

УДК 621.9.06

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ВИНТ-ГАЙКА КАЧЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА В АРМ WINMACHINE

Кроль О.С., Кадаффи М.С., Бойчук Д.А., Дерябин И.А.

## RESEARCH AND MODELLING OF ROLLING SCREW-NUT FOR THE MACHINING CENTER IN APM WINMACHINE

Krol O., Kadaffi M., Boychuk D., Deryabin I.A.

*В статье проведено исследование конструкции и геометрии передачи винт-гайка качения (ВГК). Проведен расчет работоспособности ВГК-передачи привода подач обрабатывающего центра и дана оценка параметрам долговечности и несущей способности этой передачи. Выполнено проектирование ВГК-передачи в модуле АРМ Screw для случая рассмотрения неидеальных передач с учетом погрешностей изготовления деталей в контакте «тело качения-дорожка качения». Построены 3D-модели ВГК-передачи, используемой в механизмах привода подач обрабатывающего центра ОЦЗВ в интегрированной САПР КОМПАС-3D.*

**Ключевые слова:** Винт-гайка качения, обрабатывающий центр, ресурс передачи, 3D-модель

**Введение.** В состав разрабатываемых конструкций станков в качестве основной единицы входят передачи винт – гайка, которые по функциональному назначению делятся на грузовые и ходовые. В машиностроении в приводах станков все большее распространение находят передачи винт-гайка качения, которая предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное. Приводы должны реализовать большой диапазон режимов резания, повышенную производительность и точность позиционирования формообразующих органов.

Для современных станочных комплексов характерно повышенная скорость формообразующих узлов более 20 м/мин, а в токарных и сверлильных станках с высоким быстродействием привода характерно время разгона до максимальной скорости не более 0,2 с). Для того чтобы синхронизировать повышенные скорости быстрых перемещений и низкие скорости установочных движений диапазон регулирования привода подач станков с ЧПУ может находиться в диапазоне от 100 до 10 000.

В приводах подач в качестве тягового устройства используется передача винт-гайка

качения (ВГК). Передача винт-гайка качения применяется как в приводах подач без отсчета перемещений (универсальных станков, силовых столов агрегатных станков), так и в приводах подач и позиционирования станков с ЧПУ и обрабатывающих центров. Для передачи свойственны высокий коэффициент полезного действия (0,85...0,9), малое различие между силами трения движения и покоя, незначительное влияние частоты вращения винта на силу трения в механизме, минимизация осевого зазора.

**Постановка проблемы.** Традиционные методы расчета передач винт-гайка качения основаны на усредненных параметрах процессов изготовления и эксплуатации. Вместе с тем, реальное многономенклатурное производство связано с разнообразными технологическими процессами, широким диапазоном режимов резания и комбинированным характером физических явлений. Поэтому интерес представляют те методы расчета, которые учитывают погрешности возникающие в процессе изготовления, а результаты полученные при этом могут значительно отличаться от традиционных расчетов. Что касается ВГК-передачи, то наличие каналов возврата шариков приводит к проблеме неравномерности нагружения по различным виткам этого устройства. Следовательно нужны методы, процедуры и автоматизированные системы проектирования т.н. неидеальных передач металлорежущих станков.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы геометрии и кинематики, передач винт-гайка качения рассматриваются в различных литературных источниках. Например, в работах [1, 2, 3] изложены общие вопросы геометрии и кинематики ВГК-передач.

В современных станках с ЧПУ широко применяются две структурные схемы привода подач [2]:

1. Схема с жесткой связью электродвигателя ходового винта, которая изображена на рис.1,а.

2. Схема с одноступенчатым редуктором и выборкой зазора в зубчатом зацеплении рассмотрена на рис. 1,б.

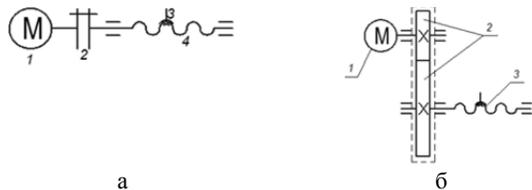


Рис. 1. Схемы привода подач:

- а – с жесткой связью (1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – передача винт-гайка качения; 4 – винт);  
б - с редуктором (1 – электродвигатель; 2 – зубчатая передача; 3 – винтовая передача)

Эти варианты отражают использование коротких кинематических схем приводов подач, обеспечивающие более точную работу последних. Это стало возможным при применении специальных узлов и механизмов, имеющих свои отличительные особенности [4, 5, 6].

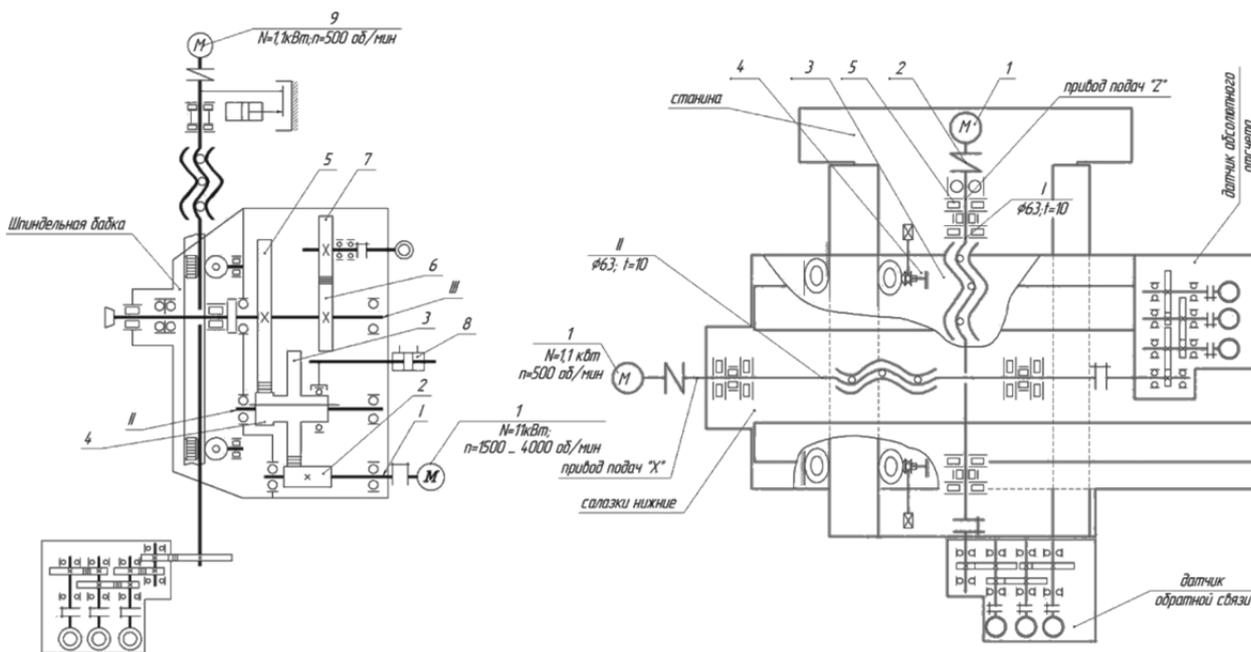
1. Первая особенность связана с независимостью частоты вращения от вращающего момента и момента сопротивления, что приводит к повышению качества, точности и производительности обработки. Регулирование скорости подачи осуществляется при постоянном максимально допустимом моменте. Поэтому в основу выбора электродвигателя положена не мощность, а момент сил сопротивления в механизме подачи.

2. К приводу подач предъявляются также требования по возможности создания больших ускорений, значительного диапазона регулирования частоты вращения при высокой равномерности, особенно при малых частотах [7, 8]. Вышеперечисленным требованиям удовлетворяют специальные двигатели постоянного тока – высокомоментные серии ПБВ, с возбуждением от постоянных магнитов или серии 2П, ПБС с электромагнитным возбуждением.

Интересен подход к проектированию и моделированию ВГК-передат на основе процедуры, базирующейся на параметрической геометрической модели с возможностью проведения виртуальных экспериментов для исследования жесткости и передаточной характеристики ВГК при изменении нагрузки и скорости [9]. Данный подход – это инструмент исследования новых геометрий ВГК для их оптимизации и дальнейшего применения в мехатронных модулях.

**Цель статьи.** Повышение эффективности процедур автоматизированного проектирования ВГК-передат за счет применения средств 3D-моделирования, методов расчета неидеальных передат с использованием модулей САПР АРМ WinMachine.

**Результаты исследований.** В обрабатывающем центре ОЦЗВ сверлильно-фрезерно-расточного типа в приводах главного движения и подачи широко используются передачи винт-гайка качения. На рис.2 представлены представленные кинематические схемы этих приводов.



аб

Рис. 2. Передатки винт-гайка качения:

- а – привод главного движения ОЦЗВ; б – привод подач

Привод подач по каждой координате является самостоятельным, конструктивно подобным. Исполнительным звеном в перемещении подвижных органов является безлюфтовая пара винт-гайка качения, которая получает вращение по цепочке: электродвигатель – эластичная муфта – винт-гайка качения. Электродвигатель имеет бесступенчатую регулировку скорости.

Перемещение исполнительных органов салазок нижних, стола-салазок и шпиндельной бабки (соответственно оси координат «Z», «X», «B») осуществляется от индивидуальных приводов подачи по каждой оси координат. Приводы подачи унифицированы. От электродвигателя 1 через муфту 2 вращение передается на винт 3 передачи винт-гайка качения, корпус гайки 4 которой закреплен на подвижном органе. В качестве привода используется высокомоментный электродвигатель постоянного тока, что позволяет проводить бесступенчатое регулирование подачи. Муфта эластичная, имея высокую крутильную жесткость, позволяет передавать большой крутящий момент и допускает незначительную несоосность и перекося осей винта и вала двигателя при монтаже.

Винт передачи ВГК смонтирован на двух опорах, в конструкцию которых встроены подпружиненные упоры для смягчения удара в аварийных ситуациях. В опорах установлены с предварительным натягом прецизионные подшипники 5, обладающих высокой нагрузочной способностью и жесткостью.

На рис. 3 представлена конструкция передачи ВГК обрабатывающего центра.

Основным критерием работоспособности и расчета ВГК-передачи является износостойкость, а основной причиной выхода из строя винтов и гаек является недопустимое изнашивание их резьбы.

Проведем расчет ВГК-передачи ОЦЗВ [10, 11, 12].

К исходным данным относятся:

1. Масса перемещающихся узлов привода подачи:

$$M_x = 1850 \text{ кг}; M_z = 1000 \text{ кг}; M_y = 3000 \text{ кг}.$$

2. Размеры ВГК: условный диаметр –  $d_0 = 63$  мм; шаг:  $P = 10$  мм;

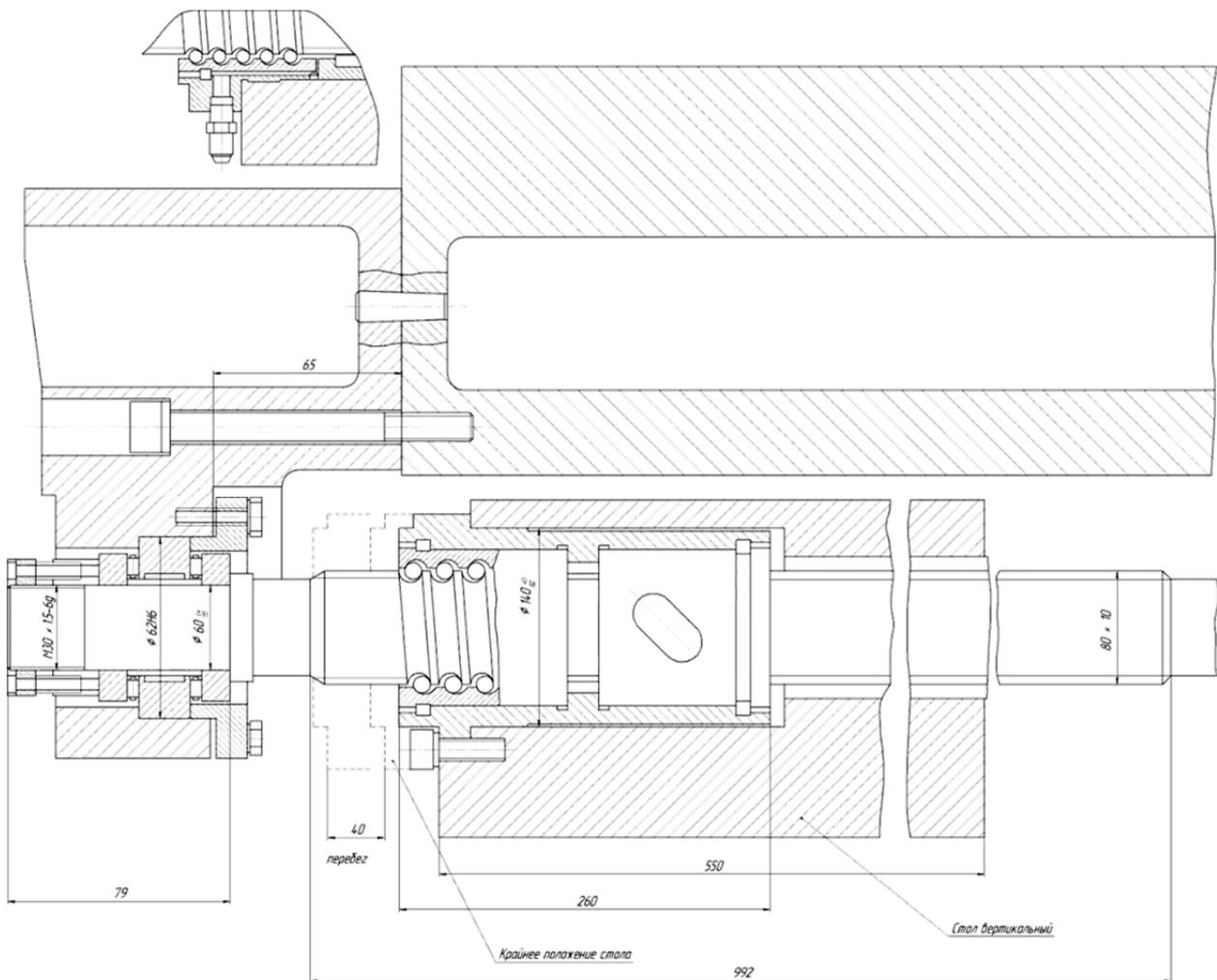


Рис. 3. Фрагмент чертежа ВГК

3. Скорость перемещения исполнительных органов –  $V_{xx} = 10$  м/мин;

4. Приведенный коэффициент трения  $f$  «бронза-сталь» – при установившемся движении  $f = 0,04$ , при разгоне  $f = 0,05$ , а при страгивании с места на средних скоростях  $f = 0,07$ .

5. Двигатель ВЭМ 225УЗ,  $J = 0,0433$  Н·м<sup>2</sup>;  $M_{ном} = 20,5$  Н·м.

При резании момент двигателя равен сумме моментов от сил резания ( $M_{дв.р}$ ) и трения ( $M_{т}$ )

$$M_{дв.хх} = M_{дв.дин} + M_{дв.т} \text{ (страгивание)}$$

$$M_{дв.раб} = M_{дв.р} + M_{дв.т} \text{ (движение)}$$

Расчет динамических моментов  $M_{дв.дин}$  осуществляется по формуле

$$M_{дв.дин} = J_{\Sigma} i \varepsilon_{max}$$

где  $J_{\Sigma}$  – момент инерции механической части привода подач, приведенный к валу электродвигателя, Н·м<sup>2</sup>;

$i$  – передаточное число;

$\varepsilon_{max}$  – максимальное ускорение вала исполнительного механизма, 1/с<sup>2</sup>

$$\varepsilon_{max} = \frac{\omega_{max}}{T_m} = \frac{\pi \cdot n_{max}}{30 \cdot T_m} = \frac{\pi \cdot V_{max}}{30 \cdot p \cdot T_m}$$

где  $V_{max} = V_{xx}$  (исходные данные), мм/мин;

$p$  – шаг винта, мм;

$T_m$  – механическая постоянная времени разгона (торможения) привода.

$$T_m = \frac{V_{xx}}{a} = \frac{10}{60 \cdot 0,3} = 0,42 \text{ с,}$$

где  $a$  – линейное ускорение, м/с<sup>2</sup>; для станков высокой точности  $a = 0,2 \div 0,4$  м/с<sup>2</sup>.

Принимаем  $T_m = 0,5$  с

$$\varepsilon_{max} = \frac{\pi \cdot 1000}{30 \cdot 10 \cdot 0,5} = 209,4, 1/с^2.$$

Расчет динамических моментов,  $M_{дин}$ :

$$M_{дин x} = (J_y + J_x) \varepsilon_{max} = (0,0433 + 0,024) \cdot 209,4 = 14,1 \text{ Н·м;}$$

$$M_{дин y} = (J_x + J_y) \varepsilon_{max} = (0,0433 + 0,021) \cdot 209,4 = 13,5 \text{ Н·м;}$$

$$M_{дин z} = (J_x + J_z) \varepsilon_{max} = (0,0433 + 0,026) \cdot 209,4 = 14,5 \text{ Н·м.}$$

Расчет нагрузок на привод подач. При этом рассматриваются 2 режима страгивания и максимального рабочего режима.

Нагружение на винт при страгивании определяется по формуле:

$$Q = Mgf + F_{mn},$$

где  $F_{mn}$  – сила трения в направляющих, Н

$$F_{mn} = 0,0025 \cdot H_n \cdot (\sum bi) \cdot f \cdot 9,8,$$

где  $H_n$  – длина направляющих, мм;

$\sum bi$  – сумма размеров по ширине касательных граней направляющих, мм

$$F_{np x} = 0,0025 \cdot 780 \cdot 242 \cdot 0,07 \cdot 9,8 = 323,7 \text{ Н;}$$

$$F_{np y} = 0,0025 \cdot 650 \cdot 242 \cdot 0,07 \cdot 9,8 = 270,0 \text{ Н;}$$

$$F_{np z} = 0,0025 \cdot 820 \cdot 242 \cdot 0,07 \cdot 9,8 = 340,3 \text{ Н.}$$

Нагружение на винт при страгивании:

$$Q_{хстр.} = 1850 \cdot 9,8 \cdot 0,07 + 323,7 = 1592,8 \text{ Н;}$$

$$Q_{zстр.} = 3000 \cdot 9,8 \cdot 0,07 + 340,3 = 2398,3 \text{ Н.}$$

Нагружение на винт при рабочем режиме для столов станков с прямоугольными направляющими определяется по формуле:

$$Q = 1,1 P_{под} + (P' + P'' + M \cdot g) f,$$

где  $P_{под}$  – составляющая силы резания, действующая в направлении подачи, Н;

$P', P''$  – составляющие сил резания, Н;

$f$  – приведенный коэффициент трения.

Нагружение на винт при рабочем режиме в приводах по координатам:

- привод по координате «Х»

$$Q_x = 1,1 \cdot 421 \cdot 9,8 + (328 \cdot 9,8 + 249 \cdot 9,8 + 1850 \cdot 9,8) \cdot 0,04 = 5490 \text{ Н;}$$

- привод по координате «Z»

$$Q_z = 1,1 \cdot 842 \cdot 9,8 + 3000 \cdot 9,8 \cdot 0,04 = 10253 \text{ Н;}$$

-привод по координате «У»

$$Q_y = 1114 \cdot 9,8 = 10917 \text{ Н;}$$

Расчет моментов сопротивления нагружению, определяемый по формуле

$$M_c = Q \cdot \frac{d_{кв}}{2} \cdot \text{tg} (\lambda_b + \rho) + M_0 + M_m,$$

где  $Q$  – максимальное нагружение на винт привода, Н;

$d_{кв}$  – рабочий диаметр винта, мм;

$\lambda_b$  – угол винтовой линии резьбы;

$\rho$  – приведенный угол трения;

Моменты холостого хода  $M_0$  и момент трения в уплотнениях и подшипниках  $M_m$  передачи ВГК составляет:

$$M_0 = 1,47 \text{ Н·м; } M_m = 4 \text{ Н·м.}$$

Находим рабочий диаметр винта

$$d_{кв} = d_o - 2r_1 \cos \alpha = 63 - 2 \cdot 3 \cdot 0,707 = 58,8 \text{ мм}$$

где  $d_o$  – условный диаметр винта, мм;

$r_1$  – радиус шарика, мм;

$\alpha$  – угол контакта.

Угол подъема винтовой линии резьбы:

$$\text{tg} \lambda_b = \frac{t}{\pi \cdot d_{кв}} = \frac{10}{\pi \cdot 58,8} = 0,05413; \quad \lambda_b = 3^\circ 05'55''.$$

Приведенный угол трения  $\rho$  равен

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{0,001}{r_1 \cdot \sin \alpha} = \frac{0,001}{0,3 \cdot 0,707} = 0,00472.$$

Таблица 1

**Параметры нагружения передачи ВГК**

Наименование привода, Режим работы	Нагружение на винт, Н	Момент сопротивления нагружению $M_c$ , Н·м	Момент сопротивления, приведенный к валу двигателя $M_{дв}$ , Н·м	Суммарный момент двигателя $M_{дв.сум}$ , Н·м
Привод по координате «Х» Разгон до скорости $V_{xx}$	1593 5490	8,24 15,0	8,5 15,0	22,6 15,5
Привод по координате «У» Разгон до скорости $V_{xx}$	1798,0 10917,0	8,59 24,42	8,7 24,8	22,9 24,8
Привод по координате «Z» Разгон до скорости $V_{xx}$	2398,0 10253,0	9,63 23,27	9,9 24,0	24,4 24,0

Подставляем значения  $d_{кв}$ ,  $\lambda_{в}$ ,  $\rho$ ,  $M_0$  и  $M_m$  формулу для определения моментов сопротивления нагружению  $M_c$  и сводим все результаты в табл.1,

где представлены также расчетные значения моментов сопротивления приведенных к валу электродвигателя  $M_{дв}$  и суммарный момент двигателя  $M_{дв.сум}$ , возникающие в процессе фрезерования.

При сравнении полученных значений  $M_{дв}$  и  $M_{дв.сум}$  с допустимыми значениями работы двигателя можно сделать вывод о том, что двигатель будет работать в номинальном режиме без перегрева.

Существует другой подход к проектированию ВГК-передачи, использующий новую методику, когда рассматривается т.н. неидеальная передача [13, 14, 15, 16]. Для этих целей предназначен модуль APM Screw [14, 17] – модуль проектирования и расчета винтовых передач. Этот подход учитывает погрешности изготовления деталей в контакте: «тело качения-дорожка качения». Неидеальное представление позволяет уточнить методы инженерного расчета и приблизить их модели к реальным. В основе расчета параметров неидеальной винтовой передачи лежит расчет ее контактной жесткости. Определение контактных напряжений лежит в основе расчета статической прочности передачи. При этом следует помнить, что эти напряжения не должны превышать 3500 МПа так как, в противном случае, велика опасность появления пластических деформаций.

Другие характеристики винтовой передачи в большей или меньшей степени зависят от параметра жесткости: моменты трения; потери мощности; осевые радиальные и угловые биения; долговечность; наибольшие контактные напряжения и др.

Неидеальное представление винтовой пары позволяет определить, кроме средних значений параметров потерь мощности, момента трения, смещений и т.д., величины их рассеяния, а потому большинство расчетных характеристик представляется в статистически обработанном виде.

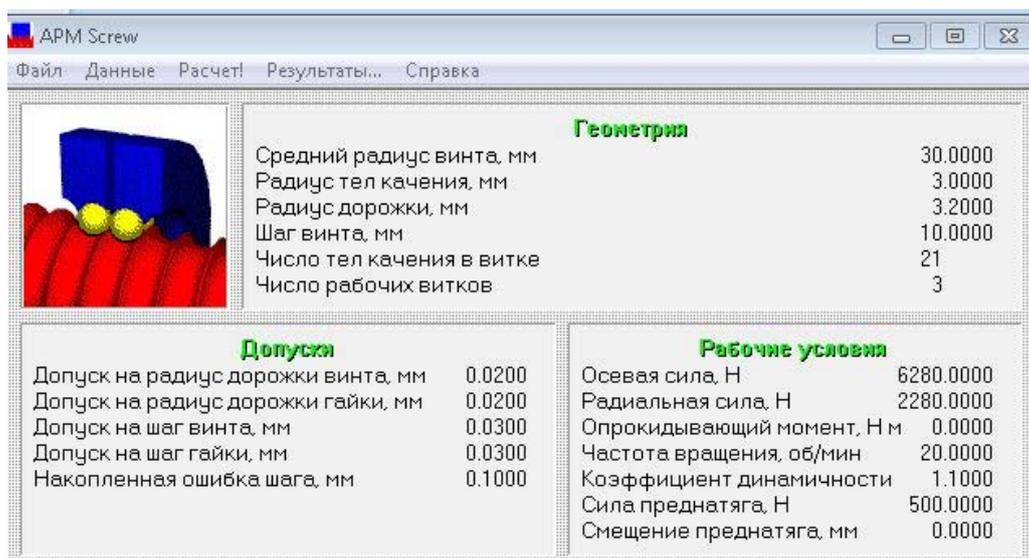


Рис. 4. Исходные данные

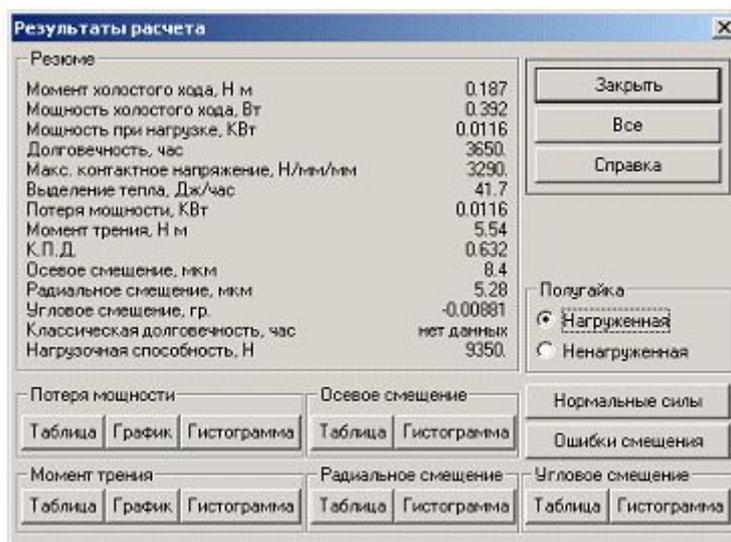
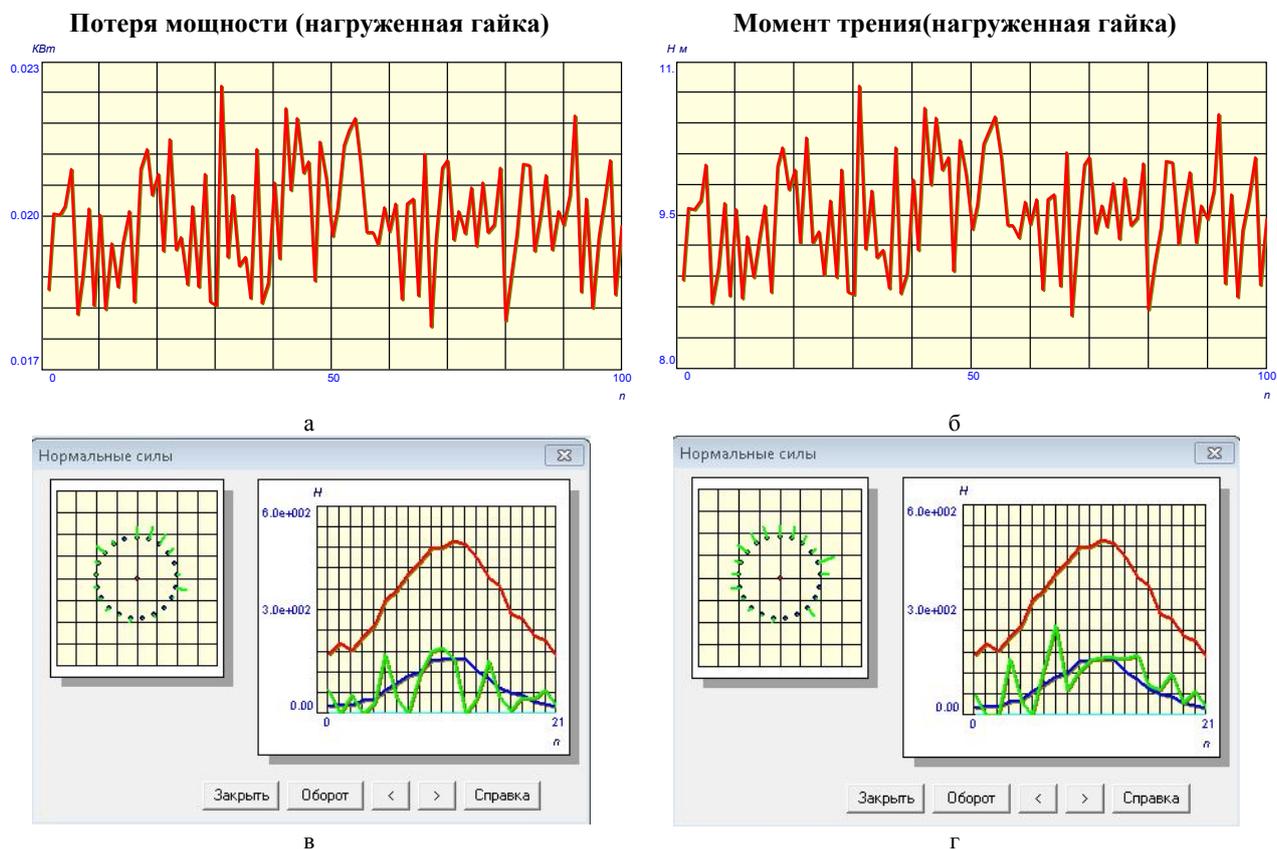


Рис. 5. Результаты расчета

Рис. 6. Энергетические характеристики передачи:  
а – потеря мощности; б – момент трения; в, г – нормальные силы

С помощью APM Screw можно рассчитать и спроектировать следующие типы винтовых передач: винтовые передачи скольжения; шарико-винтовые передачи с преднатягом; шарико-винтовые передачи без преднатяга; планетарно-винтовые передачи. С помощью APM Screw можно рассчитать следующие характеристики ВГК передач: геометрические параметры передач; силы, действующие в передаче;

долговечность; потери мощности на трение; максимальную допустимую нагрузку и др.

Рассчитаем передачу ВГК привода подач обрабатывающего центра ОЦЗВ (рис. 2) в модуле APM Screw. Введем исходные данные (рис. 4):

С помощью модуля APM Screw получены следующие результаты (рис.5):

Энергетические характеристики передачи с предварительным натягом могут быть рассчитаны,

как для ненагруженной, так и нагруженной полугайки. Для последней эти характеристики представлены на рис. 6.

Модуль APM Screw позволяет эффективно исследовать распределение нормальных сил, действующих на тела качения в пространстве дорожек качения. В диалоговом окне «Нормальные силы» изображается нагрузка на тела качения в первом из рабочих витков шарико-винтовой передачи (рис.6,в). Нажимая кнопку «Оборот», можно посмотреть распределение нормальных сил (рис.6,г) при различных положениях винта (100 значений), а с помощью кнопок «<<» и «>>» можно выбрать различные витки передачи.

Наряду с энергетическими, модуль предоставляет расчетные данные о точностных характеристиках (рис.7).

Результаты расчета ресурса передачи показывают, что выполняется условие пригодности шариковинтовой передачи

$$L_{ah} \geq L_{ahT} \rightarrow 41116 > 5000,$$

где  $L_{ah}$  – расчетный ресурс, ч;

$L_{ahT}$  – требуемый ресурс, ч.

Требуемый ресурс работы передачи ВГК находится в диапазоне  $(5 \dots 10) \cdot 10^3$ , час.

Ниже представлен фрагмент расчета расчетного ресурса в программной среде Maple:

```
>fa:=6280.0:kp:=1.0:
ka:=.8:km:=1.0:ca:=62030.0:d:=63.0:t:=10.0:dsh:=6.
0:nc:=20.0:
>catp:=1.25*fa/(kp*ka*km);
catp:=9812.500000
>cap:=ca*(kp*ka*km);
cap:=49624.0000
>la:=cap/fa;
la:=7.901910828
>lah:=10**6*(cap/fa)**3/(60*nc);
lah:=4.111640423 105.
```

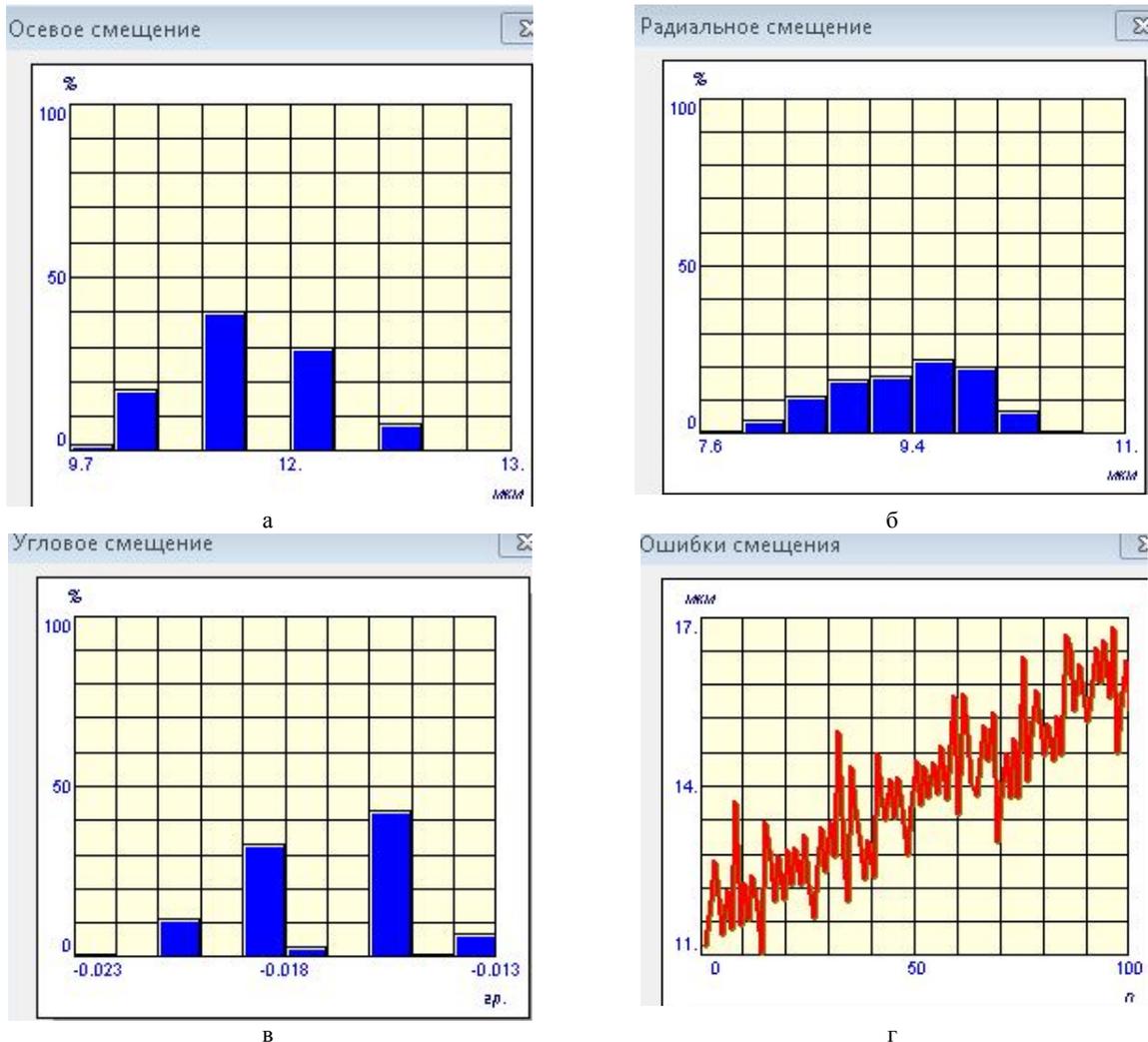


Рис. 7. Точностные характеристики:  
 а – осевое смещение; б – радиальное смещение; в – угловое смещение; г – ошибки смещения

Для исследования конструкции ВГК-передачи обрабатывающего центра ОЦЗВ, с помощью которой осуществляется движение подачи узла стола салазки построим 3D-модель (рис.8, рис.9) этой передачи в САПР КОМПАС-3D [18, 19, 20, 21].

Полученные 3D-модели являются основой всестороннего инженерного анализа проектируемого объекта с использованием

инструментов CAE-анализа, а также осуществления комплекса расчетов по критериям прочности и жесткости ВГК-передач. Для этого используются программы дающие представления о напряженно-деформированном состоянии компонентов привода подач, входящие в программный комплекс CAD/CAE системы АРМ WinMachine и САПР КОМПАС-3D [22-26].

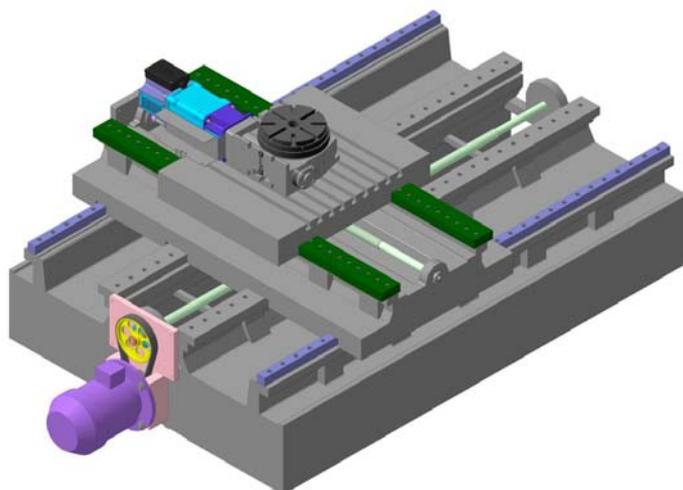


Рис. 8. 3D-модели ВГК-передачи стола обрабатывающего центра

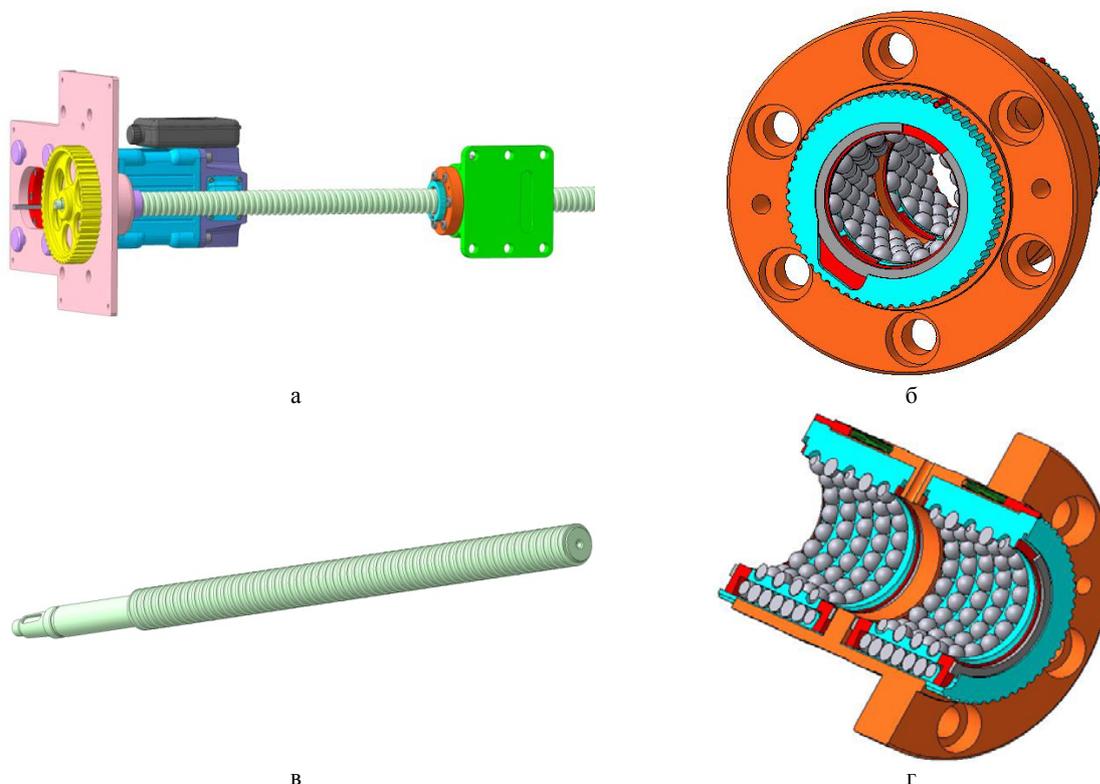


Рис. 9. 3D-модели компонентов ВГК-передачи:  
а – сборочный узел; б – гайка в сборе; в – винт; г – гайка в разрезе

**Висновки.** Проведено комплексне дослідження конструкції передачі винт-гайка качения оброблюваного центра моделі ОЦЗВ з використанням процедур автоматизованого проектування в САПР АРМ WinMachine і 3D-моделювання конструкції ВГК-передачі.

Проведен розрахунок основних параметрів передачі в модулі АРМ Screw – модулі проектування і розрахунок винтових передач. Отримані результати, відрізняються тим, що в автоматизованому розрахунок розглядалась т.н. неідеальна конструкція, і враховувались похибки виготовлення в зоні контакту тел качения і дорожок качения ВГК-передачі. Розрахункове значення критерію по традиційній методиці значно перевищує необхідний ресурс 5000 годин, в той час як врахування неідеальності контакту (ресурс не перевищує 3650 годин) робить проблематичним використання цієї передачі на максимальних навантаженнях на привод подачі. Крім того, наближається до межі і контактні напруження, досягають значень 3290 МПа, що може призвести до порушення працездатності по критерію несучої здатності. Широкий спектр можливостей модуля АРМ Screw дозволяє вдосконалити якість проектуваних приводів металорежущих станків, проводити комплексні дослідження і визначити шляхи вдосконалення конструкцій ВГК-передач.

#### Л и т е р а т у р а

1. Детали и механизмы металлорежущих станков / Под ред. Д.Н. Решетова. Т 2. – М.: Машиностроение, 1972. – 520 с.
2. Детали машин: учебник для академического бакалавриата / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – 15-е изд. испр. и доп. – М.: Юрайт, 2014. – 408 с.
3. Леликов О.П. Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин: конспект лекций по курсу “Детали машин”. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 464 с.
4. Shevchenko S., Muhovaty A., Krol O. Geometric Aspects of Modifications of Tapered Roller/ Procedia Engineering 150 (2016) 1107-1112.
5. Кріль О.С., Шевченко С.В., Соколов В.І. Проектування металорізальних верстатів в середовищі АРМ WinMachine. Підручник. ISBN 978-966-590-926-2 (Затверджено МОНМСУ як підручник, гриф №1/11-4102 від 25.05.11р.). – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2011. – 400 с.
6. Кріль О.С. Параметричне моделювання металорежущих станків і інструментів. Монографія. ISBN 978-966-590-935-4 / Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2012. – 116 с.
7. Кріль О.С., Кріль А.А., Синдеева Е.В. Моделирование конструкции четырехопорного вала в САПР АРМ «WinMachine» // «Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні». Зб. наук. пр. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2008. – С. 139-143.
8. Кріль О.С., Кріль А.А. Параметризация поперечных компоновок привода главного движения// Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: вип.24, 2009. – С. 164-168.
9. Кузнецов А.В. Моделирование многокомпонентных динамических систем на примере шарико-винтовой передачи // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XIV междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2012. – С. 39-47.
10. Кріль О.С., Шевченко С.В., Синдеева О.В., Покінтелиця М.І. Проектування механічних передач металорізальних верстатів за допомогою системи WinMachine. Навчальний посібник, ISBN 978-966-590-652-0 / Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2007. – 200 с.
11. Кріль О.С., Кріль А.А. Расчет податливости станка СФ68ВФ4 и моделирование динамики формообразования // Вісник СевНТУ, вип. 117 «Машинобудування та транспорт», Севастополь. – 2011. – С. 81-84.
12. Krol O., Khmelnytsky A. 3D-modelling and investigating of spinle's node of angular head for multyoperation tool/ TEKA Commision of Motorization and Energetic in Agriculture. – Lublin, Poland. –Vol.15. – № 3. (2015), p. 35-40.
13. Шелюфаст В.В. Основы проектирования машин.–М.: Изд-во АПМ, 2005. – 472 с.
14. Замрий А.А. Практический учебный курс САД/САЕ АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие. – М.: Изд-во АПМ, 2007. – 144 с.
15. Нерубашенко А.А., Кріль О.С., Кріль А.А. Создание базы данных параметрических моделей деталей станков в модуле АРМ Base // Вісник СевНТУ, 2010, вип.107. – С.107-109
16. Кріль О.С. Построение параметрических моделей ременных передач с использованием системы АРМ WINMACHINE//Восточноєвропейський журнал передових технологій. – X: - 2012. № 2/7(62). – С. 61-63.
17. АРМ Screw. Система проектування і розрахунок винтових передач. Руководство пользователя. – М.: Изд-во АПМ, 2015. – 12 с.
18. Кріль О.С. Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення. Навчальний посібник. ISBN 978-617-11-0074-9 / О.С. Кріль, В.І. Соколов. – Северодонецьк: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2016. – 160 с.
19. Krol O. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4/ Krol O, Osipov V./TEKA Com. Mot. and Energ. in Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, No 3, Lublin, Poland. – P. 108-113.
20. Krol O. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 /O. Krol, I. Sukhorutchenko [Text] // TEKA Commision of Motorization and Energetic in Agriculture. –Vol.13. – № 3. 2013.– Lublin, Poland. – P. 114-119.
21. Кріль О. С. Методи і процедури 3D-моделювання металорежущих станків і інструментів. Монографія. ISBN 978-617-11-0049-7/ О.С. Кріль. – Северодонецьк: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2015. – 120 с.
22. Кріль О.С. Моделирование шпиндельного узла оброблюваного центра / О.С.Кріль, Е.І.Бурлаков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – X: НТУ «ХПІ» – № 11(985), 2013. – С. 33-38.
23. Кріль О.С. Твердотельное моделирование и исследование шпиндельного узла оброблюваного центра/О.С.Кріль, А.А.Кріль, Е.І. Бурлаков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія:

Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ» – № 16(989), 2013. – С. 14-18.

24. Кріль О.С. Исследование шпиндельного узла многооперационного станка модели СФ16МФ3/ О.С. Кріль // Вісн. Східноукр. Нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2014. – № 6. – С. 121-125.
25. Соколов В.І., Кріль О.С., Спіфанова О.В. Гідравліка. – Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля. – 2017. – 160 с.
26. Кріль О.С., Шумакова Т.О., Соколов В.І. Проектування зуборізних інструментів за допомогою системи КОМПАС. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля. – 2013. – 142 с.

### References

1. Details and mechanisms of metal-cutting machine tools / Ed. D.N. Reshetov. Т 2. – М.: Mechanical Engineering, 1972. – 520 p.
2. Details of machines: a textbook for academic Bachelor's degree/ M.N. Ivanov, V.A. Finogenov. – 15 th ed. Correction and additional. – М.: Yurayt, 2014. – 408 p.
3. Lelikov, O.P. Basics of calculation and design of parts and machine components: a summary of lectures on the course "Machine parts." – 3rd ed. Rewrite and additional. – М.: Mechanical Engineering, 2007. – 464 p.
4. Shevchenko S., Muhovaty A., Krol O. Geometric Aspects of Modifications of Tapered Roller/ Procedia Engineering 150 (2016) 1107-1112.
5. Krol O.S., Shevchenko S.V., Sokolov V.I. Design of metal-cutting machines in the environment of APM WinMachine. Textbook. ISBN 978-966-590-926-2 (approved by MONMSU as textbook, neck No. 1 / 11-4102, dated May 25, 2011 year). – Lugansk: Publishing house of SNU, 2011. – 400 p.
6. Krol O.S. Parametric modeling of metal-cutting machines and tools. Monograph. ISBN 978-966-590-935-4 / Lugansk: Publishing house of SNU, 2012. – 116 p.
7. Krol O.S., Krol A.A., Sindeeva E.V. Modeling of the design of the four-shaft shaft in the CAD APM "WinMachine" // "Resource-saving technologies of production and processing of materials in machine building". Digest of scientific works. – Lugansk: Publishing house of SNU, 2008. – P. 139-143.
8. Krol O.S., Krol A.A. Parametrization of the transverse layouts of the drive of the main motion // Tool reliability and optimization of technological systems. Digest of scientific works – Kramatorsk: issue 24, 2009. – P. 164-168.
9. Kuznetsov A.V. Modeling of multicomponent dynamical systems using the example of a ball-screw transmission // Technical sciences – from theory to practice: Digest by mater. XIV Intern. scientific-practical. Conf. – Novosibirsk: SibAK, 2012. – P. 39-47.
10. Krol O.S., Shevchenko S.V., Sindyeva O.V., Pokintelitsya M.I. Design of mechanical gears of metal-cutting machines with the help of a system APM WinMachine. Handbook, ISBN 978 - 966 - 590 - 652 - 0 / Lugansk: Publishing house of SNU, 2007. – 200 p.
11. Krol O.S., Krol A.A. Calculation of the compliance of the SF68VF4 machine and the modeling of the dynamics of shaping // Bulletin of SevNTU, Issue 117 "Machinebuilding and transport", Sevastopol, 2011. – P. 81-84.
12. Krol O., Khmel'nitsky A. 3D-modelling and investigating of spinle's node of angular head for multyoperation tool/ TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. – Lublin, Poland. – Vol.15. – № 3. (2015), P. 35-40.

13. Shelofast V.V. Fundamentals of designing machines. – М.: Publishing house of the APM, 2005. – 472 p.
14. Zamriy A.A. Practical training course CAD/CAE APM WinMachine. Teaching-methodical manual. – М.: Publishing House of the APM, 2007. – 144 p.
15. Nerubaschenko A.A., Krol O.S., Krol A.A. Creation of a database for parametric models of machine parts in the APM Base module // Bulletin of SevNTU, 2010, issue.107. – P.107-109.
16. Krol O.S. Construction of parametric models of belt transmissions using the AWM WINMACHINE system / Eastern European Journal of Advanced Technologies. – Kharkiv – 2012. No. 2/7 (62). – P. 61-63.
17. APM Screw. System for designing and calculating screw gears. User guide. – М.: Publishing House of APM, 2015. – 12 p.
18. Krol O.S. Three-dimensional modeling of machine tools and tool equipment. Handbook. ISBN 978-617-11-0074-9 / O.S. Krol, V.I. Sokolov. – Severodonetsk: Publishing house of SNU, 2016. – 160 p.
19. . Krol O. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4/ Krol O, Osipov V.//TEKA Com. Mot. and Energ. in Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, № 3, Lublin, Poland. – P. 108-113.
20. Krol O.3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 /O. Krol, I. Sukhorutchenko [Text] // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. –Vol.13. – № 3. 2013.– Lublin, Poland. – P. 114-119.
21. Krol O.S. Methods and procedures of 3D-modeling of metal-cutting machine tools and instruments. Monograph. ISBN 978-617-11-0049-7 / O.S. Krol. – Severodonetsk: Publishing house of SNU, 2015. – 120 p.
22. Krol O.S. Modeling of the spindle unit of the machining center / O.S.Krol, E.I.Burlakov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies – Kharkiv: NTU "KhPI" – № 11 (985), 2013. – P. 33-38.
23. Krol O.S. Solid modeling and investigation of the spindle knot of the machining center / O.S.Krol, A.A. Krol, E.I. Burlakov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI". – № 16 (989), 2013. – P. 14-18.
24. Krol O.S. Investigation of the spindle unit of the multi-operation machine model SF16MF3 / O.S. Krol // Bulletin of SNU. – 2014. – No. 6. – P. 121-125.
25. V. Sokolov, O. Krol, O. Yepifanova. Hydraulics. V. Dahl EUNU, Severodonetsk, 2017.
26. Krol O., Shumakova T., Sokolov V. Design metal cutting instruments by dint of system of КОМПАС. V. Dahl EUNU, Lugansk, 2013.

### **Кріль О.С., Кадаффі М.С, Бойчук Д.А. Дерябін І. О. Дослідження та моделювання передачі гвинт-гайка кочення обробного центра в АРМ WinMachine**

*У статті проведено дослідження конструкції і геометрії передачі гвинт-гайка кочення (ВГК). Проведено розрахунок працездатності ВГК-передачі приводу подач обробного центру і дана оцінка параметрів довговічності і несучої здатності цієї передачі. Виконано проектування ВГК-передачі в модулі APM Screw для випадку розгляду неідеальних передач з урахуванням похибок виготовлення деталей в контакті «тіло кочення-доріжка кочення». Побудовано 3D-моделі ВГК-передачі, використаної в механізмах приводу подач обробного центру ОЦЗВ в інтегрованої САПР КОМПАС-3D.*

**Ключові слова:** гвинт-гайка кочення, обробний центр, ресурс передачі, 3D-модель

**Krolo O., Kadaffi M., Boychuk D., Deryabin I.**  
**Research and modelling of screw-nut rolling for the machining center**

*The article deals with the design and geometry of screw-nut rolling (VGK) transmission. The calculation of the efficiency of the VGK transmission of the feed drive of the machining center is carried out and the parameters of the longevity and bearing capacity of this transmission are estimated. The design of the VGK transmission in the APM Screw module has been completed for the case of non-ideal gears considering the manufacturing errors in the "rolling-track" contact. The 3D models of the VGK-transmission used in the mechanisms of the feed of the machining center OTS3V in the integrated CAD КОМПАС-3D are built.*

**Keywords:** screw-nut rolling, machining center, transmission resource, 3D-model

**Кроль О.С.** – к.т.н., доцент, професор кафедри машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету ім. В.Далю, e-mail: [krolos\\_snu.edu@gmail.com](mailto:krolos_snu.edu@gmail.com)

**Кадаффи М.С.** – студент кафедри машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету ім. В.Далю

**Бойчук Д.А.** – студент кафедри машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету ім. В.Далю

**Дерябін І.** – студент кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Далю

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 21.09.2017