

УДК 621.9.06

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА УГЛОВОЙ ГОЛОВКИ МНОГООПЕРАЦИОННОГО СТАНКА

Кроль О.С., Хмельницкий А.В.

3D-MODELLING TO SPINLE'S NODE OF ANGULAR HEAD FOR MULTYOPERATION TOOL

Krol O.S., Khmelnitsky A.V.

Приведено решение задачи построения трехмерных моделей шпиндельного узла многооперационного станка модели СФ68ПФ4, с использованием модуля АРМ FEM, интегрированного в САПР КОМПАС-3D. Получены оценки напряженно-деформированного состояния, позволяющие наметить пути совершенствования конструкции двухпорного шпиндельного узла

Ключевые слова: угловая головка, шпиндельный узел, твердотельная модель, САПР КОМПАС, модуль АРМ FEM

Введение. Эффективные редакторы 3D-моделирования внедряются в практику станкостроения. В последнее время прогрессирует интегрированная САПР КОМПАС 3D [1, 2], оснащенная собственным параметризатором и модулем исследования напряженно-деформированного состояния АРМ FEM, использующим метод конечных элементов [3].

Наряду с геометрическим моделированием необходимо проведение всестороннего инженерного анализа проектируемого объекта с использованием инструментов CAE-анализа, а также осуществление комплекса расчетов по критериям прочности и жесткости. Нужны программы дающие представления о напряженно-деформированном состоянии формообразующих деталей и узлов станка. Такой программный комплекс представляет известная CAD/CAE система АРМ WinMachine [4].

Начиная с версии КОМПАС 3D v.13 в ее состав интегрирован модуль АРМ FEM, являются составной частью единой среды проектирования и анализа с использованием ассоциативной геометрической модели, единой библиотеки материалов и общего с КОМПАС-3D интерфейса [5].

Целью данной работы является повышение эффективности процедур исследования технико-экономических свойств формообразующих изделий за счет построения твердотельных моделей шпиндельных узлов и оценки упруго-деформационных характеристик шпинделей

многооперационных станков, оснащенных модульной оснасткой.

Изложение основного материала.

Эффективность процесса создания металлорежущих станка зависит от уровня качества формообразующих узлов [6, 7]. Шпиндельный узел (ШУ) являющийся исполнительным органом несущей системы станка, оказывает решающее влияние на жесткость, виброустойчивость и производительность станка в целом. Оценка точности шпиндельного узла осуществляется с учетом той части, которую вносит ШУ в суммарную погрешность обработки. Эти исследования показали, что в формировании показателей точности взаимного расположения поверхностей и точности формы влияние шпиндельного узла составляет соответственно 50...80 % и 60...90 % в общем распределении точности станка.

Для анализа работоспособности конструкции, выбора оптимального варианта проекта и его исследования методом конечных элементов создана 3D-модель станка СФ68ПФ3 (рис. 1) с угловой шпиндельной головкой (рис. 2) в САПР КОМПАС-3D [8].

Угловая головка станка СФ68 позволяет расширить технологические возможности фрезерно-сверлильно-расточных станков. Угловая головка используется для обработки уступов и пазов, расположенных в труднодоступных участках заготовок плоскостей. Она реализует высокопроизводительную обработку при частотах вращения шпинделя до 4000 мин⁻¹ с возможностью угла поворота шпинделя на 360° в горизонтальной плоскости. Движение от вертикального шпинделя на шпиндель головки угловой передается через коническую передачу. Наиболее характерной операцией, осуществляемой с помощью угловой головки, является фрезерование плоскостей, пазов и уступов концевой фрезой. Данный типоразмер головки оснащается набором концевых фрез с диаметром в диапазоне 3 ... 25 мм. Для таких фрез

характерны предельные режимы: $s_z = 0,05 \dots 0,1$ мм/зуб; $t = 4 \dots 8$ мм. При таких режимах, в соответствии со справочником технолога, главная составляющая силы фрезерования составляет:

$$P_{z\phi} = \frac{10 \cdot C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w},$$

где: $C_p = 12,5$; $x = 0,85$; $y = 0,75$; $u = 1,0$; $q = 0,73$; $w = -0,13$;

$B = D/1,5 = 17$ мм – ширина фрезерования;

$Z = 5$ – для фрез с нормальным зубом;

$D = 25$ мм – наибольший диаметр фрезы;

$n = 800$ мин⁻¹;

С учетом перечисленных выше данных сила равна $P_{z\phi} = 2516$ Н.

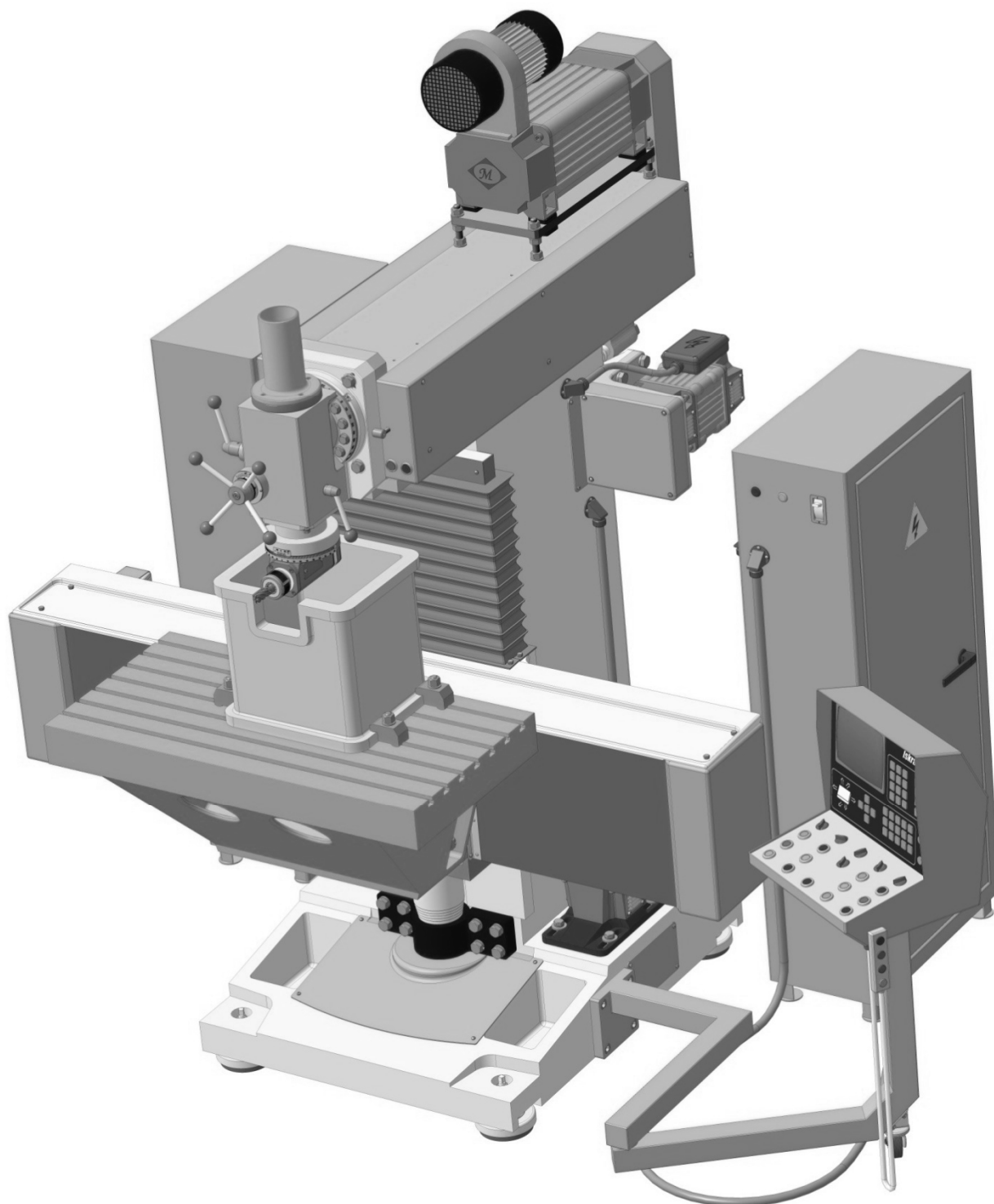


Рис. 1. 3D модель станка СФ68ПФ3

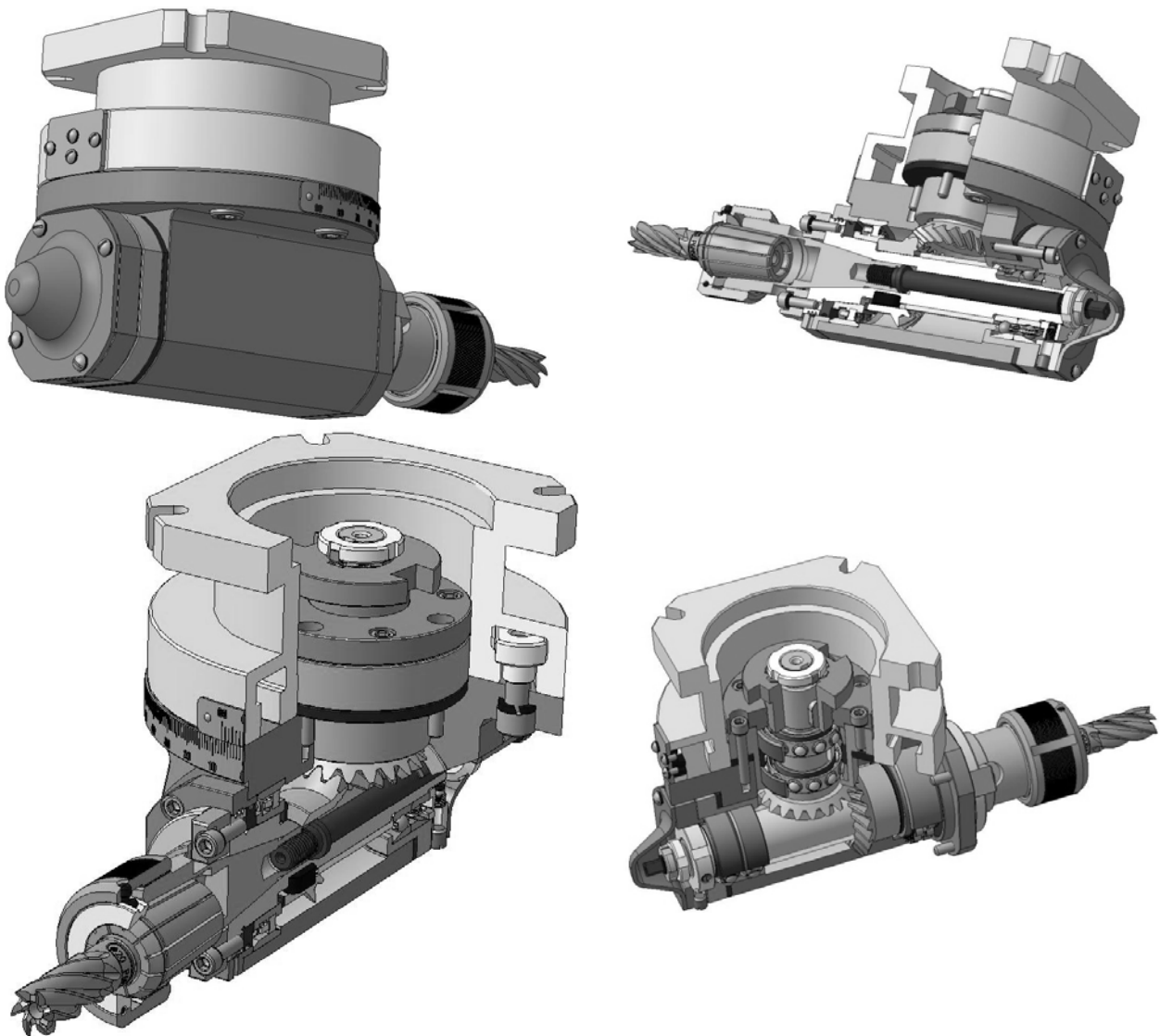


Рис. 2. 3D модель угловой головки

Для принятой схемы несимметричного попутного фрезерования существуют соотношения между окружной $P_{z\phi}$ составляющей с одной стороны и горизонтальной P_h , вертикальной P_v , радиальной $P_{y\phi}$ и осевой $P_{x\phi}$ составляющих с другой:

$$P_h : P_{z\phi} = 0,2 \dots 0,3; P_v : P_{z\phi} = 0,9 \dots 1,0;$$

$$P_{y\phi} : P_{z\phi} = 0,3 \dots 0,4; P_{x\phi} : P_{z\phi} = 0,5 \dots 0,55 (\varphi \neq 90^\circ).$$

В соответствии с этими соотношениями получим следующие численные значения составляющих сил резания при концевом фрезеровании:

$$P_h = 755 \text{ Н}; P_v = 2265 \text{ Н}; P_{y\phi} = 910 \text{ Н}; P_{x\phi} = 0.$$

Крутящий момент при фрезеровании можно определить по формуле:

$$M_{кр} = \frac{P_{z\phi} D_{\phi p.}}{2} = 31,46 \text{ Нм}.$$

При составлении расчетных схем шпинделя угловой головки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях следует учесть следующие соотношения:

$$\text{- в вертикальной плоскости } P_v \leftrightarrow P'_y = P_z;$$

$$\text{- в горизонтальной плоскости } P_h \leftrightarrow P'_x = P_x$$

$$\text{Шпиндель: сталь 40X; } E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_B = 950 \text{ МПа; } \tau_T = 785 \text{ МПа; } n = 800 \text{ мин}^{-1};$$

$$T = 5000 \text{ ч.}$$

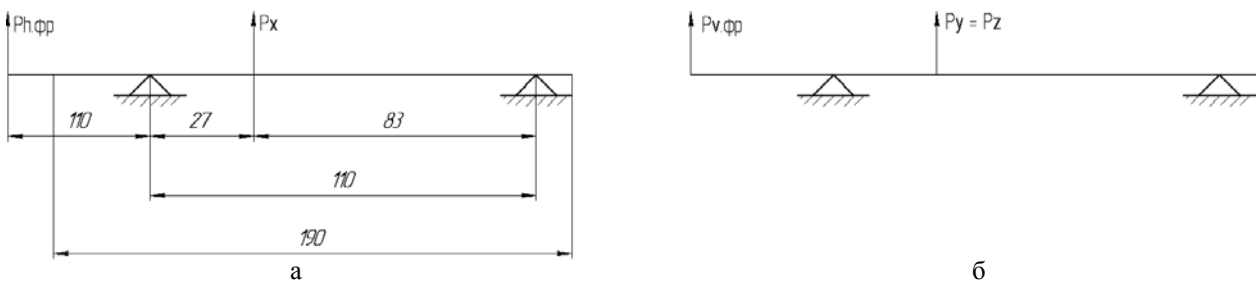


Рис. 3. Расчетная схема шпинделя угловой головки:
а – в горизонтальной плоскости, б – в вертикальной плоскости

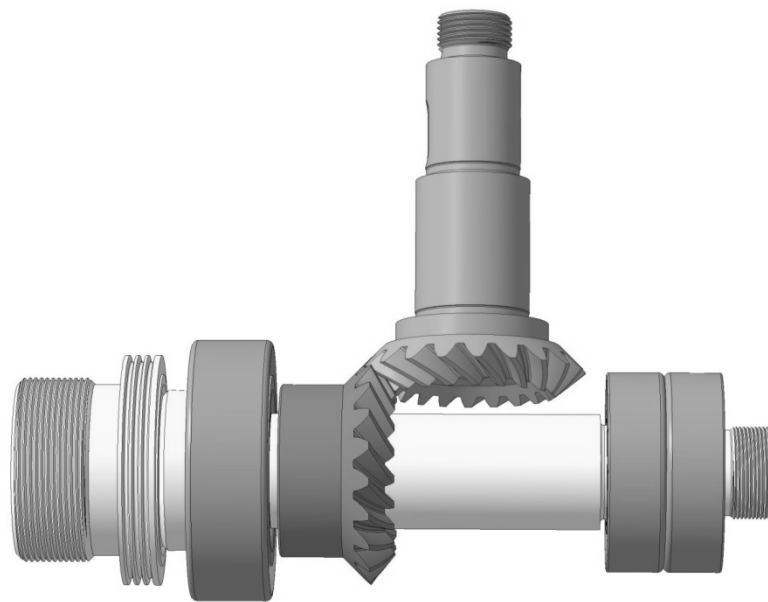


Рис. 4. Трехмерные модели деталей шпиндельного узла на двух опорах

Момент сопротивления поперечного сечения шпинделя определяется в соответствии с зависимостью

$$W_p = \frac{M_{\text{ин}}}{\sigma_{\text{п}}} = \frac{260}{980 \cdot 10^6} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^4.$$

Диаметр шпинделя d при расчете по критерию прочности принимает значение: $d=32$ мм.

Шпиндель угловой головки монтируется на двух опорах:

Передняя - подшипник 3182108 - роликовый радиальный двухрядный с короткими цилиндрическими роликами с коническим отверстием внутреннего кольца с бортами на внутреннем кольце. Направление воспринимаемых нагрузок - радиальное. Допускают регулировку радиального зазора. Подшипник соответствует стандарту ГОСТ 7634-75.

Задняя: – подшипник 246205 - шариковый радиально-упорный сдвоенный, наружные кольца которого обращены друг к другу широкими торцами, угол контакта $\alpha=26^\circ$. Направление

воспринимаемых нагрузок - радиальное и осевое в обе стороны. Комплект подшипников фиксирует вал и корпус в обоих осевых направлениях и обеспечивает более жесткую угловую фиксацию вала чем соответствующий подшипник 346205. Подшипник соответствует стандарту ГОСТ 832-78.

В процессе построения сложных 3D-сборок было выполнено построение 3D-моделей деталей и узлов, входящих в шпиндельный узел (рис. 4).

Комплексный инженерный анализ напряженно-деформированного состояния шпинделя станка СФ68 (рис. 5, а) осуществим с помощью модуля АРМ FEM [3], оснащенного генератором конечно-элементной сетки, входящим в САЕ - библиотеку, которая реализует решения инженерных задач методом конечных элементов (МКЭ). В процессе проектирования осуществляется крепление в передней и задней опорах и задаются прикладываемые нагрузки (рис. 5, б); определяются совпадающие грани (для КЭ-анализа сборки); осуществляется генерация КЭ-сетки (рис. 5, в) методом МТ Frontal (с использованием многоядерности процессора); выполняется расчет и

просмотр результатов в виде карт напряжений и перемещений. В процессе МКЭ имеется возможность оценки и анализа разбиения при различных величинах глубины просмотра (рис. 5, г).

В рамках модуля АРМ FEM осуществлены все вышеперечисленные действия и получены:

- поля эквивалентных напряжений по Мизесу (четвертая теория прочности), представленных на рис. 6;

- поля перемещений (рис. 7) на множестве сечений шпинделя;

- коэффициент запаса прочности по пределу текучести (рис. 8).

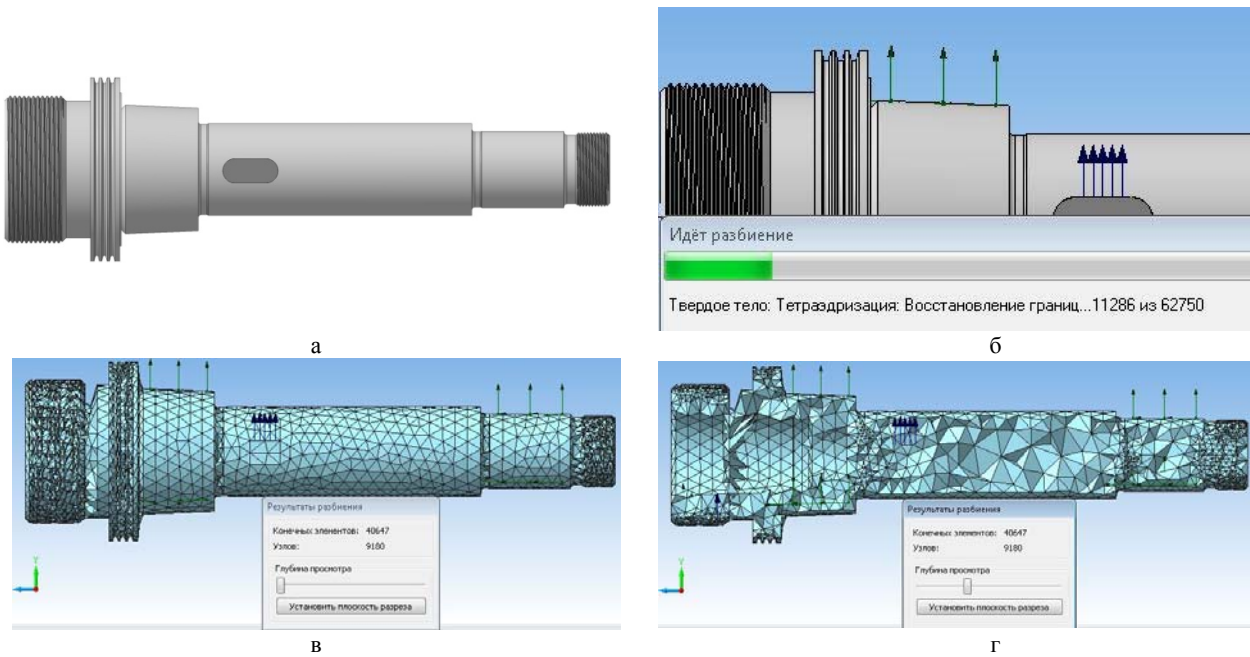


Рис. 5. Процедуры метода конечных элементов: а – 3D модель шпинделя; б – опоры и нагрузки, действующие на шпиндель; в – конечно-элементная сетка; г – глубина просмотра

Результаты статического расчета

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0.000606	4803.127843

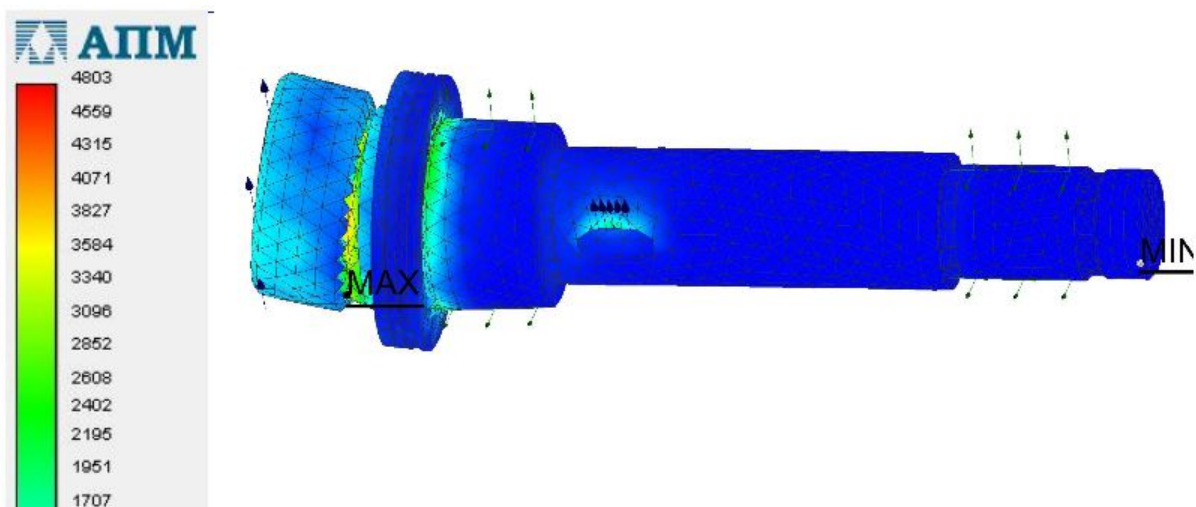


Рис. 6. Напряженное состояние шпинделя

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0	1.160879

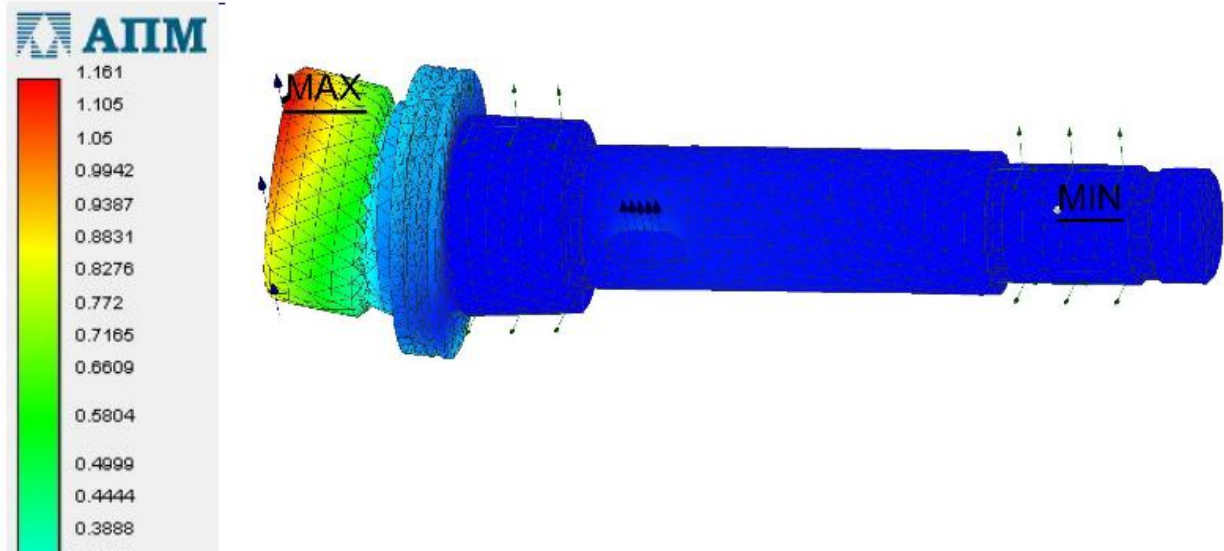


Рис. 7. Суммарные линейные перемещения

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Коэффициент запаса по текучести		0.049165	1000

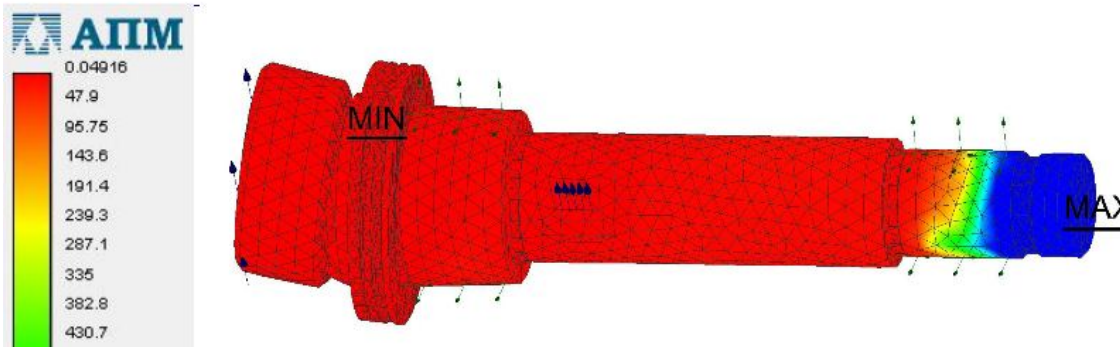


Рис. 8. Коэффициент запаса прочности

Нижче приведено протокол розрахунку в APM FEM

3) Інформація про навантаження

Наименование	Выбранные объекты	Параметры нагрузки
Удельная сила по длине: Удельная сила по длине:1	Ребра: 1	Вектор нагружения: X = 870; Y = 2516; Z = 0 Величина: 2662.171294 Н/мм
Удельная сила по длине: Удельная сила по длине:2	Ребра: 1	Вектор нагружения: X = 755; Y = 2265; Z = 0 Величина: 2387.519633 Н/мм

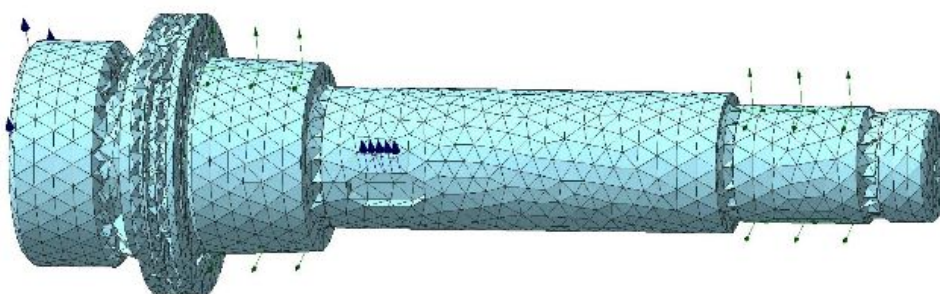
4) Информация о закреплениях

Наименование	Выбранные объекты	X [мм]	Y [мм]	Z [мм]	Rot. X [град]	Rot. Y [град]	Rot. Z [град]
Закрепление: Закрепление:1	Грани: 1	Запрещ.	Запрещ.	Запрещ.	-	-	-
Закрепление: Закрепление:2	Грани: 1	Запрещ.	Запрещ.	Запрещ.	-	-	-

5) Конечно-элементная сетка

Параметры и результаты разбиения

Наименование	Значение
Максимальная длина стороны элемента [мм]	5
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1
Коэффициент разрежения в объеме	1.5
Количество конечных элементов	25754
Количество узлов	5659



6) Результаты

Инерционные характеристики модели

Наименование	Значение
Масса модели [кг]	1.149566
Центр тяжести модели [м]	(-0.000048 ; -0.000066 ; -0.083411)
Моменты инерции модели относительно центра масс [кг*м ²]	(0.000132 ; 0.000134 ; 0.011444)
Реактивный момент относительно центра масс [Н*м]	(27980.833096 ; -9328.013116 ; -345.056917)
Суммарная реакция опор [Н]	(-122356.461762 ; -366129.385286 ; 0)
Абсолютное значение реакции [Н]	386033.457753
Абсолютное значение момента [Н*м]	29496.74412

Результаты статического расчета

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0.000606	4803.127843

Выводы. 1. Проведено комплексное исследование конструкции специализированного вертикального фрезерно-сверлильного станка второго типоразмера модели СФ68ПФ3 с использованием геометрического моделирования в САПР КОМПАС и инженерного анализа проектируемого объекта с использованием модуля АРМ FEM.

2. Построена 3D модель станка и его формообразующих узлов в системе КОМПАС-3D, дающая реальное представление о конструкции и являющаяся основой для проектных расчетов и исследования работоспособности станка.

Л и т е р а т у р а

1. Ганин Н.В. Трехмерное проектирование в КОМПАС-3D [Текст] / Н. В. Ганин. – М.: ДМК, 2012. – 776 с.
2. Фомин Е.П. Использование параметрических возможностей КОМПАС-3D/САПР и графика, №10, 2007. – с.70-74.
3. Малюх В. Н Введение в современные САПР. Курс лекций / В. Н. Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2012. –192 с.
4. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. Примеры решения задач / В.В. Шелофаст, Т.Б. Чугунова. – М.: Изд-во АПМ, 2004. – 240 с.
5. Замрий А.А. Практический учебный курс САД/САЕ АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие. – М.: Изд-во АПМ, 2007.– 144 с
6. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 2. Ч. 1. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А. С. Проников, Е. И. Борисов, В. В. Бушуев и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 371 с.
7. Мациевский А.Г., Эрлих Л.Б. Рационализация расчетов при конструировании станков. – М.: Машиностроение, 1971.- 152 с.
8. Проектування металорізальних верстатів у середовищі АРМ WinMachine: підручник/ О.С. Кроль, С.В.Шевченко, В.І.Соколов. – Луганськ, вид-во СНУ ім. В. Даля, 2011. – 386 с.
7. Macievskij A.G., Jerlih L.B. Racionalizacija raschetov pri konstruirovanii stankov. – М.: Mashinostroenie, 1971.- 152 s.
8. Proektuvannja metalorizal'nih verstativ u seredovishhi ARM WinMachine: pidruchnik/ O.S. Krol', S.V.Shevchenko, V.I.Sokolov. – Lugans'k, vid-vo SNU im. V. Dalja, 2011. – 386 s.

Кроль О.С., Хмельницький А.В. 3D-моделирование шпиндельного узла кутовой головки багатооперационного верстата

Наведено рішення задачі побудови тривимірних моделей шпиндельного вузла багатоопераційного верстата моделі СФ68ПФ4, з використанням модуля кінцево-елементного аналізу АРМ FEM, інтегрованого в САПР КОМПАС-3D. Розглянуто процедуру побудови 3D - моделі верстата і його формотворчих вузлів в системі КОМПАС-3D, що дає реальне уявлення про конструкції і є основою для проектних розрахунків та дослідження працездатності верстата. Отримано оцінки напружено-деформованого стану, що дозволяють намітити шляхи вдосконалення конструкції двухопного шпиндельного вузла.

Ключові слова: кутова головка, шпиндельний вузол, твердотільна модель, САПР КОМПАС, модуль АРМ FEM

Krol O.S., Khmelniisky A.V. 3D-modelling to spindle's node of angular head for multioperation tool

The solution of the problem of constructing three-dimensional models of the spindle assembly multioperational machine model SF68PF4 using module finite element analysis APM FEM, integrated CAD KOMPAS-3D. A comprehensive study of the structure of the vertical milling and drilling machine SF68PF4 the second size models using geometric modeling in CAD and engineering analysis KOMPAS designed object using the module APM FEM. The procedure of constructing 3D - model of the machine and its formative nodes in the system KOMPAS-3D, which gives a real idea of the design is the basis for design calculations and research performance of the machine. The estimation of the angle head performance machine equipped with a set of end mills with a diameter in the range of 3 ... 25 mm. The calculation of cutting conditions is given. Estimations of the stress-strain state, allowing to identify ways to improve the design of two-bearing spindle assembly.

Keywords: angle head , spindle , solid model , CAD KOMPAS module APM FEM

Кроль Олег Семенович – кандидат технічних наук, професор кафедри машинобудування, верстатів та інструментів Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, krol@yandex.ru
Хмельницький Андрій Валерійович – студент кафедри машинобудування, верстатів та інструментів Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Рецензент: Соколов В.І., д.т.н., професор

Стаття подана 30.09.2015.