DOI 10.52209/1609-1825_2021_2_42 ӘОЖ 622.23.05

Инженерлік есептеулердегі соңғы элементтер әдісін механикаландырылған тіреулердің қысым астындағы бөлшектерінің түйіспелі өзара әрекеттесуіне қолдану мүмкіндіктері

[1]**ГАВРИЛИН Алексей Николаевич,** *т.ғ.к., доцент, tom-gawral@list.ru,*
[2]***БУЗАУОВА Тоты Мейрбековна,** *т.ғ.к., доцент, toty_77@mail.ru,*
[2]**ЖАБАЕВ Аблайхан Жакыпович,** *магистрант, abylay95@mail.ru,*
[1]*Томск политехникалық университеті, Ресей, 634050, Томск, Ленин даңғылы, 30,*
[2]*Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,*
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Зерттеудің мақсаты – SolidWorks жүйесінде қатты және беттік параметрлік модельдеудің тірек моделін құру болып табылады, бұл механикаландырылған тіректердің кернеулі бөліктерінің түйіспелі өзара әрекеттесуіне инженерлік есептеулерде ақырғы элементтер әдісін қолдану мүмкіндігін анықтайды. Беріктік сипаттамаларды талдау үшін COSMOSWorks элементтік кешені – серіктестік қосымшасы пайдаланылды. Жүйе бастапқы деректерде қолданылатын материалдардың физикалық-механикалық сипаттамаларын тіркейді. Гидробекітпенің кернеулі жағдайы есептік деректер арқылы талданды. Тіреудің кернеулі күйін бағалау үшін мынадай компоненттер қолданылды: кернеу үшін – кернеу Von Mises, деформация үшін – эквивалентті деформация, ауыстыру үшін – толық орын ауыстыру. Қатты денелі модельді құру және элементті кешенді баптауын дербес компьютерде тіреудің кернеулі күйін модельдеуге, зерттеу есептерінде тұжырымдалған тәуелділікті орнатуға және олардың сандық және сапалық талдауын жүргізуге мүмкіндік беретіні анықталды. Тіреулердің кернеулік жағдайын бағалау үшін COSMOSWorks элементтік кешенінің есептік деректер мен құралдарын қолданып, оларды талдау құрамы анықталды.*

Кілт сөздер: *тіреуіш моделі, SolidWorks, COSMOSWorks, гидробекітпе, кернеулі күй, талдау құрамы, элементтік кешен, эквивалентті деформация, есептік деректер, қатты дене моделі, сандық талдау, сапалық талдау, гидроцилиндр, эксцентриситет.*

Өзектілігі

Қазіргі уақытта соңғы элементтер әдісін іске асыру үшін әртүрлі бағдарламалық құралдар әзірленді және пайдаланылады. Мысалы, жобалау үшін: Inventor, SolidWorks; есептеу үшін: COSMOSWorks, Ansys және т.б.

Әдістемесі

Тіреуіш моделін құру үшін біз SolidWorks қатты және беттік параметрлік модельдеу жүйесін таңдадық [1]. Ол бөлшектер мен құрастырмаларды жасаудың кең мүмкіндіктеріне ие. Беріктік сипаттамаларды талдау үшін SolidWorks моделіне қызмет ететін COSMOSWorks элементтік кешені – серіктестік қосымшасын пайдаланамыз [2]. Жүйе бастапқы деректерде қолданылатын материалдардың физика-механикалық сипаттамаларын тіркеуге мүмкіндік береді. SolidWorks ортасында қатты дененің моделін жасау үшін конструктивтік параметрлер және тіреуіш бөлшектерінің материалдары туралы деректер қолданылды.

Тіреудің қатты денелі үлгісін есептеуге қажетті бастапқы деректер: тіреудің жұмыс есептік кедергісі (P), тіреудің тіректеріндегі жүктемені қолданудың эксцентриситеті (e_0), жұмыс сұйықтығының қысымы (Q), тіректердің орнын ауыстыруға шектеулер.

Штоктың үстінен тіреудің есептік жұмыс кедергісіне тең эксцентриялы қоса берілген жүктеме (P) әрекет етеді. Жүктемені қолданудың эксцентриситеті тіректегі үйкеліс салдарынан пайда болады, оны конструкциясына байланысты (1-сурет) таңдайды және формулалар бойынша есептейді [3]:

а) саусақтағы тербеліс тірегінде (1-сурет, с):

$$e_0 = r_0\left[\mu_0 + \sin\left(arctg\frac{H_{\text{у.в.}}}{P}\right)\right], \qquad (1)$$

мұнда r_0 – тесіктің ішкі радиусы, мм; $\mu_{\text{Т}}$ = 0,02 – тербелудің үйкеліс коэффициенті; P – тіреудің есептік жұмыс кедергісі; $H_{\text{у.в.}}$ – гидроцилиндр тірегіндегі серпінді қалпына келтіргіштің күшінен реакция,

б) тіреудің сфералық тіректері үшін (1-сурет, а, б, д)

$$e_0 = r_0\left(arctg\mu_{\text{Т}} + arctg\frac{H_{\text{у.в.}}}{P}\right)\times \times\frac{2(v_2 - v_1) + \sin 2v_2 - \sin 2v_1}{2(\sin^2 v_2 - \sin^2 v_1)}, \quad (2)$$

мұндағы $\mu_{\text{Т}}=0{,}2$ – үйкеліс коэффициенті; v_1, v_2 – үйкеліс бетін шектейтін бұрыштар, град.

SolidWorks ортасында тіреудің қатты денелі моделін құру технологиясы және COSMOSWorks бағдарламалық кешеніне қажетті баптауларды кестеге толтырамыз.

Жұмыс сұйықтығының қысымы цилиндр қабырғасына, поршеннің бүйір жазықтығына және цилиндр ішіндегі түпке әсер етеді. Жоғарғы тіректің қозғалуына шектеулер қойылмайды, ал төменгі тірекке барлық осьтер бойынша қозғалуға тыйым салынады.

Кернеу күйін есептеуден кейін келесі негізгі есептік мәліметтерді аламыз:

- орын ауыстыру: UX, UY, UZ – компоненттер жаһандық бағытта, RFX, RFY, RFZ – реакция күшінің компоненттері, RFRES – реакцияның толық күші;

- деформация: EPSX, EPSY, EPSZ, GMXY, GMXZ, GMYZ – созылу деформациясы – жаһандық немесе жергілікті осьтерге қатысты сығу және жылжу, ESTRN – эквивалентті деформация, SEDENS деформацияланған энергия тығыздығы, ENERGY – толық энергия;

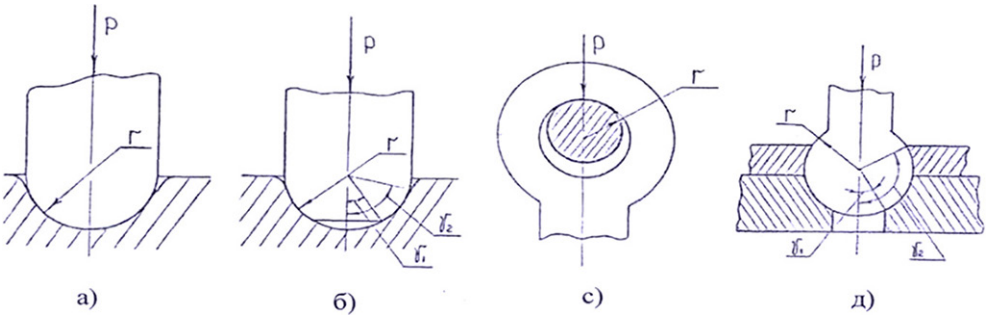
- кернеу: SX, SY, SZ, TXY, TXZ, TYZ – созылу кернеуі – жаһандық немесе жергілікті осьтерге қатысты сығу және жылжу, P1, P2, P3 – басты кернеу, VON – Мозес бойынша эквивалентті кернеу, INT – кернеудің қарқындылығы (INT = P1 – P3);

- байланыс күші: UX, UY, UZ – жаһандық немесе жергілікті осьтер бағытындағы компоненттер, барлық компоненттердің нәтижелі күші.

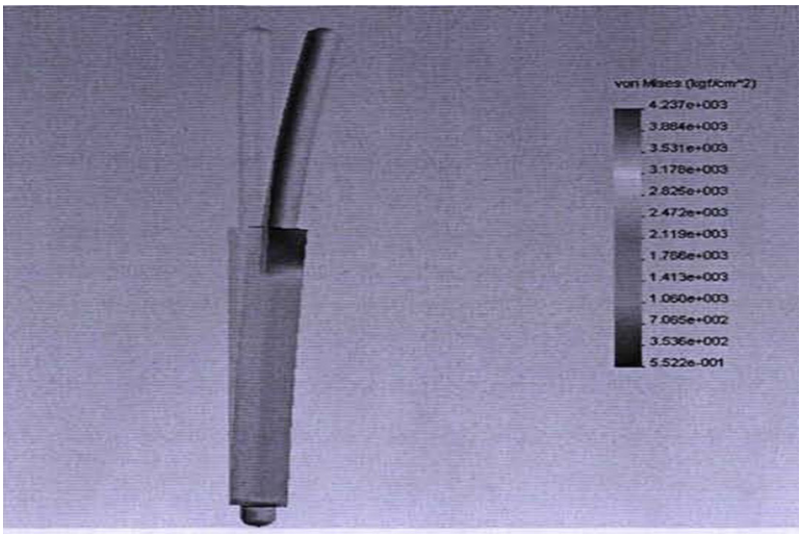
ЭЕМ-де тіреудің кернеулі күйін модельдеу нәтижелері негізінде анықталды:

- бастапқы жағдайдағы тіреумен салыстырғандағы деформацияланған тіреудің түрі. Жалпы тіреудің деформацияланған күйін анықтаудан басқа, жүйе элементтердегі кернеудің таралуын, олардың қарқындылығын көрсетеді (2-сурет). Бұл тіреудің ең жүктелген учаскелерін анықтауға мүмкіндік береді.

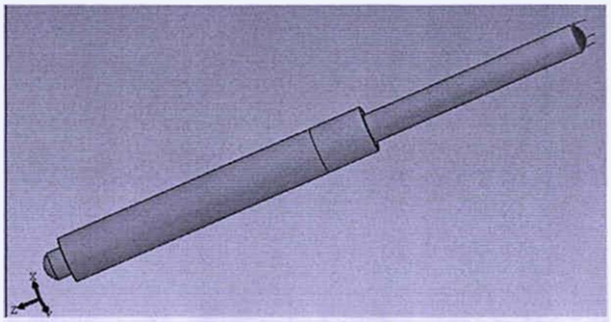
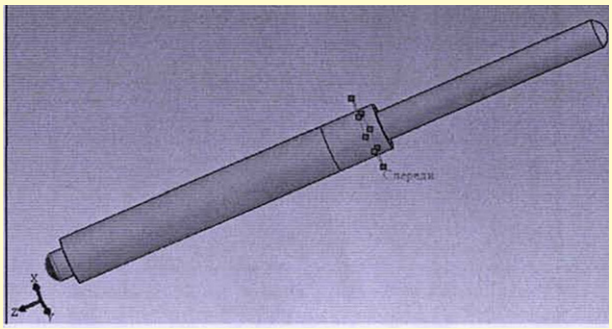
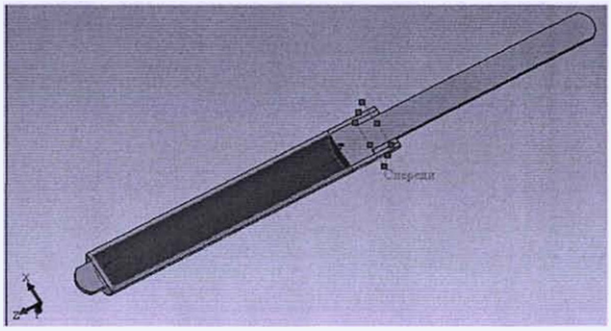
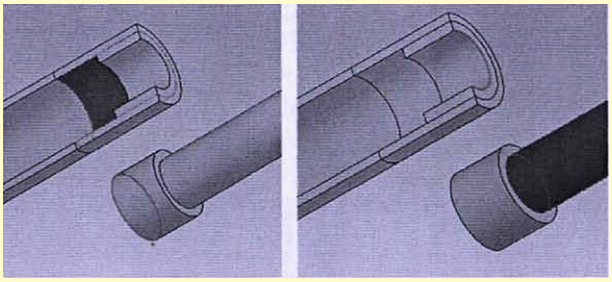
Поршень мен цилиндрдің, шток пен грундбукстың өзара әрекеттесу аумағы мен олармен жанасатын жиектердегі кернеудің таралуы 3-су-



1-сурет – Гидротіректер конструкциялары: а, б, д – сфералық тіректер; с – саусақты тербелу тіректері



2-сурет – Тіреудің деформацияланған күйі

Қолтаңбалы бағдарламада есептеуге қажетті мәліметтер	
Шарты	**Модель**
Элемент параметрлері: өлшем – 24 мм; рұқсат – 1,2 мм; тор сапасы – жоғары; тор типі – стандартты; Якобиев тексеру – 4 нүкте; торды басқару – бетті тегістеу. Күш салу нүктесі: X осі бойы-мен эксцентриситет шамасына (11,91 ММ.) F = 82000 кг күш Z осі бойынша бағытталған.	
Тіреудің төменгі тірегінің орын ауыстыруына қойылатын шектеулер. Тірек түрі – «сфералық қырында». Үш осьтің бойымен қозғалуға және айнала айналуға тыйым салынады (нөлге тең).	
Жұмыс сұйықтығының қысымы біркелкі бөлінген жүктеме. Түбіне, цилиндр қабырғаларына және поршеньнің шетіне перпендикуляр әрекет етеді. Қысым мәні – 408,37 кг/см.	
Байланыс қырлары түрі – «беттер». Поршеньнің цилиндрмен және штоктың грундбуксамен түйісуі.	

ретте көрсетілген.

Тіреудің кернеулі күйін бағалау үшін мынадай компоненттер қолданылды: кернеу үшін – кернеу Von Mises, деформация үшін – эквивалентті деформация, ауыстыру үшін – толық орын ауыстыру.

Бүлінудің тұтқыр сипаты бар изотропты материалдарға қолданылатын Мизес критерийіне сәйкес (формоалмасу энергиясы) салмақ көтеру қабілетінің таусылу сәті эквивалентті кернеу шамасын SIGYLD материалының ағымдылық шегімен салыстырумен анықталады. Дене нүктесіндегі эквивалентті кернеу $\sigma_{von\ Mises}$ мынадай формула бойынша есептеледі:

$$\sigma_{von\ Mises} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}, \quad (3)$$

мұнда σ_1, σ_2, σ_3 – басты кернеу. Бұл ретте эквивалентті кернеу ол әрекет ететін алаңның бағдарына байланысты емес, яғни инвариантты болып табылады [1].

Жұмыс нәтижесі

Кернеуді есептеу нәтижелерін қарап және оларды рұқсат етілген мәндермен салыстыра отырып, конструкцияда пластикалық деформациялардың пайда болу шарттарын анықтауға

болады.Есептеу нәтижелерінің дәлдігі және есептеу ұзақтығы тор құру ауқымына елеулі түрде байланысты екенін атап өту қажет (4-сурет). Егер тор жиілігінің одан әрі ұлғайғанда есептеу нәтижелері іс жүзінде өзгермесе, тор масштабын белгіленген және талап етілетін дәлдікті қамтамасыз етеді деп есептейміз (5-сурет).

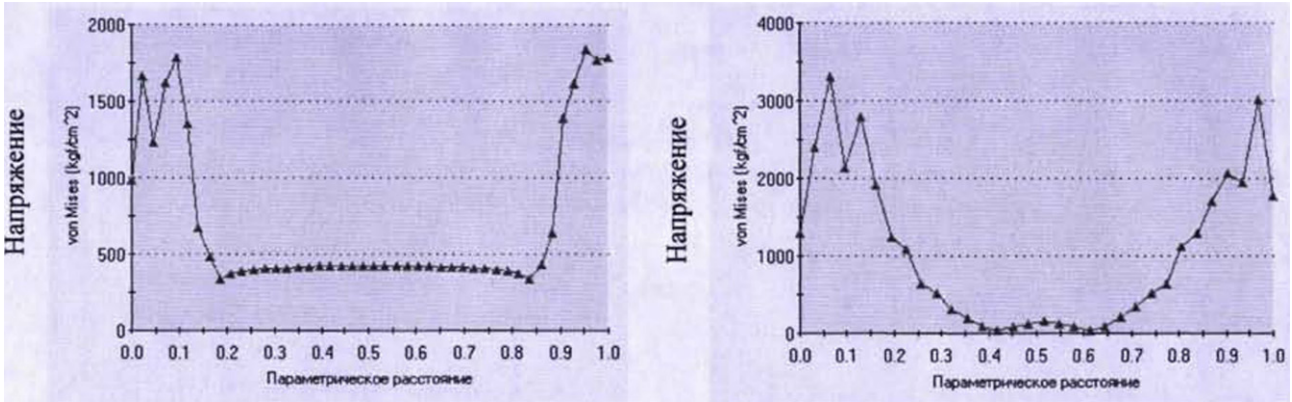
Қатты денелі модельді құру және элементті кешенді баптау дербес компьютерде тіреудің кернеулі күйін модельдеуге, зерттеу есептерінде тұжырымдалған тәуелділікті орнатуға және олардың сандық және сапалық талдауын жүргізуге мүмкіндік береді.

Қорытынды:

1. Инженерлік практикада түйіспелі есептерді шешудің ең тиімді және перспективалы әдісі соңғы элементтер әдісі болып табылады, оны тіректердің кернеулі жағдайын талдау үшін пайдалану қажет.

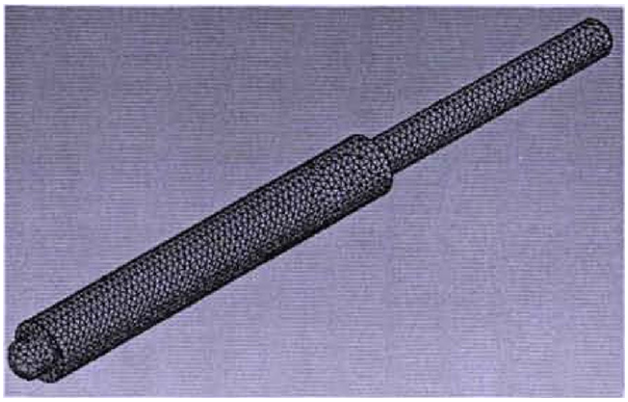
2. Дербес компьютерде тіреуіш элементтерінің түйіспелі өзара әрекеттесуін модельдеу үшін оның қатты денелі моделі құрылған. Олардың қосымша жүктемелері мен орындары анықталды, тіреуіш элементтерінің орын ауыстыруына шектеу енгізілді, материалдардың физикалық-механикалық сипаттамалары тіркелді.

3. Тіреулердің кернеулік жағдайын бағалау үшін – COSMOSWorks элементтік кешенінің есептік деректер мен құралдарын қолданып, оларды талдау құрамы анықталды.

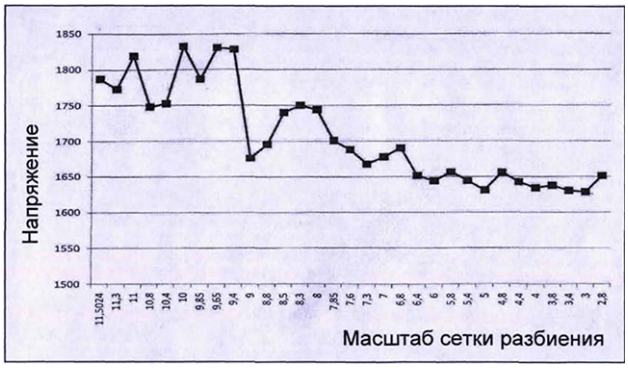


а) б)

3-сурет – Жиектер бойынша кернеуді бөлу: а – грундбуксаның жиегі бойынша кернеуді бөлу эпюрасы; б – поршень жиегі бойынша кернеуді бөлу эпюрасы



4-сурет – Соңғы элементтер торы



5-сурет – Соңғы элементтерге бөлу торының масштабы

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с: ил.
2. http://www.solidworks.ru/products_cosmosw.html. SolidWorks
3. Технический документ. Крепи механизированные. Стойки и домкраты. Расчет цилиндров на циклическую и контактную прочность. Методика. – Тула: Тульский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт, 1981. – 46 с.

Возможности применения метода конечных элементов в инженерных расчетах к контактному взаимодействию напряженных частей механизированных опор

[1]**ГАВРИЛИН Алексей Николаевич,** *к.т.н., доцент, tom-gawral@list.ru,*
[2]***БУЗАУОВА Тоты Мейрбековна,** *к.т.н., доцент, toty_77@mail.ru,*
[2]**ЖАБАЕВ Аблайхан Жакыпович,** *магистрант, abylay95@mail.ru,*
[1]*Томский политехнический университет, Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30,*
[2]*Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,*
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Целью исследования является создание модели стойки в системе твердого и поверхностного параметрического моделирования SolidWorks для определения возможности применения метода конечных элементов в инженерных расчетах к контактному взаимодействию напряженных частей механизированных крепей. Для анализа характеристик прочности использовался элементный комплекс COSMOSWorks. Система позволяет фиксировать физико-механические характеристики материалов, используемых в исходных данных. Напряженное состояние гидростойки анализировалось расчетными данными. Для оценки напряженного состояния стойки использовались следующие компоненты: для напряжения – напряжение Von Mises, для деформации – эквивалентная деформация, для замены – полное перемещение. Создание модели твердого тела и комплексная настройка элемента позволяют моделировать напряженное состояние опоры на персональном компьютере, устанавливать зависимость, сформулированную в исследовательских отчетах и проводить их количественный и качественный анализ. Для оценки напряженного состояния опор был определен состав анализа с использованием учетных данных и средств элементного комплекса COSMOSWorks.*

Ключевые слова: *модель опоры, SolidWorks, COSMOSWorks, гидропривод, напряженное состояние, состав анализа, элементный комплекс, эквивалентная деформация, расчетные данные, модель твердого тела, количественный анализ, качественный анализ, гидроцилиндр, эксцентриситет.*

Possibilities of Using the Method of the Finite Elements in Engineering Calculations to the Contact Interaction of Stressed Parts of Powered Supports

[1]**GAVRILIN Alexey,** *Cand. Tech. Sci., Associate Professor, tom-gawral@list.ru,*
[2]***BUZAUOVA Toty,** *Cand. Tech. Sci., Associate Professor, toty_77@mail.ru,*
[2]**ZHABAYEV Abylai,** *master student, abylay95@mail.ru,*
[1]*Tomsk Polytechnic University, Russia, 634050, Tomsk, Lenin ave., 30,*
[2]*Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev ave., 56,*
**corresponding author.*

Abstract. *The aim of the study is to develop a rack model in the SolidWorks system of solid and surface parametric modeling to determine the possibility of using the finite element method in engineering calculations to the contact interaction of stressed parts of powered roof supports. To analyze the strength characteristics, the CosmosWorks elemental complex was used. The system allows recording physical and mechanical characteristics of the materials used in the initial data. The stressed state of the hydraulic prop has been analyzed by calculated data. To assess the stress state of the prop, the following components were used: for stress Von Mises stress, for deformation equivalent deformation, for replacement full displacement. Developing a rigid body model and complex adjustment of an element allow simulating the stress state of a support on a personal computer, establishing the dependence formulated in research reports and conducting their quantitative and qualitative analysis. To assess the stress state of the supports, the composition of the analysis was determined using credentials and means of the CosmosWorks elemental complex.*

Keywords: *support model, SolidWorks, COSMOSWorks, hydraulic drive, stress state, analysis composition, elemental complex, equivalent deformation, calculated data, rigid body model, quantitative analysis, qualitative analysis, hydraulic cylinder, eccentricity.*

REFERENCES

1. Alyamovskij A.A. SolidWorks/COSMOSWorks. Inzhenernyj analiz metodom konechnyh elementov. – M.: DMK Press, 2004. – 432 s: il.
2. http://www.solidworks.ru/products_cosmosw.html. SolidWorks
3. Tekhnicheskij dokument. Krepi mekhanizirovannye. Stojki i domkraty. Raschet cilindrov na ciklicheskuyu i kontaktnuyu prochnost'. Metodika. – Tula: Tul'skij ordena Trudovogo Krasnogo Znameni politekhnicheskij institut, 1981. – 46 s.