели. Справедливость такого утверждения для случаев проектирования «вручную» были обоснованы ранее [4]. В качестве основной справочной информации применяются таблицы точности обработки, содержащие сведения о достижимых различными методами обработки значениях отдельных показателей точности и качества обработки. Использование табличной информационной модели оправдано:

- относительной «привычностью» именно такой формы представления справочной информации;

- сравнительно небольшими объемами информации, заключенными в таблицах точности – в различных справочных изданиях, применяемых технологами в обозримое время (от середины XX в. до настоящего времени) содержатся сведения не более чем о 200 методах механической и физико-технической обработки различных поверхностей. Соответственно и количество записей в такой «всеобъемлющей»

таблице также может составлять не более 200. Учитывая, что для каждого технологического метода заполняется не более восьми информационных полей, можно говорить о максимальном, на сегодняшний день, объеме такой таблицы в пределах 20...25 КВ. С учетом особенностей программной реализации конкретных САПР этот объем может незначительно вырасти. В любом случае, эта величина не может рассматриваться как серьезное ограничение с точки зрения вычислительных ресурсов современных компьютеров.

Для работы с традиционными таблицами точности используется информационная технология, получившая в специальной литературе [6] название OLTP (англ. *Online Transaction Processing*) – обработка транзакций в реальном времени. Способ организации БД, при котором система работает с небольшими по размерам информационными массивами и часто повторяющимися запросами. При этом от системы требуется минимальное время отклика. Термин OLTP применяют также к программным продуктам (приложениям). OLTP-системы предназначены для ввода, структурированного хранения и обработки информации (операций, документов) в режиме реального времени.

Существенные проблемы при использовании традиционных таблиц точности могут представлять следующие аспекты:

- использование только табличной модели допускает формализованный поиск единственного технологического перехода, поскольку критерии изменения показателей качества / точности в таких информационных массивах отсутствуют. Как правило, речь идет только о последнем переходе в технологической последовательности – технолог уверенно знает значения технологических показателей качества, приведенные конструктором на рабочем чертеже детали;

- преобразование традиционных таблиц точности в так называемые вероятностные [4, 7], приводит к резкому увеличению объема информационных массивов, поскольку для построения вероятностных таблиц необходимо рассмотреть все возможные попарные сочетания методов обработки и, для каждого сочетания методов и для каждого критерия качества, рассчитать дополнительно не менее 4 числовых значений. Пример расчета изменения объема информации для $N = 200$ методов обработки и комплекса из $k = 4$ критериев качества приведен далее (1):

$$\delta = \frac{(N - 1) \cdot 4 \cdot k \cdot v + 100 + 2 \cdot k \cdot v}{2 \cdot k \cdot v + 100} \Big|_{N=200, k=4}; \delta \approx 130, \quad (1)$$

здесь $v = 6$ – объем информации, обозначаемый одним числовым значением (вещественное число обычной точности); 2 – количество уровней значения каждой числовой величины (2 уровня – наименьшее и наибольшее) в традиционных таблицах точности; 4 – количество уровней значения каждой числовой величины (4 уровня – наименьшее, наибольшее, среднее, вероятность) в вероятностных таблицах точности; 100 – объем дополнительной информации для каждой записи информационной базы.

Очевидно, что при ужесточении требований к качеству продукции машиностроительных предприятий, т. е., при увеличении количества нормируемых критериев качества обработки [2] и при появлении в арсенале технологов новых комбинированных методов обработки [1] увеличение объема информационных массивов будет прогрессировать (рис. 2). В этой ситуации необходимо изменять сами принципы построения информационных подсистем инженерного проектирования.

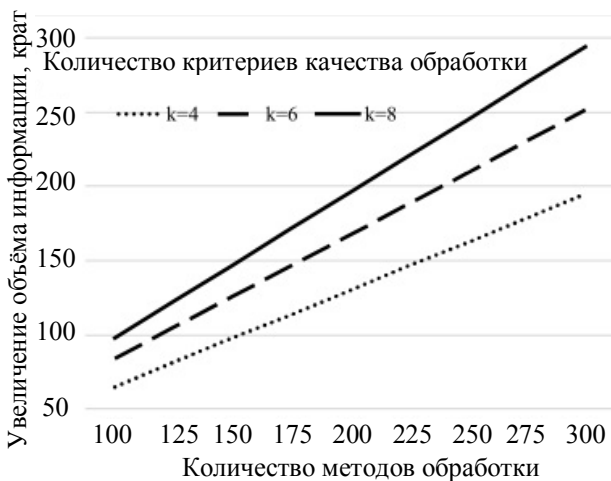


Рис. 2. Изменение объема информационных массивов в зависимости от количества нормируемых параметров качества обработки при переходе к вероятностным таблицам точности

В качестве одного из возможных методов решения возникающей проблемы рассмотрим технологию хранения и обработки больших объемов информации с использованием многомерных информационных структур – OLAP-систем [5, 6].

OLAP (англ. *Online Analytical Processing*) – технология обработки данных, заключающаяся в подготовке суммарной (агрегированной) информации на основе больших массивов данных, структурированных по многомерному принципу [5]. В специальной литературе в качестве синонима используется также термин «информационный гиперкуб» (рис. 3).

В классическом [5, 6] представлении OLAP-куб потенциально содержит всю информацию, которая может потребоваться для ответов на запросы к системе: исходную информацию, сохраненные запросы и, т. н., «агрегированную» информацию – результаты выполнения запросов или «агрегаты» (терминологии OLAP приведены в работе [5]). При повторении запросов новый расчет не производится – соответствующий «агрегат» извлекается из сохраненного ранее массива. Полный расчет производится только для новых запросов.



Рис. 3. Общая схема OLAP-структуры

Существует три основных подвида OLAP-структур, различающихся по структуре исходной и результирующей информации (табл. 1).

Маршрутное проектирование на основе вероятностных таблиц точности

Как следует из анализа функциональных возможностей (см. табл. 1) различных многомерных информационных структур, общим их свойством является требование о достаточности и непротиворечивости исходной информации. В качестве основы для построения исходной информации рассмотрены традиционные плоские таблицы точности обработки. В работах [3, 4, 7 и др.] статистически обосновано

ван факт определенной неоднородности (а, следовательно, и неоднозначности) данных, составляющих плоские таблицы точности. Недостаточность (недостаточная полнота) таблиц точности определяется отсутствием данных об изменении значений критериев качества и точности по ходу технологического процесса при выполнении каждой пары смеж-

ных методов обработки. Эти два момента определяют не только невозможность применения многомерных структур данных для построения информационных средств формализованного маршрутного проектирования, но и невозможность собственно формализованного проектирования.

1. Общепринятая классификация OLAP

	Многомерная <i>MOLAP</i> (англ. <i>Multidimensional</i>)	Реляционная <i>ROLAP</i> (англ. <i>Relational</i>)	Гибридная <i>HOLAP</i> (англ. <i>Hybrid</i>)
Базовая информация	хранится в единой многомерной БД	хранится в реляционной БД	хранится в реляционной БД
Результат выполнения запроса	хранится в единой многомерной БД	хранится в создаваемой по запросу реляционной БД или во вновь создаваемой таблице единой реляционной БД	хранится в многомерной БД
<i>*примечание</i>	<i>термин используется как синоним OLAP[0]</i>	<i>частный случай – «ROLAP реального времени» (R-ROLAP), – агрегированный массив данных формируется и существует только в момент запроса</i>	
Область применения	базовая информация небольшого объема	большие объемы исходной информации	масштабируемое решение для любых исходных данных
Положительные особенности	относительно высокое быстродействие	возможность минимизировать объем хранимых агрегированных данных <i>R-ROLAP</i> позволяет обрабатывать <i>OLTP</i> в реальном времени	при корректном построении структуры данных и запросов – аккумулирует достоинства <i>MO-LAP</i> и <i>ROLAP</i>
Отрицательные особенности	большой объем хранимых агрегированных данных	относительно низкое быстродействие	
	сложность создания запросов и построения информационной структуры		
	исходная информация должна быть полной и непротиворечивой		

Вопрос о недостаточной однородности, или, говоря более строго, о недостаточной статистической достоверности данных о технологических возможностях отдельных методов обработки решается построением классических таблиц точности, адаптированных под конкретное производство [3]. Так, например, технологическая экспертиза части механообрабатывающего производства ПО «Баррикады» (г. Волгоград), проведенная в период 2013-2017 гг., позволила установить, что технологические допуски некоторых методов обработки плоских поверхностей – черновое и получистовое фрезерование, получистовое и чистовое шлифование, – не только отличаются от представленных в общепринятой разных цехов в пределах одного предприятия.

Объяснение причин подобных расхождений должно быть темой отдельного исследования, выходящего за границы данной работы. Кластеризация оборудования по технологиче-

ским возможностям позволяет существенно повысить статистическую достоверность исходных справочных данных, но, также весьма существенно – в разы, – увеличивает объем массивов данных. Отметим, что увеличение объема вероятностных таблиц точности примерно пропорционально квадрату увеличения объема исходной информации.

В рассмотрении были взяты два, наиболее часто нормируемых [2], показателя качества обработки: размерная точность, оцениваемая по номеру качества точности (дискретная [4] случайная величина, приращение которой определяется разностью значений до и после обработки); и среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости *Ra* (непрерывная [4] случайная величина, приращение которой определяется отношением (рис. 4) значений до и после обработки).

Были построены три варианта вероятностных таблиц точности [3, 7]: в соответствии с

общепринятыми справочными данными; в соответствии с результатами обследования предприятия в целом; для групп механообра-

батывающих цехов со сходными технологическими допусками исследованных методов обработки.



Рис. 4. Элементы слоя вероятностной таблицы точности (пример)

На базе построенных таблиц сгенерированы, с использованием модифицированного [3, 7] алгоритма Дейкстры, элементарные технологические маршруты изготовления плоских поверхностей, оптимальные по критерию «надежность технологического процесса» [4]. Сравнение построенных элементарных маршрутов с технологиями действующего производства показало наилучшие результаты для вероятностных таблиц, построенных для конкретных цехов и групп цехов.

Таким образом, можно считать достаточно обоснованным тезис о перманентном увеличении объемов информации, используемой в процессе технологического проектирования и, соответственно, о необходимости модернизации информационного обеспечения проектных работ под «большие данные».

Структура OLAP-куба для технологического маршрутного проектирования

В результате анализа функциональных возможностей (см. табл. 1) OLAP-систем можно прийти к заключению о рациональности использования в качестве информационного обеспечения маршрутного проектирования, структур относящихся к группе HOLAP – гибридных. Особенность этих структур заключается в достаточно «мягких» требованиях к организации данных:

– исходная информация может храниться в реляционных базах данных, частным случаем которых являются плоские таблицы. Такая информационная модель поддерживается

большинством современных САПР технологического назначения и, соответственно, адаптация существующих программных продуктов под возрастающие объемы данных, может быть выполнена относительно несложными методами;

– информационная модель в виде плоской таблицы привычна и понятна большинству специалистов-технологов – как правило, не являющихся серьезными профессионалами в области информационных технологий, – на «интуитивном» уровне. Следовательно, можно говорить об относительно несложной «адаптации пользователей» технологических САПР к новым проектным методикам, использующим большие объемы данных;

– алгоритмы поиска и генерации рациональных и оптимальных технологических последовательностей могут быть сохранены в библиотеке типовых проектных процедур в виде реляционной базы данных, подключаемой к программному продукту САПР. Такой подход позволяет модифицировать алгоритмы отдельных проектных процедур и дополнять библиотеку новыми без изменения программного кода САПР;

– построенные в результате выполнения поисковых запросов, элементарные технологические маршруты могут существовать только в момент решения задачи в виде «виртуальной» реляционной базы данных или сохраняться в реляционной базе данных агрегированной информации – так, как это предусмотрено структурой ROLAP. Вместе с этим, предусмотрена возможность сохранения результатов проектирования в самостоятельной

(HOLAP) или единой с исходными данными (OLAP, MOLAP) многомерной базе данных;

– масштабируемость HOLAP-структуры позволяет, при необходимости, модифицировать исходные информационные массивы в многомерную базу данных, т. е., перейти к классической OLAP-структуре с единой базой данных.

Последняя особенность может быть полезна в случае укрупнения системы – перехода от локальных баз данных, функционирующих в масштабах цеха или группы цехов со сходными технологическими возможностями, к единой информационной системе предприятия и далее. Функциональные возможности многомерных информационных структур позволяют аккумулировать технологический опыт, накопленный в масштабе предприятия, корпорации, отрасли, не теряя при этом «индивидуальные» технологические особенности каждого элемента «глобальной» базы данных.

Основу OLAP-куба составляют отдельные «слои» (см. рис. 2), каждый из которых представляет самостоятельную вероятностную таблицу точности, описывающую изменение одного из нормируемых критериев качества обработки для каждого попарного сочетания всех рассматриваемых технологических методов. Количество слоев OLAP-куба определяется количеством нормируемых показателей качества обработки. Кроме того, в OLAP-структуру входит дополнительный слой, описывающий совокупность всех маршрутов обработки, позволяющих обеспечить выполнение комплекса требований в отношении качества окончательно обработанной поверхности и слоев, описывающие затраты на выполнение каждого из условно возможных технологических переходов. Затраты могут оцениваться по величине технологической себестоимости, затратам на режущий инструмент, на энергоресурсы, на заработную плату и т. д.

Все слои OLAP-куба имеют одинаковую структуру, совпадающую со структурой отдельного слоя (см. рис. 4) вероятностной таблицы точности. В свою очередь, каждая вероятностная таблица точности состоит из нескольких слоев одинаковой структуры [3, 4]. Каждый слой вероятностной таблицы представляет собой матрицу смежности ориентированного взвешенного полного графа, т. е., графа, в котором каждая вершина соединена дугами со всеми остальными вершинами.

Вершинами графа считается состояние поверхности, сформированное после каждого выполненного технологического перехода. В

качестве дуг рассматриваются собственно технологические переходы. Весовые характеристики дуг различаются для разных слоев одной вероятностной таблицы, поскольку определяются минимальными, средними и максимальными величинами изменения отдельного показателя качества обработки при выполнении соответствующего перехода. В двух дополнительных слоях вероятностной таблицы в качестве весов дуг указаны статистические оценки существенности изменения критерия качества обработки – коэффициент вариации изменения рассматриваемого критерия и значение вероятности изменения, рассчитанное по величине коэффициента вариации в соответствии с т. н. «пессимистическим» прогнозом [4]. Такой подход возможен при рассмотрении показателей качества обработки как случайной величины [3, 4, 7].

Графическое представление зависимости (2) вероятности $\Phi(V)$ изменения критерия от величины коэффициента вариации V приведена на рис. 5.

Значение вероятности, меньшее некоторого, наперед заданного (доверительного) значения, считается равным нулю – изменение критерия качества на рассматриваемой паре технологических переходов считается несущественным. Включение смежных переходов, для которых рассчитан нулевой вес дуги, в технологическую последовательность не имеет смысла.

Элементарные технологические маршруты, обеспечивающие существенное изменение каждого нормируемого критерия качества, определяются как последовательность дуг ненулевого веса, соединяющих исходную (состояние обрабатываемой поверхности – «поверхность готовой детали») и конечную («заготовка») точки сети. Отметим, что построение маршрута начинается всегда от «поверхности готовой детали», поскольку в начале проектирования технологу известны значения нормируемых показателей качества и точности, указанные на рабочем чертеже.

Известно, что задача поиска рациональных путей в многомерной сети отличается большой вычислительной сложностью. Выделяя в вероятностных таблицах, созданных для каждого нормируемого критерия качества обработки, отдельные слои, содержащие значения весов, рассчитанных с учетом доверительной вероятности, и равных «0» либо «1» можно, выполнив несложные логические преобразования [4, 7], перейти от многомерной транспортной сети к плоскому графу и рассчитать

рациональный путь относительно несложными методами. После определения рационального пути можно «вернуться» к реальным количественным весовым характеристикам сети

и выполнить расчет затрат и оптимизацию уже для ограниченного множества рациональных решений.

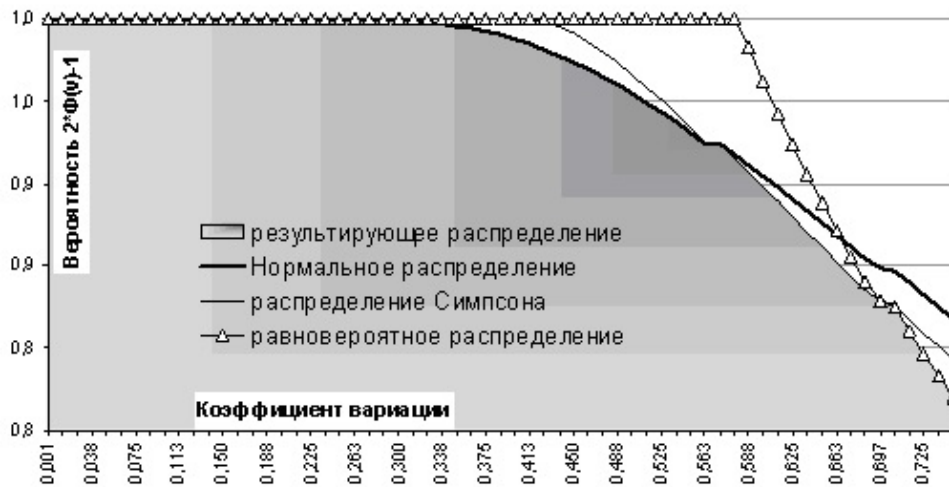


Рис. 5. Значимость изменения критерия качества обработки

$$\Phi(V) = 2 \cdot \min \left(\begin{array}{l} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{1/V} V^{-2} \cdot e^{-0,5 \cdot V^{-2}} dV; \\ 0,5 + \frac{1}{V \cdot \sqrt{6}} + \frac{1}{12 \cdot V^2}; \\ 0,5 + \frac{1}{2 \cdot V \cdot \sqrt{3}} \end{array} \right) - 1. \quad (2)$$

Такой подход дополнительно увеличивает объем данных, составляющих информационное обеспечение маршрутного проектирования, но, одновременно, значительно снижает вычислительную сложность алгоритмов и повышает их быстродействие.

Выводы

1. Алгебраической структурой, наиболее подходящей для представления процесса механической обработки, является транспортная сеть. Каждый узел сети задается некоторым набором параметров, определяющих состояние изделия в соответствующий момент времени («мгновенное» состояние), – например, характеристиками точности размеров, состояния поверхности и др.

2. Рассмотрение технологических процессов механической обработки с позиций теории транспортных сетей не позволяет применять в качестве информационного обеспечения технологического проектирования классические плоские таблицы точности обработки. Описание технологии обработки изделия в виде

транспортной сети возможно с использованием многомерных вероятностных таблиц точности.

3. При использовании вероятностных таблиц точности объем данных, необходимых для маршрутного проектирования, увеличивается пропорционально квадрату количества применяемых на производстве методов обработки.

4. Ужесточение требований к качеству изделий машиностроения, выражающееся в увеличении номенклатуры нормируемых критериев качества, приводит к дополнительному увеличению суммарного объема информации.

5. Наиболее рациональными информационными структурами, ориентированными на хранение и обработку больших массивов данных, представленных многомерными моделями, можно считать OLAP-структуры. Использование в качестве информационного обеспечения гибридных HOLAP-структур позволит минимизировать сложность перехода от традиционных методик индивидуального маршрутного проектирования к оптимальному проектированию на базе вероятностных таблиц точности обработки.

6. При использовании в качестве информационной основы маршрутного технологического проектирования HOLAP-структур становится возможным аккумулирование информации о технологических допусках методов механической и физико-технической обработки в масштабах предприятия, группы предприятий, отрасли и т.д. При этом каждое отдельно взятое производственное подразделение может пользоваться «своими» данными, входящими в единый информационный массив. Подобный подход позволит проводить более полный анализ технологических возможностей существующих и вновь создаваемых методов обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Научные** основы управления качеством изделий путем модификации поверхностного слоя материалов / С. В. Сафонов, В. П. Смоленцев, В. В. Золотарев // Научно-технические технологии на современном этапе развития машиностроения: сб. науч. тр.: матер. VIII междунар. науч.-техн. конф. (г. Москва, 19-21 мая 2016 г.) / Московский автомобильно-дорожный гос. техн. ун-т (МАДИ). – Москва, 2016. – С. 201-204.
2. **Суслов, А. Г.** Конструкторско-технологическое обеспечение качества и конкурентоспособности изделий машиностроения // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 7 (73). – С. 25–28.
3. **Фирсов, И. В.** Автоматизированное проектирование планов обработки деталей при прерывистой лезвийной обработке хромосодержащих сталей и алюминиевых сплавов // Проблемы обеспечения и повышения качества и конкурентоспособности изделий машиностроения и авиадвигателестроения (ТМ-2015): Матер. 7-й междунар. науч.-техн. конф. (г. Брянск, 21-23 сент. 2015 г.). – Брянск, 2015. – С. 200-201.
4. **Чигиринский, Ю. Л.** Математические методы в технологическом проектировании // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – № 4(82). – С. 13-20.
5. **Codd, E.F., Codd, S.B., Salley, C.T.** Providing OLAP(On-Line Analytical Processing) to user-analysts // An IT mandate. – Technical report, 1993.

6. **Krzysztof, J. Cios,** Data Mining : A Knowledge Discovery Approach // Springer 2007. ISBN 978-0-387-33333-5. – pp. 123

7. **Tchigirinsky, Ju.L., Chigirinskaya, N.V., Firsov, I.V.** Structural optimization of technological route using simulation modeling // Proceedings of 2015 Int. Conf. on Mech. Eng., Automation and Control Systems (MEACS) (Tomsk, Russia, 1-4 Dec. 2015) / Tomsk Polytechnic University. – pp. 1-4. – DOI : 10.1109/MEACS.2015.7414925.

REFERENCES

1. Scientific fundamentals of product quality control through surface layer modification of materials / S.F. Safonov, V.P. Smolentsev, V.V. Zolotaryov // *Science Intensive Technologies at Modern Stage of Mechanical Engineering Development: Proceedings of the VIII-the inter. Scientif.-Tech. Conf.* (Moscow, May 19-21, 2016) / Moscow Road-transport State Technical University (MADI). – Moscow, 2016. – pp. 201-204.
2. **Suslov, A.G.** Design-technological support of quality and competitive ability of mechanical engineering produce // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering.* – 2017. – No.7 (73). – pp. 25-28.
3. **Firsov, I.V.** Automated design of parts processing plans at intermittent edge processing of chromium containing steels and aluminum alloys // Problems in support and increase of quality and competitive ability of produce of mechanical engineering and aircraft engine manufacturing (TM-2015): *Proceedings of the VII-th Inter. Scientif.-Tech. Conf.* (Bryansk, September 21-23, 2015). – Bryansk, 2015. – pp. 200-201.
4. **Chigirinsky, Yu.L.** Mathematical methods in technological design // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering.* – 2018. – No.4 (82). – pp. 13-20.
5. **Codd, E.F., Codd, S.B., Salley, C.T.** Providing OLAP (On-Line Analytical Processing) to user-analysts // An IT mandate. – Technical report, 1993.
6. **Krzysztof, J. Cios,** Data Mining : A Knowledge Discovery Approach // Springer 2007. ISBN 978-0-387-33333-5. – pp. 123.
7. **Tchigirinsky, Ju.L., Chigirinskaya, N.V., Firsov, I.V.** Structural optimization of technological route using simulation modeling // Proceedings of 2015 Int. Conf. on Mech. Eng., Automation and Control Systems (MEACS) (Tomsk, Russia, 1-4 Dec. 2015) / Tomsk Polytechnic University. – pp. 1-4. – DOI : 10.1109/MEACS.2015.7414925.

Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарев

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбкова.

Сдано в набор 30.06.2019. Выход в свет 30.08.2019.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.



Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
"Брянский государственный технический университет"
241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16