

*Д.Т. БАБИЧЕВ*, д.т.н., профессор каф. "Детали машин" ТюмГНГУ  
(Нефтегазовый университет), г. Тюмень, Россия

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О СОЗДАНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАСПОРТОВ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ЗУБООБРАБОТКИ**

Предложено разработать геометрические паспорта для зубообрабатывающих инструментов, которые позволили бы рядовому технологу получить при зубообработке конкретным инструментом минимально возможные для имеющегося оборудования отклонения формируемой поверхности зуба от расчетной. Описаны: виды геометрических паспортов; их структура и принципы формирования; задачи, решаемые с их помощью. Представлен план работ по созданию системы паспортизации и сертификации геометрии инструментов.

Запропоновано розробити геометричні паспорти для зубообробних інструментів, які дозволили б пересічному технологу отримати при зубообробці конкретним інструментом мінімально можливі для обладнання відхилення формованої поверхні зуба від розрахункової. Описані: види геометричних паспортів; їх структура і принципи формування; завдання, що вирішуються з їх допомогою. Представлений план робіт по створенню системи паспортизації та сертифікації геометрії інструментів.

It is offered to develop geometrical passports for gear-machinery tools which would allow the ordinary technologist to receive at gear-machinery the concrete tool minimal possible deviations for the available equipment of a formed surface of tooth from calculation th. Are described: kinds of geometrical passports; their structure and formation principles; problems, are solving with their help. The plan of works on creation of system of certification and certification of geometry of tools is presented.

**Постановка проблемы.** Многие изделия промышленного и бытового назначения имеют паспорта, в которых указаны потребительские свойства и основные технические характеристики товара. Для зуборезных инструментов (рисунок 1) весьма важной характеристикой являются их геометрические свойства. К ним, в частности, относятся величины отклонений обрабатываемой поверхности в ее разных точках, возникающие из-за переточки инструмента, погрешностей его установки и других причин. Эти данные нужны технологу: а) для оценки влияния погрешностей установки инструмента на отклонения обрабатываемой поверхности; б) для определения преднамеренных отклонений параметров установки инструмента с целью компенсации органических погрешностей переточки; в) для нахождения параметров переточки передних поверхностей с целью получения требуемой модификации поверхностей зубьев, например, при локализации контакта зубьев в передаче; и для решения других подобных задач. Получить подобную информацию технологу невозможно – такие данные часто индивидуальны для каждого конкретного инструмента. Поэтому нужен источник, содержащий эту информацию в виде, удобном для использования; и позволяющем решать названные задачи. В качестве таких источников предлагаем создать систему геометрических паспортов инструментов.

Мнение о необходимости разработки геометрических паспортов сформировалось у автора более 10 лет назад. И, судя по всему, задача создания

геометрических паспортов никем еще не ставилась ни у нас, ни за рубежом. За прошедшие годы продуманы многие детали реализации этой идеи; она частично обсуждена со специалистами; и, на мой взгляд, наступает время, когда промышленности потребуются такие паспорта. Ведь допуски на изготовление элементов зубьев современных передач составляют нередко несколько микрометров, и при их производстве становится необходимым учитывать: и геометрические особенности инструментов, и тонкости возникновения органических погрешностей формообразования методами огибания. Заметим, что величина органических погрешностей часто соизмерима с допусками на изготовление элементов колес современных передач, а не редко бывает и больше их. Геометрические паспорта будут способствовать переходу на более высокий уровень производства зубчатых колес.

Геометрические паспорта представляют интерес и для предприятий со старым парком зуборезных станков, потерявших былую точность. Чтобы на таких станках изготовить передачи приемлемого качества, нужно проектировать сами передачи с существенно большей степенью локализации пятна контакта, чем у более точных передач. Получить большую степень локализации пятна контакта можно за счет специальной заточки лезвийного зуборезного инструмента. Геометрический паспорт как раз и позволит рядовому заводскому технологу определять форму передней поверхности инструмента при его переточке.

Данная работа – первая публикация о геометрических паспортах. Стиль изложения материала выбран близким к популярному: хочется, чтобы материал был понятен и тем, кто мало знаком с тонкостями геометрии зубообрабатывающих инструментов. Поэтому, вначале изложены требования к рабочим поверхностям зубьев современных передач, а также особенности лезвийных инструментов. Затем описано: что представляет собой геометрический паспорт, какие задачи он позволяет решать; и как создается сам паспорт.

**Основные требования к геометрии рабочих поверхностей зубьев.** Зубчатые передачи основа механического привода большинства машин. Их надёжность и долговечность часто определяют работоспособность и долговечность машины в целом. Качество передач и их нагрузочная способность в значительной мере определяется геометрией рабочих поверхностей зубьев. Представление о том, какой должна быть геометрия в передачах, существенно менялось в 20-м веке.

В начале века считалось, что на зубьях должны участвовать в зацеплении теоретически сопряженные поверхности, т.е. такие, которые, касаясь друг друга по линии, при равномерном вращении ведущего колеса придают равномерное вращение ведомому колесу. И при этом полагали, что: отсутствуют погрешности изготовления и монтажа деталей передачи; и нет деформаций ни от нагрузки, ни температурных.

К середине века в ответственных передачах (прежде всего в цилиндрических, конических и гипоидных), стали широко применять профильную и

продольную модификации зубьев. Т.е. стали преднамеренно отклонять для одного из зубчатых колёс рабочую поверхность зуба от теоретически сопряжённой. При профильной модификации на сотые доли миллиметра уменьшали толщину зуба на поверхности вершин, что снижало силу удара зубьев в момент их пересопряжения. При продольной модификации на сотые доли миллиметра уменьшали толщину зуба на боковых сторонах зубьев, что исключало появление кромочного контакта зубьев при перекосе осей из-за погрешностей изготовления и монтажа передачи, износа подшипников, деформаций под нагрузкой. Продольную модификацию цилиндрических колёс обычно получают за счет малых перемещений инструмента вдоль межосевого расстояния в станочном зацеплении. Профильную же модификацию для них чаще всего обеспечивают за счет целенаправленных малых изменений исходной инструментальной поверхности (профилей зубьев фрез и осевых сечений шлифовальных кругов).

В 80-е годы 20 века наметился новый подход в деле оптимальной модификации зубьев. Стали учитывать контактные, изгибные и другие деформации всех элементов передачи: зубьев, ободов колёс, подшипников, валов, соединений, корпусов. При этом модификация зубьев назначается после сложных компьютерных расчетов напряженно-деформированного состояния элементов передачи, с учетом пересопряжения и многопарности контакта зубьев.

В развитие теории локализованного контакта в конических и гипоидных передачах большой вклад внесли: Ф.Л. Литвин с учениками (г. Ленинград), а также М.Г. Сегаль (г. Саратов), разработавший и внедривший метод проектирования и нарезания конических колёс с заданием величин отклонений в восьми граничных точках рабочих поверхностей зубьев (девятая точка – расчётная в середине зуба). Методы синтеза передач с компьютерным моделированием напряженно-деформированного состояния элементов передач успешно развивали: по коническим колёсам группа Г.И. Шевелёвой (г. Москва); по цилиндрическим и коническим колёсам – М.Л. Ерихов с учениками (г. Курган); по цилиндрическим передачам – фирма "Салют" (г. Москва); по передачам червячного типа – коллектив В.И. Гольдфарба (г. Ижевск). И многие другие специалисты и коллективы.

В настоящее время лучшими считаются передачи: а) с точечным касанием в расчетной точке (в середине зуба); б) с малыми отклонениями внутрь тела детали рабочей поверхности одного из зубчатых колёс на границах этой рабочей поверхности. Форма рабочих поверхностей в таких передачах выдерживается нередко с микронной точностью. И чтобы получить хорошую передачу из плохой, необходимо: в нужном месте, грамотно и с высокой точностью отклонить рабочую поверхность зуба примерно на 0,02-0,04 миллиметра от теоретически сопряженной.

Геометрический паспорт предназначен, в том числе, и для существенно облегчения работы технолога при нарезании зубчатых колёс с требуемой модификацией зубьев.

**Особенности зубообрабатывающих лезвийных инструментов.** Зубья всех лезвийных инструментов (рисунок 1) однотипны. На них есть передние и задние поверхности, образующие при пересечении режущие кромки – главные элементы инструмента (рисунок 2). К форме режущих кромок предъявляются очень высокие требования – именно они формируют зубья на колёсах. Одна из проблем сложных лезвийных инструментов: при их переточке режущая кромка уходит с некоторой расчётной поверхности, и тем сильнее, чем дальше передняя поверхность при данной заточке от расчетной передней поверхности. При уходе режущей кромки с расчётной поверхности, поверхность изделия отклонится от требуемой. Это отклонение и есть органическая погрешность формообразования.

Лезвийный инструмент принято проектировать из условия, чтобы при его переточке на 40% от допустимой величины, органическая погрешность отсутствовала. При этом новый и максимально изношенный инструмент дают на изделии, как правило, органические погрешности разных знаков – см. рисунок 3.

Величина органических погрешностей, максимальные значения которой лежит обычно в пределах 0,005-0,20мм, зависит от: вида инструмента, профиля его зубьев, способа затылования, величины и способа переточки при износе.

Есть множество работ по формообразованию винтовых поверхностей (встречаются весьма часто на инструментах и зубчатых колёсах), а также по исследованию геометрии долбяков, червячных модульных фрез и других зуборез-



Рисунок 1 – Лезвийные инструменты для нарезания зубчатых колёс:  
а – червячная модульная фреза; б – долбяк; с – дисковая модульная фреза; d – резец резцовой головки для нарезания конических колёс с круговым зубом

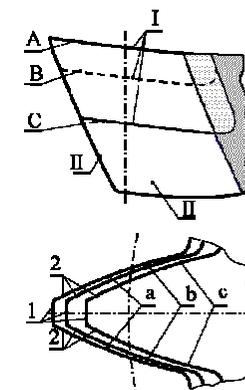


Рисунок 2 – Зуб и режущие кромки лезвийных инструментов:  
I – Передние поверхности.  
II – Задние поверхности.  
1, 2 – вершинные и боковые режущие кромки:  
А,а – нового инструмента,  
В,в – переточенного на 40%,  
С,с – исчерпавшего ресурс переточек

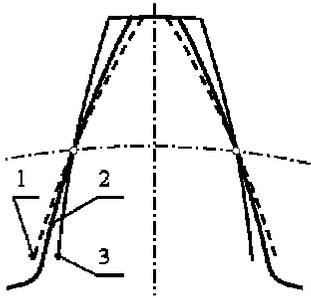


Рисунок 3. Органические погрешности лезвийных инструментов:  
1 – новых, 2 – переточенных на 40%,  
3 – исчерпавших ресурс переточек

ных инструментов. В них рассматривается, в том числе: а) влияние переточек на форму поверхности изделия; б) влияние погрешностей взаимного положения инструмента и заготовки на форму обрабатываемой поверхности; в) влияние взаимного положения зубчатых колес передачи на характер касания зубьев. Наибольшие органические погрешности возникают при обработке колес для передач червячного типа: червячных и глобоидных [1-2], а также спироидных [3]. Это связано со значительной чувствительностью формы поверхностей таких колес к

изменению диаметра червячной фрезы, происходящему при ее переточке.

Есть два метода корректировки технологом органических погрешностей зубообработки лезвийными инструментами: а) изменять форму передней перетачиваемой поверхности; б) изменять параметры установки инструмента относительно заготовки.

Предоставить технологю возможность свести к минимуму органические погрешности формообразования поверхностей зубьев – еще одна задача, которую призваны решать предлагаемые геометрические паспорта инструментов.

**Геометрический паспорт инструмента и задачи, решаемые с его помощью.** Геометрический паспорт – документ с приложениями, позволяющий технологю:

а) находить отклонения в заданных точках обрабатываемой поверхности, возникающих из-за переточки инструмента, а также из-за погрешностей его установки и движения при зубообработке;

б) определять параметры установки, движения и переточки инструмента для получения заданных отклонений обрабатываемой поверхности.

Поясним сказанное несколькими примерами того, какие задачи и как могут решаться с использованием геометрических паспортов.

*Пример 1. Геометрический паспорт шлифовального круга для обработки винтовой поверхности постоянного шага:* червяков, зубчатых колес (в том числе прямозубых) и других деталей. Главный элемент геометрического паспорта – номограммы, позволяющие в любой точке профиля изделия найти его отклонение от расчетного, в зависимости от указанных:

- а) диаметра шлифовального круга (при его неизменном расчетном профиле);
- б) погрешностей положения шлифовального круга относительно изделия (по всем параметрам его установки);
- в) погрешностей профиля шлифовального круга – смещения всего профиля и отклонений в любой указанной точке.

При этом на профиле изделия и шлифовального круга могут задаваться: а) точка на поверхности вершин; б) нижняя активная точка; в) точка на делительном (расчетном) цилиндре; г) любая другая точка.

Номограммы в паспорте позволяют решать и обратную задачу: находить отклонения профиля шлифовального круга от расчетного при задаваемых отклонениях профиля изделия. Что нужно для изменения параметров пятна контакта зубьев в передаче, а также для корректировки параметров зубообработки после обмера обработанных деталей.

*Кто и как создает номограммы для геометрического паспорта.* Сам паспорт с инструкциями по использованию и с приложениями (номограммы, а возможно и пакет компьютерных программ), генерируется заводским технологом (конструктором) или в центре сертификации с помощью специального программного обеспечения для формирования паспортов шлифовальных кругов обрабатывающих: тела вращения, некруговые цилиндры и геликоидальные поверхности. О разработке такого программного обеспечения и идет речь в настоящей статье.

*Пример 2. Геометрический паспорт дисковой фрезы для обработки винтовой поверхности постоянного шага.* По составу паспорта, решаемым задачам и методологии использования он близок к паспорту шлифовального круга. Различие в том, что вместо изменения диаметра круга при неизменном осевом профиле, учитывается переточка инструмента по передней поверхности. При этом принимается во внимание: а) форма задней поверхности, имеющейся на инструменте и б) форма передней поверхности, по которой делают или надо делать переточку. Такое дополнение в паспорт существенно и достаточно сложное для компьютерной реализации. Так задняя поверхность того конкретного инструмента, на который генерируется геометрический паспорт, должна быть: либо обмерена на контрольно-измерительной машине, либо получена методом компьютерного моделирования процесса формообразования при затыловании этого инструмента (с заданием профиля затылующего резца или шлифовального круга). А потом эти данные должны быть внедрены в генерируемый паспорт. Похожая ситуация и с учетом формы передней поверхности. Хотя и несколько проще: передняя поверхность, в отличие от задней, часто является геликоидом (или его частным видом – еще более простым).

*Пример 3. Геометрический паспорт червячной модульной фрезы – основного лезвийного зубообрабатывающего инструмента.* По функциональным возможностям паспорт похож на паспорт дисковой фрезы, но значительно сложнее его. Во-первых, состав паспорта и часть решаемых задач различны для фрез, обрабатывающих червячные и цилиндрические колеса. Во-вторых, приложение к паспорту должно включать достаточно мощный пакет программ: а) для решения сложных с математической точки зрения задач; б) для наглядного отображения решения конкретных технологических задач, связанных с геометрией как станочного, так и рабочего зацеплений. В-третьих, червячная модульная фреза предназначена для нарезания колес с

различными числами зубьев и коэффициентами смещения. И желательно иметь один паспорт на фрезу, а не серию паспортов одной фрезы на каждое из изделий. Все это усложняет, как структуру паспорта, так и его использование. Что и заставляет, для облегчения работы пользователя, увеличивать программную составляющую геометрического паспорта.

Рассмотрим немного подробнее, чем это сделано выше, технологические задачи, решаемые с помощью геометрических паспортов.

**Задача 1.** Выявить, как влияет положение инструмента на форму обрабатываемой поверхности зубчатого колеса:

- Каковы отклонения от заданного положения в указанных точках поверхности, формируемой данным инструментом на зубе колеса. Задачу решают при номинальном положении и движении инструмента и заготовки.
- Как изменятся эти отклонения при заданных погрешностях положения и движения инструмента относительно заготовки.

Решение этой задачи позволит оценить пригодность (для нарезания конкретного колеса) данного инструмента при имеющейся на нем передней поверхностью.

**Задача 2.** Найти для инструмента с конкретной передней поверхностью:

- Положение и параметры движения инструмента относительно заготовки, при которых в заданных точках зуба отклонение формируемой поверхности от расчётной будет минимальным.
- Допустимые пределы погрешностей установки инструмента, при которых отклонение формируемой поверхности от расчётной вписывается в поле допуска.

Решение этой задачи позволяет найти оптимальное положение и движение данного инструмента при обработке конкретного зубчатого колеса, обеспечивающие минимальную органическую погрешность формообразования. И даёт возможность назначить технически обоснованные допуски на положение и движение инструмента при зубообработке.

**Задача 3.** Определить форму передней поверхности инструмента, а также профиль шлифовального круга для его заточки по передней поверхности, обеспечивающих получение заданной модификации обрабатываемой поверхности зуба:

- Найти форму передних поверхностей зубьев инструмента, обеспечивающих при заданном положении и движении инструмента получение требуемой поверхности на обрабатываемом зубчатом колесе.
- Найти профиль шлифовального круга и параметры его положения и движения относительно инструмента при переточке инструмента по передней поверхности из условия, что нарезаемое этим инструментом колесо будет иметь поверхность зуба, минимально отклоняющуюся от требуемой расчётной поверхности.

Решение этой задачи снижает остроту проблемы изменения органических погрешностей формообразования из-за переточки зуборезных инструментов.

**Задача 4.** Корректировка положения, движения или параметров передних поверхностей инструмента на основе обмера (на эвольвентомерах или на контрольно-измерительных машинах) зубчатых колёс, ранее нарезанных этим инструментом. Решение этой задачи позволяет, хотя бы частично, компенсировать влияние большой группы случайных и не учитываемых в геометрических паспортах факторов, влияющих на процесс формообразования: деформации и динамические процессы в системе СПИД, вызываемые переменными силами резания; погрешности кинематических цепей и другие.

**Виды геометрических паспортов.** Возможно три вида паспортов:

**Вид 1.** *Бумажный паспорт*, основу которого составляют графики и номограммы, построенные компьютером для конкретного инструмента по одной из 2-х методик:

1) По результатам его обмера на контрольно-измерительной машине. Эта методика предпочтительнее второй, но требуется дорогое оборудование.

2) На основе компьютерного моделирования процессов формообразования, по которым инструмент изготовлен на инструментальном заводе, и, возможно, с учетом обмера на контрольно-измерительной машине нескольких инструментов одного типоразмера (для набора статистики по группе инструментов, и для проверки достоверности учтенных параметров формообразования при изготовлении инструментов). Эта методика менее надёжна, чем первая (если не использовать контрольно-измерительную машину), и целесообразна лишь для массового производства (при использовании контрольно-измерительной машины).

Недостатки паспорта 1-го вида: сложно обеспечить решение всех задач, рассмотренных в предыдущем разделе (особенно для червячных фрез); трудоёмко решение и документирование решений для оптимизационных задач.

**Вид 2.** *Компьютерный паспорт*, основу которого составляет пакет программ, предназначенный для решения всех задач, названных в предыдущем разделе. Такой паспорт состоит из пакета программ и документации по его использованию. Фирмы, производящие современное оборудование для изготовления и контроля передач и инструментов, стали встраивать в него системы (в том числе компьютерные) для измерения и корректировки формируемых поверхностей. В некоторой степени, это паспорта 2-го вида следующего поколения.

**Вид 3.** *Комбинированный паспорт*, включающий:

1. извлечения из бумажного паспорта – номограммы для решения простых задач с инструкциями и примерами их использования.
2. пакет программ для решения сложных оптимизационных задач с документацией по его использованию.

Полагаем, что основным видом геометрических паспортов должен стать паспорт 3-го вида – комбинированный.

**Инструменты для первоочередной паспортизации.** Наиболее распространенными передачами в машинах являются цилиндрические. Поэтому

систему геометрических паспортов следует разрабатывать, прежде всего, на инструменты для обработки цилиндрических зубчатых колес: червячные и дисковые модульные фрезы, долбяки (см. рисунок 1), шлифовальные круги и другие. Очередность разработки целесообразно взять следующей:

*Первый паспорт* – на круги профильного шлифования. Ими обрабатывают, в частности, весьма точные эвольвентные колеса высокоскоростных высоконагруженных передач, и поэтому необходимо учитывать даже самые малые органические погрешности формообразования. А так как это и самый простой по геометрии инструмент, его паспорт будет проще остальных. В том числе и в программной части. Что позволит безболезненно набрать опыт разработки и внедрения геометрических паспортов, а также создания компьютерной системы паспортизации.

*Второй паспорт* – на дисковые модульные и фасонные фрезы. На них можно отработать методики решения задач, общих для лезвийных инструментов: геометрия режущих кромок, ее изменение при переточке и другие.

*Третий паспорт* – на червячные модульные фрезы: основной инструмент для нарезания зубчатых колес обычной точности. Как отмечалось выше, это самые сложные для разработки геометрические паспорта. И они нужны нескольких видов: как для обработки колес передач червячного типа, так и для обработки цилиндрических колес – эвольвентных и не эвольвентных.

*Четвертый паспорт* – на долбяки и обкаточные резцы.

*Паспорта на другие инструменты* – на пальцевые модульные и фасонные фрезы, на фрезы для нарезания шлицевых валов, на хоны и т.д.

**Содержание работ по созданию системы паспортизации и сертификации геометрии инструментов.** Приведем перечень и последовательность работ, которые необходимо выполнить при создании такой системы:

1. Систематизация типов и структуры геометрических паспортов и задач, решаемых с их помощью.
2. Разработка перечня, структуры и вида графиков, диаграмм и номограмм, предназначенных для включения в геометрические паспорта инструментов. Эти графические изображения индивидуальны для каждого конкретного инструмента. Их перечень и структура различны для разных типов инструментов.
3. Разработка математических моделей и алгоритмов:
  - Для анализа геометрии передних и задних поверхностей лезвийных инструментов (в том числе, при случайных и преднамеренных отклонениях в положении, движении и форме шлифовальных кругов для затылования и заточки).
  - Для анализа геометрии поверхностей зубьев, формируемых режущими кромками, являющимися линиями пересечения сложных передних и задних поверхностей (в том числе, при умышленных или непреднамеренных отклонениях положения и движения инструмента относительно заготовки).

- Для обработки данных обмеров инструментов на контрольно-измерительной машине (как индивидуальных, так и на партию инструментов).
  - Для обработки данных обмеров зубчатых колес на эвольвентомерах и на контрольно-измерительных машинах.
  - Для программ формирования номограмм и текстов для паспортов.
  - Для пакета программ, являющихся составной частью паспорта.
4. Создание пакетов программ для решения задач, перечисленных выше.
  5. Проведение численных исследований геометрии инструментов с помощью созданных пакетов программ, с целью установления свойств и основных зависимостей, характерных для данного вида инструмента.
  6. Опытная паспортизация инструментов (на основе двух предыдущих пунктов).
  7. Отработка системы паспортизации и производства зубчатых колес с заданной модификацией рабочих поверхностей зубьев, получаемой за счет специальной переточки имеющихся инструментов. А также, за счет преднамеренных отклонений в положении инструмента относительно заготовки. При этом параметры переточки и преднамеренные отклонения в положении инструмента, находятся с помощью геометрического паспорта.
  8. Паспортизация инструментов и внедрение на заводах технологий производства зубчатых колес с использованием геометрических паспортов.
  9. Создание центра(ов) паспортизации и сертификации геометрии инструментов.

#### **Заключение:**

1. Предложено создать геометрические паспорта для инструментов, применяемых при производстве зубчатых колес: шлифовальных кругов, червячных и дисковых модульных фрез, долбяков и др. Паспорта позволят рядовому технологу:

- а) получить при зубообработке минимально возможные для имеющегося оборудования отклонения получаемой поверхности от расчетной; и/или
- б) получить при зубообработке запланированную степень локализации пятна контакта, как за счет преднамеренных отклонений положения и движения инструмента и заготовки, так и за счет изменения формы передней поверхности, по которой перетачивают инструмент.

2. Предложен проект построения системы паспортизации и сертификации геометрии инструментов. Главный элемент предлагаемой системы – пакет программ, генерирующий геометрические паспорта для конкретных инструментов.

3. Проект открывает новое направление в теории проектирования инструментов и в практике их использования. Внедрение на заводах геометрических паспортов будут способствовать переходу на более высокий уровень производства зубчатых колес. Система полезна как для фирм, работающих на современных точных станках, так и для тех, кто работает на устаревшем изношенном оборудовании.

4. В практическую плоскость задача создания геометрических паспортов не переводилась, в силу ее неподъемности без наличия коллектива разработ-

чиков и без соответствующего финансирования разработки. Создание системы паспортизации – проект сложный и трудоёмкий: нужно создать пакет прикладных программ, соизмеримый по сложности с пакетами программ ведущих фирм, производящих зуборезные станки. Реализация проекта требует нескольких лет напряжённой работы коллектива.

5. Сейчас, по нашему мнению, настало время, когда нужно начинать работу над проектом – чтобы делать конкурентно способные передачи, теперь нужно учитывать: и геометрические особенности инструментов, и тонкости появления органических погрешностей формообразования методами огибания. Делать это без компьютерных расчетов невозможно. А геометрический паспорт – одна из форм представления таких расчетов в удобном для использования виде.

**Список литературы:** 1. Лагутин С.А., Сандлер А.И. Шлифование винтовых и затылованных поверхностей. М.: Машиностроение. 1991.– 110с. 2. Сандлер А.И., Лагутин С.А., Верховский А.В. Производство червячных передач. М.: Машиностроение. 2008.– 272с. 3. Трубочев Е.С., Савельева Т.В. Постановка задачи о разработке типоразмерного ряда однозаходных спироидных фрез // Теория и практика зубчатых передач: Сб. докл. научно-технической конференции с международным участием.– Ижевск, 2004. – С.202-207.

*Поступила в редколлегию 23.04.11*

УДК 62-23+519.863

**О.В. БОНДАРЕНКО**, аспирант каф. ТММ і САПР НТУ "ХПІ", м. Харків  
**О.В. УСТИНЕНКО**, к.т.н., доц., старший науковий співробітник  
каф. ТММ і САПР НТУ "ХПІ"

### **АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРИВАЛЬНИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ЗА МАСОГАБАРИТНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Представлений алгоритм оптимізації тривальних коробок передач. Алгоритм поєднує методи ЛПт-пошуку і звуження околу простору параметрів. Приведена схема алгоритму оптимізації. Записані основне розрахункові залежності, що були використані для реалізації алгоритму. Послідовно описані етапи розрахунків і особливості обчислення деяких величин.

Представлен алгоритм оптимізації тривальних коробок передач. Алгоритм представляє собою комбінацію методів ЛПт-пошуку і звуження околу простору параметрів. Приведена схема алгоритму оптимізації. Записані основні розрахункові залежності, використовувані для реалізації алгоритму. Послідовно описані етапи розрахунків і особливості обчислення деяких величин.

The algorithm of optimization of three-shaft gearboxes is presented. An algorithm is combination of methods of LPt-sequences and narrowing of ranges of space of parameters. The chart of algorithm of optimization is resulted. Calculation dependences, in-use for realization of algorithm is written. The stages of calculations and feature of calculation of some sizes are consistently described.