



УДК 658.512; 004.827

DOI:10.30987/2223-4608-2020-8-29-35

Ю.Л. Чигиринский, д.т.н.

(ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
400005, Россия, Волгоград, пр. им. Ленина, 28)

E-mail: olgareshetnikova1@yandex.ru, vasin@sstu.ru

Современное состояние и тенденции развития технологической подготовки машиностроительного производства

Рассмотрены подходы к формализованному решению задач технологического проектирования на начальных стадиях ТПП с учетом функциональных возможностей современных программно-информационных средств САПР. Показана необходимость и определены возможные направления цифровизации информационного обеспечения ТПП с учетом требований к полноте, достоверности, актуальности и защищенности справочных данных.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства; маршрутное проектирование; электронный справочник; требования к справочной информации; функциональные возможности САПР.

Yu.L. Chigirinsky, Dr. Sc. Tech.

(FSBEI HE Volgograd State Technical University, 28, Lenin Avenue, Volgograd, Russia, 400005)

Current state and trends in development of technological engineering pre-production

Approaches to the formalized solution of technological design problems at the initial stages of TPP taking into account functional potentialities of modern CAD program-information means are considered. There is shown necessity and possible directions of digitalization of TPP information support are defined taking into account the requirements to the completeness, reliability, actuality and protectability of reference data.

Keywords: technological pre-production; route designing; electronic reference book; requirements to reference data; CAD functional potentialities.

Введение

В рамках данной статьи рассмотрен комплекс вопросов, определяющих возможность совершенствования традиционной технологической подготовки машиностроительного производства в направлении построения «Фабрик будущего» [1, 2].

Определим базовые понятия, сложившиеся в профессиональной среде к настоящему времени [3] и закрепленные в нормативных документах.

Технологическая подготовка производства [4] (ТПП) – совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства, т. е., «наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и техно-

логической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями». ТПП предполагает последовательно-параллельное выполнение определенного комплекса функционально и смыслово завершенных работ (задач ТПП), в совокупности образующих «функцию ТПП».

Последовательность и состав задач ТПП определяется, в первую очередь, способом организации машиностроительного производства и структурой предприятия. В свою очередь, нормативные документы определяют понятие и структуру технологической подготовки производства, в достаточной степени, «рамочно».

Поэтому, говоря об автоматизации проектных работ, задачи ТПП относят к так называемым неформализованным, не имеющим строго определенного алгоритма решения и допускающим множественность корректных результатов.

Очевидно, что применение термина «неформализованная задача» ко всему комплексу работ, составляющих ТПП, является не вполне обоснованным. В результате декомпозиции комплекса мероприятий ТПП можно выделить инвариантный, по отношению к типу производства и способу технологического проектирования, набор проектных задач, от решения которых зависит и неоднозначность и технико-экономическая корректность результатов технологической подготовки и, в целом, всего производства. Речь идет о проектных задачах, решаемых на начальных стадиях ТПП – о маршрутном проектировании и выборе комплекта технологических баз. От корректности технических решений, положенных в основу всего технологического проекта, зависит, в конечном итоге, результат производства.

Возможности «технологических» САПР при решении задач ТПП

К настоящему времени количество САПР измеряется даже не десятками, а сотнями. Оставим в стороне обсуждение вопроса о том, что никакая программная система не может называться САПР, поскольку представляет собой только один из элементов проектной системы.

В промышленной эксплуатации на машиностроительных предприятиях находится лишь несколько отечественных и зарубежных программных комплексов, предназначенных для автоматизации проектных работ, например «Компас-Вертикаль», СПРУТ, АДЕМ [5] и некоторые другие. В большинстве таких систем (табл. 1) подробно проработаны вопросы автоматизации решения «формализованных», вычислительных задач, таких как расчет операционных припусков, режимов резания, определение норм времени на обработку; задач информационного поиска или формирования бланковой документации.

К разряду технологических обычно относят также задачи автоматизированной (автоматической) генерации управляющих программ обработки деталей на станках с ЧПУ. Как правило, программно-информационные комплексы, решающие эти задачи, уже называют технологическими САПР.

Из табл. 1 видно, что большинство применяемых в настоящее время программных средств автоматизации проектирования не только не соответствуют требованиям, сформулированным в документах НТИ [1, 2], но и не «закрывают» задачи традиционного технологического проектирования. В порядке исключения следует назвать комплекс автоматизированного расчета технологических процессов A'PROPOS [6, 7], функциональные возможности которого реализуют методы размерно-точностного проектирования технологии.

В технической литературе неоднократно затрагивались вопросы формализации задач маршрутного технологического проектирования, определяемые существенной неоднозначностью количественных оценок технологических допусков методов механической и физико-технической обработки.

В силу неоднозначности исходных данных, математические алгоритмы и информационные структуры, разработанные различными научными школами [5, 8, 9, 10 и др.], оказываются малоэффективными в системах автоматизации технологического проектирования.

Возможным решением проблемы повышения достоверности сведений о функциональных возможностях технологических методов является использование в производстве адаптивных самообучающихся технологических систем [11], тем более что современное металлообрабатывающее оборудование штатно оснащается определенным набором силовых, акустических и других сенсоров. Другое возможное решение может заключаться в обеспечении достаточной репрезентативности статистических выборок – именно таким сформировано большинство инженерных справочных изданий общемашиностроительного применения и, в частности, таблицы точности (экономической точности) обработки. Однако такой подход требует определенных организационных решений в части интеграции работы технологических служб в масштабах, как отдельных предприятий, так и отраслей.

Информационные модели маршрутного технологического проектирования

Существует несколько путей повышения уровня формализации маршрутного технологического проектирования.

В частности, для реализации методов типового технологического проектирования (А.П. Соколовский) используются алго-

ритмы информационного поиска. Научно-методическую базу типового подхода к разработке ТП составляет система классификации технологических процессов, в основе которой лежит классификация деталей по определенным признакам. Типовые технологические

процессы [3, разд. 17.3], характерные для одного предприятия, охватывают детали, имеющие одинаковый технологический маршрут обработки, однотипное оборудование и технологическую оснастку.

1. Возможности программного обеспечения технологических САПР

Типовая задача технологического проектирования	Программный комплекс САПР					
	TechnologiCS	A'PROPOS – Графит ТМ	ADEM	SolidWorks, SW-Technology	Компас- Вертикаль	T – FLEX Техно- Про
Конструкторское проектирование	+	±	+	+	+	+
Маршрутное технологическое проектирование:						
типовое	+	+	+	±	+	+
групповое	-	-	+	-	-	-
модульное	-	-		-	±	±
функционально-ориентированное	-	-	-	-	-	-
по заданным показателям качества / точности одной поверхности в пределах одного перехода	+	+	+	-	+	-
по заданным показателям качества / точности одной поверхности с учетом технологической наследственности при многопереходной обработке	-	+	-	-	-	-
по заданным показателям качества / точности группы поверхностей или изделия	-	±	-	-	-	-
Размерно-точностное проектирование (размерный анализ)	-	+	-	±	±	-
Техническое нормирование	+	-	+	-	+	+
Расчет операционных припусков	+	+	+	-	+	-
Формирование технологической документации	+	+	+	+	+	+
Программирование для станков с ЧПУ	+	-	+	+	+	+
Выбор оборудования и инструмента	+	-	+	+	+	+
Условные обозначения:	+	поддерживается системой				
	±	частично поддерживается системой				
	-	не поддерживается системой				

Типовой подход наиболее эффективен при технологической подготовке массового или крупносерийного производств. Типизация технологических процессов осуществляется на уровнях предприятия или отрасли. Типовое проектирование достаточно эффективно в тех случаях, когда разрабатываемые технологии опираются на проверенные решения. Однако если в качестве технологических прототипов в типовом проектировании используются недостаточно надежные или просто ошибочные технические решения, то результат проектирования также будет содержать эти ошибки.

Групповое технологическое проектирование (С.П. Митрофанов) предполагает классификацию технологических процессов по средствам технологического оснащения. Группирование деталей осуществляется, в основном, по технологическим признакам: геометриче-

ская форма, габаритные размеры, общность поверхностей, точность и шероховатость, однородность заготовок, серийность, экономичность процесса. Таким образом, в одну группу [3, разд. 17.4] объединяются детали, характеризующиеся при обработке общностью оборудования, технологической оснастки, наладки и технологического процесса.

Наиболее ответственным этапом группового технологического проектирования является разработка конструкции комплексной детали и группового ТП изготовления комплексной детали. Структура рабочего ТП изготовления каждой детали в группе наследует структуру группового ТП. Наличие общей структуры изготовления деталей группы является информационной базой для построения группового технологического маршрута. При этом рабочие технологические процессы могут

включать различные операции. Это наиболее характерно для многономенклатурного производства. В этом случае технологические процессы изготовления различных деталей, составляющих группу, характеризуются наличием общих групповых операций и разной структурой. Область применения группового технологического проектирования определяется как «... экономически целесообразное применение методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства» [12].

В основе модульного (Б.М. Базров) подхода к технологическому проектированию лежит понятие модуля поверхности и система классификации модулей. Модульный подход к разработке технологии основывается на методе «восходящего» проектирования, при котором решаются задачи синтеза структуры элементов технологического процесса [3, разд. 17.5] из структурных элементов предыдущего уровня. Основными информационными объектами элементной базы, используемыми при определении структуры технологического процесса, являются модуль поверхности и соответствующий модульный технологический процесс.

В качестве развития модульного подхода можно рассматривать конструкторско-технологические элементы (КТЭ), содержащие достаточно формализованное описание отдельных поверхностей (форма и соответствующие методы формообразования, показатели точности и качества, технологическое оборудование и технологическая оснастка) используемые в качестве информационных объектов при построении электронной модели изделия в САПР «Компас-Вертикаль».

Использование типовых, групповых и модульных методов проектирования маршрутных технологий позволяет применить для формализации задач ТПП методы математической логики и классической теории множеств. Названные информационные модели реализуют двухстадийное проектирование рабочего технологического процесса: в результате первого этапа формируется «гибкая» информационная модель ТП на некоторый класс деталей или группу поверхностей. После второго этапа, на котором выполняется конкретизация «гибкой» информационной модели, появляется «жесткая», неизменяемая информационная модель рабочего ТП изготовления конкретной детали. На стадии производства реализуется неизменяемый, не допускающий адаптации, рабочий ТП.

Эффективность технологической подготовки многономенклатурных производств может

быть повышена за счет реализации гибкой информационной модели рабочего ТП (П.Ю. Бочкарев). Основу концепции составляет классификация технологического оборудования по признаку максимального использования однотипных проектных процедур. Гибкая информационная модель ТП конкретной детали разрабатывается на стадии ТПП в один этап и включает в себя описание множества альтернативных операций. Такая информационная модель ТП на стадии оперативно-календарного планирования позволяет выбирать оптимальную, с учетом текущего состояния производства, операцию.

В основе всех названных подходов лежит концепция индивидуального технологического проектирования – на начальном этапе рассматривается отдельно взятая элементарная поверхность простой геометрической формы. Именно форма поверхности является определяющим фактором при выборе методов формообразования, а по сути, – оборудования и технологической оснастки. Параметры качества поверхности и точности ее размеров, заданные конструктором, определяют выбор конкретных технологических методов и условий их реализации.

В действительности, целью ТПП является разработка технологии изготовления детали с определенными эксплуатационными свойствами. Нужно понимать, что эксплуатационные характеристики детали, «предположенные» конструктором исходя из функционального назначения и оформленные им же в виде комплекса допусков на размеры, технических требований, материала детали и термообработки, скорее всего, окажутся совершенно другими – такими, какие сможет обеспечить технолог с учетом вариабельности физико-механических свойств конструкционного материала заготовки, наследования дефектов и погрешностей по всему ходу технологического процесса, фактического состояния инструмента, оборудования.

На стадии конструкторского проектирования в качестве критериев оптимальности машины или отдельных ее узлов, деталей, рассматриваются прогнозируемые показатели потребительских свойств изделия: долговечность, износостойкость, точность и т. д. С точки зрения технолога эти предполагаемые свойства изделия могут рассматриваться в качестве элементов системы технических ограничений в комплексной оптимизационной задаче технологической подготовки производства. Заданные (с точки зрения конструктора – оптимальные) эксплуатационные свойства изделия могут быть обеспечены различными сочетаниями параметров качества поверхности

ного слоя деталей, в частности параметров шероховатости, физико-механических свойств поверхностного слоя и т. д. и, соответственно, различными технологическими методами. Критерием оптимальности технического решения на этапе ТПП является технологическая себестоимость.

Это опять приводит к необходимости разработки математических моделей, достоверно описывающих взаимосвязи [13] эксплуатационных свойств изделия с его геометрическими, микрогеометрическими и физико-механическими характеристиками и, в конечном итоге, с технологическими условиями изготовления. Такие достоверные информационные модели могут быть получены либо за счет использования адаптивных технологических систем, либо за счет обеспечения репрезентативности справочных данных, используемых при технологическом проектировании.

В качестве промежуточного заключения можно сформулировать тезис о необходимости повышения уровня формализации задач, решаемых в процессе технологической подготовки производства. Традиционные методы, предлагаемые для решения неформализованных задач в системах автоматизации проектирования – декомпозиция, различные варианты типизации технических решений, алгоритмизация оценки корректности решения, – применительно к задачам ТПП разработаны достаточно полно. Тем не менее, эффективность применения САПР в технологии машиностроения (см. табл. 1) следует признать недостаточной. Основная, на взгляд авторов, причина кроется в неполноте и неоднозначности данных о свойствах материалов и возможностях технологических методов, с одной стороны, и в отсутствии систематизированной справочной информации, представленной в «цифровом» виде, допускающем обработку данных с использованием информационных технологий.

«Цифровой» справочник технолога

Следует отметить малую долю «электронных справочников» в общем массиве специализированной информации. Поисковый запрос: «Справочник технолога-машиностроителя», – в поисковой системе Yandex.ru «принес» более 200 ссылок (первых проверенных) на ресурсы информационной сети Internet. Из этого количества только одна ссылка рекомендовала «Универсальный технологический справочник» [14], разработанный специалистами компании АСКОН. Все остальные ссылки содержали сведения о «бумажных» версиях наиболее распространенных

справочных изданий, представленных в различных Internet-магазинах (по большей части) или электронных библиотеках.

Говоря об «Универсальном технологическом справочнике» АСКОН, отметим, что в его цифровом формате, допускающем выполнение автоматизированного поиска, представлены следующие сведения [14]: «паспортные данные более 2000 моделей оборудования для механообработки, штамповки, термообработки, сварки и др.; классификатор технологических операций и переходов; около 60 000 типоразмеров инструмента; более 2000 типоразмеров станочных приспособлений; около 300 моделей грузоподъемных приспособлений; более 150 марок материала режущей части; классификатор профессий; около 450 марок смазочно-охлаждающих жидкостей и вспомогательных материалов». При этом отсутствуют таблицы точности обработки, данные, необходимые для расчета погрешностей обработки, припусков, выбора базовых поверхностей и последовательности перемены баз – т. е. именно те исходные данные, на основании которых формируется структура технологического проекта.

Таким образом, говоря о тенденциях развития технологической подготовки производства, в качестве основного направления следует назвать «цифровизацию» нормативно-справочной информации.

В узком смысле термин «цифровизация» предполагает преобразование информации в цифровую форму, т. е. перенос данных на электронные носители. В этом смысле, обычный справочник, отсканированный и сохраненный на каком-либо носителе дискретной информации в одном из распространенных графических (например, *.djvu, *.pdf) или текстовых (*.txt, *.doc, *.html) форматов, уже можно считать «оцифрованным». Наиболее существенными отличиями такого информационного массива от традиционного «бумажного» издания следует считать его компактность и возможность бесконтрольного неограниченного тиражирования.

Цифровой информационный массив должен обеспечить возможность применения современных информационных технологий не только для поиска необходимых данных, но и для обработки найденной информации с использованием математических методов.

Следовательно, электронный справочник, в простейшем случае, должен представлять структурированный набор баз данных. Учитывая, что основной объем информации в современных справочных изданиях представлен в виде таблиц, можно принять в качестве основы электронного справочника плоскую

(табличную) информационную модель. Такая информационная структура является интуитивно понятной и позволяет реализовать алгоритмы информационного поиска средствами практически всех, применяемых в настоящее время программных средств информационного обеспечения САПР. Вопрос о существенной формальной избыточности информации в плоских базах данных решается применением корректной системы классификации данных и переходу к реляционным многотабличным структурам. Реляционная модель данных также поддерживается всеми программными системами автоматизированного проектирования.

Возникает естественный вопрос: если реляционные и, тем более, табличные, модели данных в полной мере реализованы в современных программных средствах САПР, то почему обсуждается проблема «цифровизации» нормативно-справочной технологической информации. Возможный ответ – потому что данные, хранимые и обрабатываемые в любой информационной системе, должны обладать комплексом определенных свойств, в частности, должны быть полными, актуальными, непротиворечивыми.

При соблюдении этих требований к информации классический «бумажный» справочник может быть трансформирован в полноценную экспертную систему, позволяющую получать информацию с оценкой достоверности [15] каждого из предлагаемых системой вариантов.

Для такой информационной экспертной системы, реализованной в виде автономного программно-информационного комплекса, должны быть обеспечены:

- возможность интеграции в существующие и вновь разрабатываемые программные средства САПР – на уровне API (*англ.* Application Programming Interface – интерфейс прикладного программирования);

- возможность периодического обновления – актуализации и дополнения, – собственно справочной информации с учетом вновь получаемых, в лабораторных и производственных условиях, данных о свойствах материалов, возможностях методов обработки и других данных, используемых в технологическом проектировании, и программных модулей системы;

- аспекты защиты информации от несанкционированного изменения либо нарушения структуры и целостности данных, что, как правило, регулируется жестким распределением прав пользователей системы;

- аспекты защиты авторских прав отдельных авторов, коллектива разработчиков, в целом и защиты программного комплекса от

несанкционированного тиражирования.

Более сложный и, соответственно, более функциональный и эффективный, вариант электронного технологического справочника может быть реализован в виде, так называемого, «информационного портала» – ресурса в глобальной сети Internet. На этом уровне реализации электронного справочного издания существенное внимание так же следует уделить вопросам защиты информации и обеспечению возможности интеграции в промышленности применяемые программно-информационные комплексы САПР.

Что касается проблем, связанных с необходимостью обновления и дополнения информации, то их следует рассматривать двояко:

- с одной стороны, электронная справочная система, организованная в виде сетевого ресурса, постоянно доступна для поиска необходимой информации и эта информация актуальна в любой момент времени;

- с другой стороны, информационный сетевой портал по определению является открытой системой, т. е. пользователь, обладающий определенными правами доступа («сертифицированный» пользователь), имеет возможность совершать необходимые изменения в границах, определенных «сертификатом», – совершать любые трансформации данных, в том числе изменять логическую структуру системы; дополнять, изменять и удалять определенные данные в рамках ранее созданной логической структуры; только изменять данные и т. д. Но, для того, чтобы обеспечить надежность функционирования подобной открытой системы, вопросы информационной безопасности должны прорабатываться существенно подробнее и «жестче», чем в случае автономного программно-информационного комплекса.

Выводы

Эффективность технологической подготовки машиностроительных производств в современных условиях может быть обеспечена за счет широкого и полного применения информационных технологий. Существующие в настоящее время программные средства САПР не обеспечивают возможности автоматизированного решения задач ТПП на начальных стадиях, поскольку данные, используемые в процессе маршрутного проектирования и представленные в информационных средствах САПР, не обладают необходимой полнотой и однозначностью.

В качестве одного из основных направлений развития систем технологической подготовки производства следует рассматривать

«цифровизацию» технологических справочников с обязательным обеспечением полноты, однозначности, достоверности и актуальности данных, представленных в электронных информационно-ресурсах.

Подробное рассмотрение организационных проблем «цифровизации» нормативно-справочной информации, в рамках данной статьи, не представляется возможным, поскольку выходит за границы, определяемые содержанием задач технологического проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Национальная** технологическая инициатива. Фабрики будущего [Электронный ресурс] // URL: <https://technet-nti.ru/article/fabriki-buducshhego>.
2. **План** мероприятий ("дорожная карта") "Технет" (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы // 14 февраля 2017 г. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/02_february/15/Dor_ozhnaya_karta_TechNet.pdf.
3. **Справочник** технолога / под общ. ред. А. Г. Сулова. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
4. **ГОСТ 14.004-83** Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – М.: Стандартинформ, 1983.
5. **Чигиринский, Ю.Л.** Математические методы управления процессами механической обработки: монография / Ю.Л. Чигиринский. – Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2010. – 139 с.
6. **Свид. о гос. регистрации** программы для ЭВМ № 2018617090 от 18.06.2018 г. Российская Федерация. Комплекс автоматизированного расчета технологических процессов А'PROPOS / В.Ю. Иванов; ООО «Тезис». – 2018.
7. **Иванов, В. Ю.** Инженерные информационные технологии – инструмент повышения эффективности производства // Современные наукоемкие технологии в промышленности России: высокопроизводительные вычисления и CALS-технологии // Материалы ВНТС. – Уфа, 2005.
8. **Кондаков, А.И.** Разработка научно-методической базы автоматизированной поддержки решений производственно-технологического цикла : дисс... докт. техн. наук. М.: 1999. – 441 с.
9. **Кошин, А.А.** Теория точности и оптимизация многоинструментной токарной обработки // Автореф. дисс... докт. техн. наук. – Челябинск, 1997. – 35 с.
10. **Старостин, В.Г.** Формализация структурного синтеза процессов обработки резанием: дисс. ... докт. техн. наук: 05.02.08. – Иркутск, 2001. – 195 с.
11. **Сулов, А.Г., Петрешин Д. И., Федонин О.Н., Хандожко В.А.** Автоматизация управления параметрами качества поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами деталей машин при обработке резанием // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2019. – № 8(98). – С. 28-36.
12. **Р 50-54-93-88.** Классификация, разработка и применение технологических процессов: Рекомендации. – М.: Изд. Стандартов, 1988.
13. **Сулов, А.Г., Федонин, О.Н., Шалыгин М.Г.** Фундаментальные основы обеспечения надежности изделия машиностроения // В сб.: Инновации в машиностроении Сб. трудов Х МНТК; под редакцией В. Ю. Блюменштейна. – 2019. – С. 110-115.

14. **Управление** справочными данными на современном машиностроительном предприятии // URL: https://ascon.ru/source/articles/uts_sig_11_09_2011.pdf.

15. **Чигиринский, Ю. Л.** О степени доверия к результатам автоматизированного проектирования // Интерактивные системы: проблемы человека-компьютерного взаимодействия: сб. науч. тр. / Ульяновский государственный технический университет [и др.]. – Ульяновск, 2013. – С. 289-293.

REFERENCES

1. *National Technological Initiative. Factories of Future* [Electronic resource] // URL: <https://technet-nti.ru/article/fabriki-buducshhego>.
2. *Plan of Measures ("road map") "Technet" (efficient engineering technologies) National Technological Initiatives* // February 14, 2017 URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/02_february/15/Dor_ozhnaya_karta_TechNet.pdf
3. *Technologist's Reference Book* / under the general editorship of A.G. Suslov. – M.: Innovation Mechanical Engineering, 2019. – pp. 800.
4. *GOST 14.004-83 Technological Pre-production. Terms and Definitions of Basic Concepts.* – M.: Standardinform, 1983.
5. Chigirinsky, Yu.L. *Mathematical Methods for Machining Process Control*: monograph / Yu. L. Chigirinsky. – Volgograd: Volgograd State Technical University, 2010. – pp. 139.
6. State Registration Certificate of Computer Program No.2018617090 of 18.06.2018 of the Russian Federation. *A'PROPOS Computer Complex for Engineering Process Automated Calculation* / V.Yu. Ivanov; PC "Thesis". – 2018.
7. Ivanov, V.Yu. Engineering information technologies – a tool for productive efficiency increase // Modern Science Intensive Technologies in Industry of Russia: High-Performance Computations and CALS-Techniques // *Proceedings of VNTS.* – Ufa, 2005.
8. Kondakov, A.I. Development of scientific-methodical basis for automated support of solutions of production-engineering cycle: *Thesis for Dr. Sc. Tech. Degree.* M.: 1999. – pp. 441.
9. Koshin, A.A. Strength theory and optimization of multi-tool turning // *Author's Abstract for Thesis of Dr. Sc. Tech.* – Chelyabinsk, 1997. – pp. 35.
10. Starostin, V.G. Structural synthesis formalization of cutting processes: *Thesis for Dr. Sc. Tech.*: 05.02.08. – Irkutsk, 2001. – pp. 195.
11. Suslov, A.G., Petreshin, D.I., Fedonin, O.N., Khandozhko, V.A. Automation of surface layer quality parameter control and machinery operation properties at cutting // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering.* – 2019. – No.8(98). – pp. 28-36.
12. R 50-54-93-88. *Classification, Development and Application of Engineering Processes: Recommendations.* – M.: Standard Publishers, 1988.
13. Suslov, A.G., Fedonin, O.N., Shalygin, M.G. Fundamentals for engineering product reliability support // *In Proceedings: Innovations in Mechanical Engineering of H MNTK*; under the editorship of V.Yu. Blumentstein. – 2019. – pp. 110-115.
14. *Reference Data Control at Modern Engineering Enterprise* // URL: https://ascon.ru/source/articles/uts_sig_11_09_2011.pdf.
15. Chigirinsky, Yu. L. On trust degree to CAD results // Interactive systems: problems of man-computer interaction: *Proceedings / Uliyanovsk State Technical University [et al.].* – Uliyanovsk, 2013. – pp. 289-293.

Рецензент д.т.н. В.Ю. Блюменштейн