

УДК 621.9.06

В. Осипов, студент группы ММ-381, И. Сухорученко,  
В. Журавлев, студенты группы ММ-391  
Научный руководитель к.т.н. доц. О.С. Кроль

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПОНОВКИ МНОГО- ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТОКАРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ ИТ- 1М**

Представлен вариант свертки привода главного движения, обеспечивающий минимальные нагрузки на переднюю опору шпинделя станка. Рис.6, Ист.6.

*Постановка проблемы.* Для всего разнообразия станков токарной группы невозможно использовать одну-две конструкции привода главного движения (ПГД). Чаще всего приходится или разрабатывать новую конструкцию, применяя методы структурной оптимизации, или создавать новый вариант известной конструкции-прототипа с помощью метода параметрической оптимизации.

*Анализ исследований и публикаций.* В современных системах автоматизированного проектирования «среднего» и «тяжёлого» класса наличие параметрической модели заложено в идеологию самих САПР. Существование параметрического описания объекта является базой для всего процесса проектирования [5]. Практически у всех систем, таких как Autodesk Mechanical Desktop, Unigraphics, CATIA, I-DEAS и т.д., используется один параметризатор английской фирмы D-CUBED. Параметризатор D-CUBED включает в себя две компоненты: скетчер, предназначенный для построения параметрического профиля, на основе которого будет создана 3D операция, и математическую библиотеку, позволяющую связывать отдельные детали в сборочные конструкции. Параметризатор D-CUBED, ориентированный на 3D моделирование, оказывается неэффективным в 2D черчении [6]. Та математика, которая успешно работает на десятках линий профиля в скетчере 3D системы, не справляется с тысячами взаимосвязанных элементов чертежей. А необходимость полного образмеривания параметрической модели у D-CUBED превращает процесс параметризации даже несложного чертежа в практически нереальную задачу. Альтернативой этому является известная российская САД/САЕ-система АРМ WinMachine [3, 4] не использующая дорогой заимствованный параметризатор и реализующая собственное программное обеспечение для создания чертежно-графического параметрического редактора АРМ Graph, который может использоваться как в составе системы в целом, так и самостоятельно.

*Целью* данной работы является совершенствование процесса проектирования привода главного движения токарного многофункционального станка модели ИТ1 за счет использования инструментария параметризации.

Постановка задачи. Разработать такую конструкцию привода станка, которая обеспечит повышение ресурса работы на базе комплексного расчета в среде АРМ WinMachine.

На многофункциональном станке ИТ-1М выполняются следующие операции:

- точение внешних цилиндрических и торцевых поверхностей тел вращения;
- точение конических поверхностей методом сдвига задней бабки или поворотом суппорта с резцедержателем на заданный угол;
- растачивание цилиндрических и конических отверстий;
- при установке соответствующего инструмента в пиноли задней бабки на станке есть возможность выполнения операций сверления, зенкерования и развертывания отверстий;
- при установке на станке специального фрезерного приспособления можно реализовать фрезерование плоскостей, шпоночных и других пазов, расточку небольших корпусных деталей;

Особенностью автоматизированной процедуры проектирования ПГД рассматриваемого станка является множество альтернативных вариантов компоновки и необходимость использования процедур многокритериального выбора с учетом специфических особенностей объекта проектирования.

Эффективность проектирования поперечной компоновки (свертки), ПГД зависит во многом от положения выходного вала. При определении пространственного положения зубчатых колес, которые передают крутящий момент на шпиндель станка, необходимо учитывать две взаимоисключающих ситуации:

1. Параллельность и однонаправленность силы резания  $R$  и результирующей  $Q$  в зубчатом зацеплении «Входной вал – шпиндель», что обеспечивает максимальную жесткость шпиндельного узла (минимальный прогиб переднего конца шпинделя). Такой вариант используется в станках для чистовых методов обработки.

2. Параллельность и разнонаправленность сил  $R$  и  $Q$ , что обеспечивает минимальную нагрузку на переднюю опору шпинделя (как наиболее нагруженную в процессе работы станка). При этом прогиб переднего конца шпинделя есть максимальным, что допустимо только для черновой обработки.

Рассмотрим базовую кинематическую схему станка ИТ-1М (рис.1).

Шпиндель получает шесть частот вращения от ведомого шкива клиноременной передачи через зубчатую муфту и шесть частот вращения через переборную группу зубчатых колес.

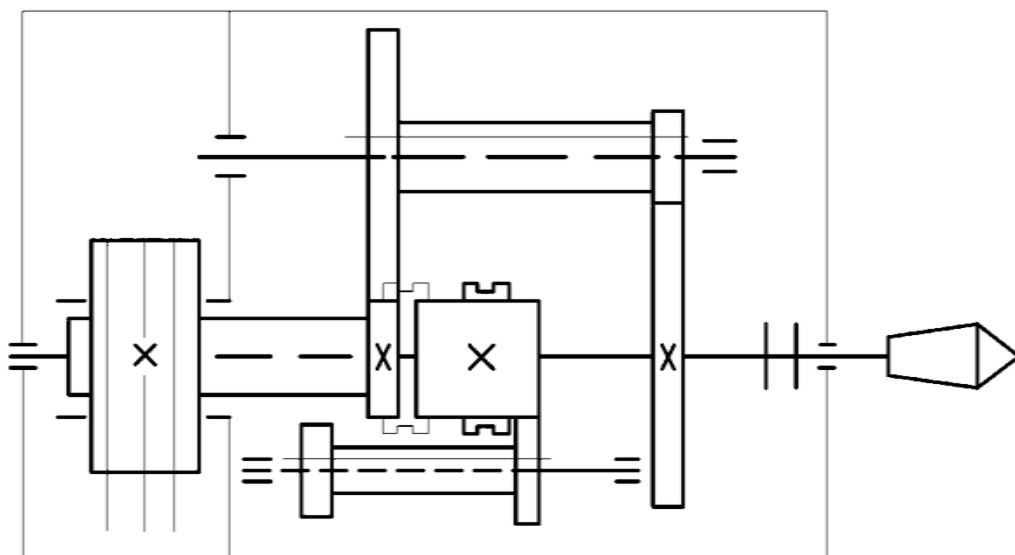


Рис.1. Кинематическая схема привода

В процессе конструирования ПГД при упрощении конструкции ее компактность достигается путем уменьшения числа ступеней и ограничение передаточных чисел. Так, уменьшение радиальных размеров может осуществляться:

- 1) заменой трехваловой коробки двухваловой;
- 2) рациональным распределением передаточных чисел между несколькими парами колес;
- 3) применением параллельно работающих передач, благодаря чему мощность передается по параллельным потокам и размеры КС существенно уменьшаются;
- 4) соосной установкой валов в пространственной компоновке.

Известный алгоритм проектирования компоновочных схем строится в такой последовательности: 1) проводятся оси валов; 2) определяются конструктивные элементы деталей, расположенных на валах; 3) проставляются осевые размеры всех конструктивных элементов; 4) вычерчивается свертка коробки скоростей, по которой будут определяться углы расположения зубчатых пар, направления круговых и радиальных усилий и т.д.

На основе этого алгоритма построена базовая (заводская) компоновка ПГД (рис.2)

С целью совершенствования процесса компоновочного проектирования токарного станка модели ИТ-1М используется параметрическое моделирование в модуле APM Graph системы APM WinMachine. Составим новую компоновку передней бабки по критерию минимальных нагрузок на переднюю опору, которая реализуется при условии параллельности и разнонаправленности сил R и Q.

Построение компоновки эффективно с использованием инструментария параметризации [1, 2]. Для этого разработана программа построения параметрической модели на базе синтаксиса системы APM WinMachine (табл.1).

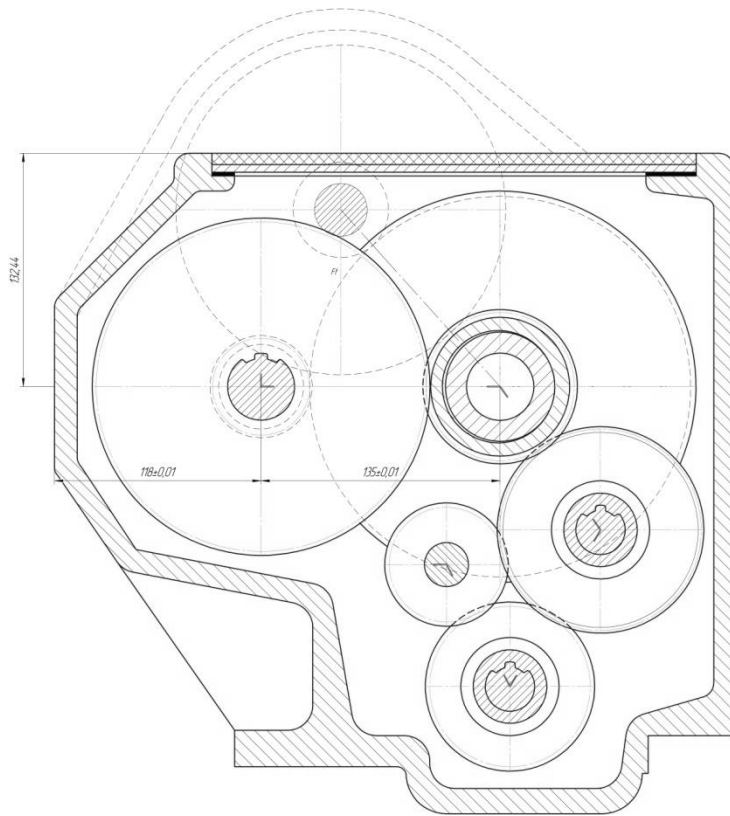


Рис.2. Базовая компоновка привода главного движения станка модели ИТ-1

Таблица 1

Окно переменных в задаче построения компоновки

Переменная	Выражение	Значение	Комментарий
dw2		100	
dw3		216	
dw4		80	
dv		30	
ds1		40	
dp1		25	
i		0	
n	$1-i$	1	
a0		55	
a1	$(70+a0)^n + ((90-a0)+20)^i$	125	
a2	$90-a0$	35	
a		140	
a3	$180-(a2+a)$	5	
a4	$(a3+20)^n + (180+a3+20)^i$	25	
notice	$a0 < 45$	0	угол наклона силы резания должен быть $> 4$

На базе данной параметрической модели разработана оптимальная компоновка ПГД по критерию минимальной нагрузки (рис.3), отличающаяся от базовой компоновки (рис.2) пространственным положением валов. На рис.2 такая модернизация показана штриховыми линиями.

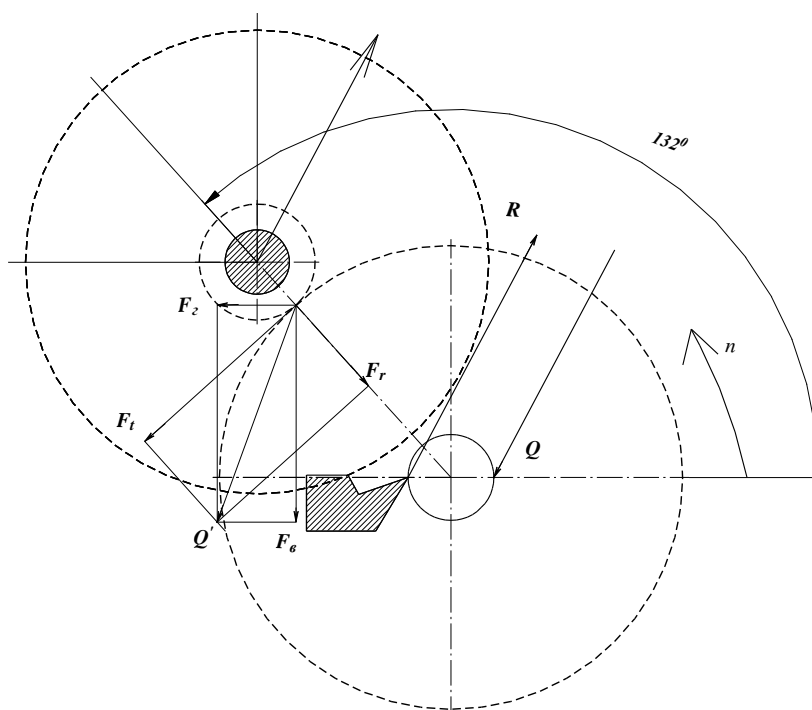


Рис.3. Фрагмент оптимальной компоновки привода

В многофункциональном токарном станке модели ИТ-1М используется шпиндель со стандартизированным фланцевым передним концом, конструктивная схема которого представлена на рис. 4, а. Конструктивная форма шпинделя определяется характером закрепления в нем заготовки (в центрах), посадками элементов привода и типом применяемых опор. В опорах рассматриваемого шпинделя применимы: в передней двухрядный радиальный роликоподшипник с регулируемым радиальным зазором 3182116 ГОСТ 520-89 и два упорных шариковых подшипника 8118 (51118) ГОСТ 520-89, а на задней – радиальный шарикоподшипник 115 ГОСТ 8338-75.

При построении расчетной схемы шпиндель формализуется в виде балки ступенчато переменного сечения (рис.4, б) на двух шарнирных упругих опорах, коэффициент податливости которых определяется суммой контактных деформаций шариков (роликов) и колец.

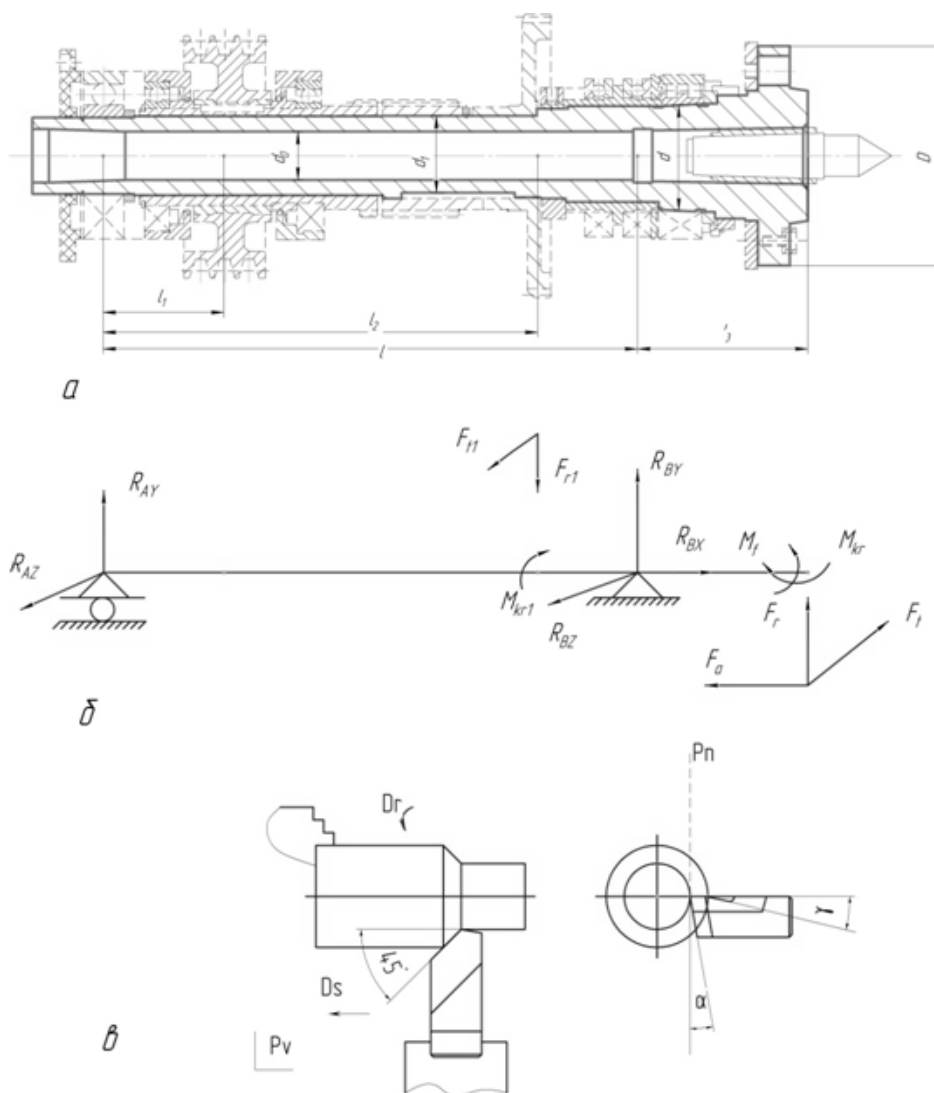


Рис. 4. Конструктивная (а) и расчетная (б) схема шпиндельного узла, нагруженная силами при продольном точении (в)

В САПР КОМПАС построена 3D–модель шпинделя станка ИТ-1М (рис.5).

Для оценки уровня нагружения на переднюю опору шпинделя используем инструментарий системы АРМ WinMachne [3]. В модуле проектирования валов и осей АРМ Shaft, оснащенный специализированным графическим редактором, выполним расчет на прочность двухопорного шпинделя. Исходные конструктивные данные в соответствии с рис.4 представлены в табл.2.

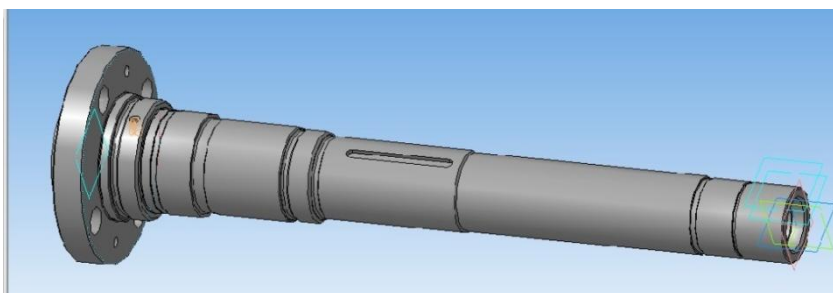


Рис. 5. Трехмерная твердотельная модель шпинделя

Таблица 2

## Исходные данные к расчету

Длины ступеней				Диаметры ступеней				Материал	Передний конец
$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l$	$d_0$	$d_1$	$d$	$D$	Сталь 20Х	фланцевый
92	284	152	400	38	62	80	170	ГОСТ 4543-71	Конус Морзе 5

На основе проведенного расчета в APM Shaft появляется возможность анализа нагружений (рис. 6, а;б;в;г). Как показали полученные данные, использование оптимизированной схемы расположения валов передней бабки позволит сократить нагрузка на переднюю опору (как наиболее нагруженную в процессе работы):

- радиальные реакции на 9,2%;
- вертикальные реакции на 8,25%;
- горизонтальные реакции на 11,79%.

Для оценки влияния уровня нагрузки на технико-экономические параметры подшипниковых опор воспользуемся возможностями модуля расчета и проектирования неидеальных подшипников качения APM Bear [4]. В расчетных методиках учитывается неидеальный контакт тел и дорожек качения, когда нельзя пренебречь погрешностями его изготовления. Погрешности формы контактирующих поверхностей характеризуются амплитудами по величине сопоставимыми с величиной контактных перемещений. В данном модуле учитывается статистическая природа процессов, имеющих место при контакте неидеальных поверхностей. В связи с этим, такие характеристики подшипников как жесткость и перемещения можно определить в статистическом смысле – как выборочные реализации, среднее значение, дисперсия и т.п. Причем, в процессе расчета рассматривается выборочная реализация контактных перемещений подшипника, состоящая из 100 элементов.

В рамках модуля APM Bear выполняется весь комплекс проверочных расчетов, когда по известной геометрии подшипника рассчитываются его выходные характеристики. Анализ полученных результатов для базового и оптимального варианта компоновок позволяет утверждать о повышении долговечности подшипника, как основного критерия работоспособности в условиях реального нагружения. Кроме этого уменьшается уровень выделяемого тепла, что особенно важно для передней опоры шпинделя (рис. 6, д;е).

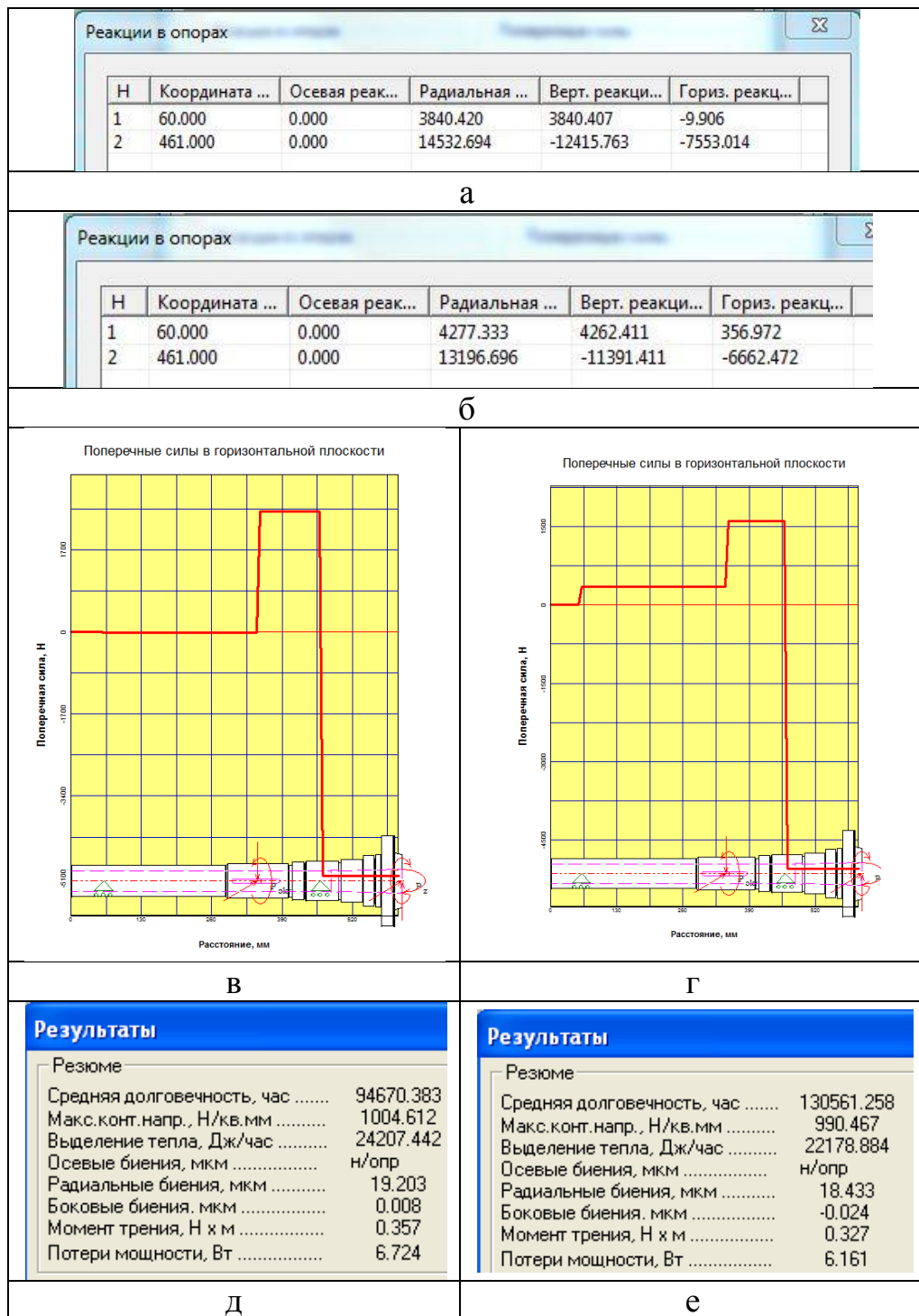


Рис.6. Результаты расчета передней опоры шпинделя в модуле APM Bear

Выводы: 1. Предложен алгоритм и программа построения поперечной компоновки привода главного движения многофункционального токарного станка модели ИТ-1М по критерию минимальной приведенной нагрузки на переднюю опору шпиндельного узла станка.

2. Разработана параметрическая модель поперечной компоновки в модуле APM Graph, которая позволяет кардинально сократить время проектирования станка на этапе эскизного проекта и наглядно представить схему нагружения шпинделя в случае пространственного расположения валов привода.



3. Построена 3D - модель шпинделя в САПР КОМПАС, дающая наглядное представление о конструкции этого главного формообразующего узла станка.

4. Использован инструментарий модуля проектирования валов APM Shaft для определения реактивных сил и моментов и построения эпюр распределения нагрузки как для случая базового, так и для случая оптимального варианта компоновки.

5. Использован инструментарий модуля проектирования подшипников качения APM Bear для определения основных характеристик опор шпиндельного узла – жесткости, долговечности, тепловыделения и др.

6. Проведен анализ влияния пространственного положения валов поперечной компоновки на работоспособность шпиндельного узла. Прежде всего предлагаемая компоновка обеспечивает уменьшение нагрузок (порядка 10%) на переднюю опору шпинделя (как наиболее нагруженную в процессе работы), тем самым приводит к повышению точности станка и качества обработки. Такое уменьшение нагрузок на двухрядный радиальный роликоподшипник с регулируемым радиальным зазором 3182116 ГОСТ 520-89 обеспечивает увеличение долговечности порядка 30 % и уменьшает уровень тепловыделения. Это в свою очередь не приводит к резкому уменьшению радиальных зазоров в подшипниках и как следствие уменьшает вероятность работы подшипника с натягом, когда отсутствует плавающая опора и компенсация тепловых деформаций передней опоры шпинделя.

## Литература

1. Кроль О.С. Параметрическое моделирование металлорежущих станков и инструментов: монография. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2012. – 116 с.
2. Кроль О.С., Кроль А.А. Параметризация поперечных компоновок привода главного движения// Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: вип.24, 2009. – с. 164 – 168.
3. Замрий А.А. Практический учебный курс САД/САЕ АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие. – М: Изд-во АПМ, 2007. – 144 с.
4. Шелофаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач. – М.: Изд-во АПМ, 2004. – 240 с.
5. Ли К. Основы САПР (САД/САМ/САЕ). – СПб: Питер, 2004. – 560 с.
6. Ушаков Д. Кому и зачем нужно прямое моделирование? Обзор конкурентных технологий.- isicad.ru, №1(91), 2012. с. 31-42.