



ӘОЖ 629.78.062

ҒТАХА 53.59.29

https://doi.org/10.53364/24138614_2025_37_2_4

Б. Е. Әбутәліп^{1*}, К.С. Иванов²

^{1,2}Ғ.Дәукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті,
Алматы, Қазақстан

E-mail: bekzatabutalip12@gmail.com*

ЫҚШАМДЫ АДАПТИВТІ ТІСТІ ДОҢҒАЛАҚ ВАРИАТОРЫНЫҢ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада ғарыштық техника мен жоғары технологиялық жүйелерде қолдануға арналған ықшамды адаптивті тісті доңғалақ вариаторының моделі ұсынылады. Ғарыштық аппараттардың массасын азайту, тиімділігін арттыру және сенімділігін қамтамасыз ету қазіргі заманғы техника мен ғылымдағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Осыған байланысты, тісті доңғалақ вариаторлары, әсіресе адаптивті түрлері, қозғалысты тиімді басқару және жүйеге бейімделу қасиеттері арқылы ерекше қызығушылық тудырып отыр. Мақалада адаптивті беріліс механизмі негізіндегі жетілдірілген тісті доңғалақ вариаторының құрылымдық ерекшеліктері сипатталып, оның жұмыс принципі SolidWorks бағдарламасы арқылы әзірленген 3D модель және анимация көмегімен визуализацияланды. Жетек кіріс пен шығыс арасындағы беріліс коэффициентін автоматты түрде бейімдей отырып, жүктемеге қарай қозғалыс параметрлерін өзгертуге мүмкіндік береді. Бұл қасиет оны орбиталық аппараттарда, күн панельдерін бағыттауда, маневрлік қозғалыс жүйелерінде және басқа да күрделі жүйелерде тиімді қолдануға жол ашады. Зерттеу нәтижесінде алынған модель құрылымының ықшамдығы, энергия үнемділігі және жоғары сенімділігі мақалада баяндалған аналитикалық және сандық есептермен расталды. Сонымен қатар, зерттеу жұмысы бейімделгіш механизмдер теориясына негізделі отырып, олардың ғарыштық техникада қолданылу мүмкіндіктерін кеңейтеді. Ұсынылып отырған жетілдірілген модель инженерлік жүйелерді жобалаудағы инновациялық шешімдердің біріне айналуы мүмкін. Мақаланың мақсаты ғарыштық салада қарапайым және ықшамды вариатор моделін жасау болып табылады.

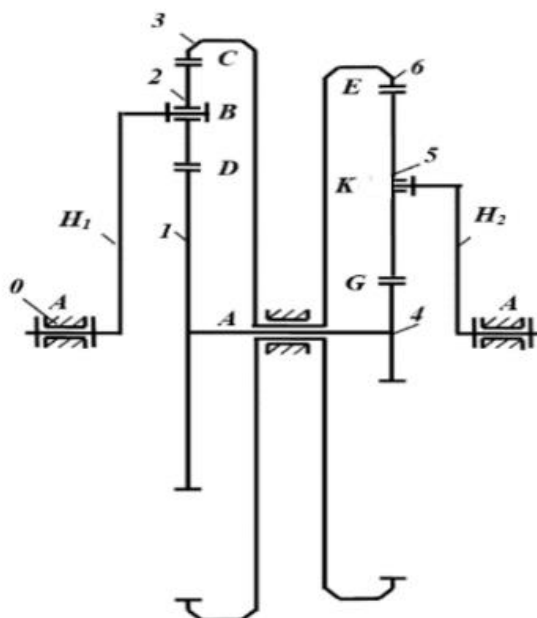
Түйін сөздер: адаптивті тісті доңғалақ, вариатор, кинематикалық тізбек, SolidWorks моделі, ғарыштық техника, ықшамды жетектер, энергия тиімділігі, автоматты басқару, беріліс коэффициенті.

Кіріспе.

Қазіргі заманғы ғарыштық техника мен технологиялардың дамуы инженерлік жүйелерге қойылатын талаптарды күрделендіріп отыр. Әсіресе орбиталық аппараттар мен ғарыштық маневр жүйелерінде қолданылатын жетектердің тиімділігі, ықшамдылығы және бейімделу мүмкіндігі аса маңызды рөл атқарады. Осы талаптарға сай келетін жаңа буын механизмдердің бірі адаптивті тісті доңғалақ вариаторлары. Адаптивті тісті доңғалақ вариаторы - бұл кіріс және шығыс біліктер арасындағы беріліс қатынасын автоматты түрде

Осы мақалада ұсынылған зерттеудің мақсаты — ықшамды адаптивті тісті доңғалақ вариаторының құрылымын әзірлеп, SolidWorks бағдарламасы арқылы оның анимациялық моделін жасау. Зерттеу нәтижелері бұл механизмнің ғарыштық техникада және басқа да жоғары технологиялық жүйелерде қолданылу мүмкіндіктерін айқындайды.

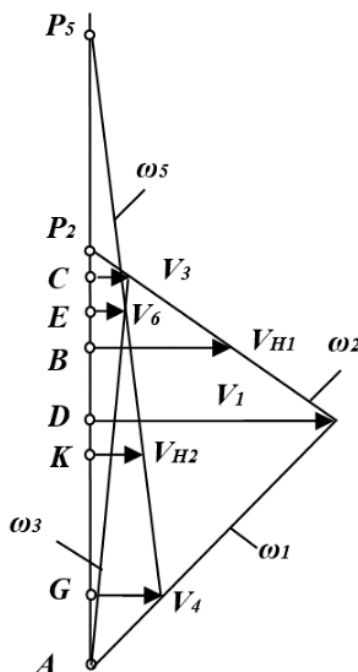
Бұл жерде екі еркіндік дәрежесі және бір кірісі бар бастапқы адаптивті вариатор қысқаша қарастырылады [10].



Бастапқы адаптивті вариаторда электр қозғалтқышы мен беріліс вариаторы бар. Бейімделетін бастапқы беріліс вариаторы (Сурет 1) кіріс тасымалдағышты қамтиды H_1 , берілістердің тұйық контуры 1–2–3–6–5–4 және шығыс тасымалдаушы H_2 . Жабық

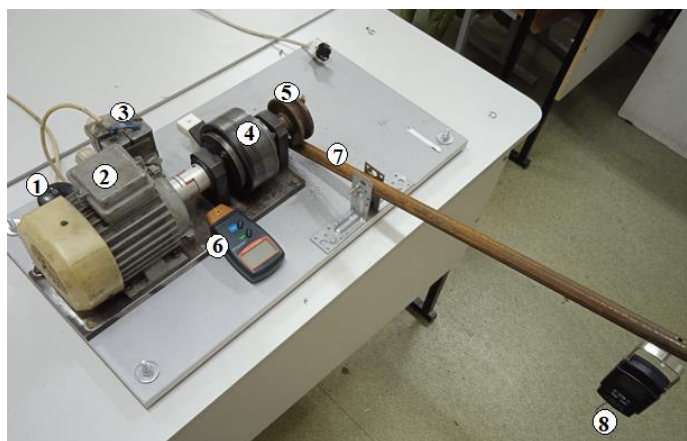
контурда кіріс жерсерігі 2 бар, күн беріліс блогы 1-4, сақиналы беріліс блогы 3-6 және шығу спутнигі 5.

Адаптивті вариаторда жүргізілген зерттеулер кинематикалық және қуат параметрлерінің өзара әрекеттесуіне негізделген. Кинематикалық параметрлер сызықтық жылдамдық жоспарында көрсетілген (2 - сурет).



2 - сурет. Бастапқыдағы сызықтық жылдамдық жоспары бейімделу тізбегі

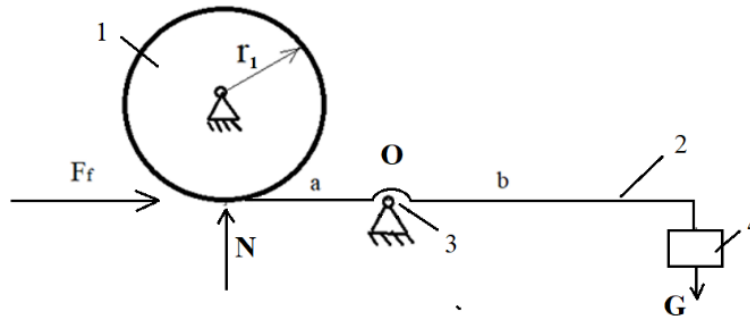
Бастапқы бейімделу механизмінің жылдамдық жоспарында сызықтық жылдамдықтар ($i=1, 3, 4, 6, N1, N2$), бұрыштық жылдамдықтар ($i=1, 2, 3, 5, N1, N2$), 2 – P2 және 5 – P5 буын жылдамдықтарының лездік орталықтары бар. $V_i \omega_i$ Әсер ететін сыртқы күштер: M_{N1} – кіріс моменті, M_{N2} – қарсылықтың шығыс моменті. Бастапқы адаптивті вариатордың схемасы бастапқы адаптивті вариатор құру үшін пайдаланылды (Сурет 3).



3 - сурет. Сынақ прототипіндегі бастапқы адаптивті вариатор

Бастапқы бейімделгіш вариатор(жетек) құрамында: электр қозғалтқышы 1, бастапқы бейімделгіш вариатор 2, шығыс тежегіш дискі 3, күш тұтқасы 4, адинамометр мен гравитация 5 және тахометр 6. Сынақтар кезінде қозғалтқыш 1 бейімделгіш вариаторды 2

тұрақты кіріс бұрыштық жылдамдығымен және тұрақты қозғау моментімен басқарады. $\omega_{H1}M_{H1}$ Жүктеме 5 күш иінітірегі 4 арқылы тежегіш дискіге 3 күш жібереді, және қарсылықтың айнымалы шығыс моментін жасайды. M_{H2} Шығу тежеу жүйесі 4 – суретте көрсетілген:



4 - сурет. Қарсылық моментінің шығыс тежеу жүйесі

Шығу тежеу жүйесінде радиусы бар тежегіш дискі 1, а және b иықтары бар рычаг 2, тірек 3, жүк 4 бар. r_1 Әсер ететін күштер: ауырлық G, қалыпты күш N, үйкеліс күші (f – үйкеліс коэффициенті). $F_f = Nf$. Гравитацияның әсерінен шығыс тежеу жүйесі шығысты жасайды. Сыртқы шығыс тасымалдағыштың білігіне қарсылық моменті (үйкеліс моменті). $M_{H2} = M_f H2$.

$$M_f = F_f r_1 \quad (1)$$

немесе

$$M_f = N f r_1, \quad (2)$$

Бұл формуладағы $N = Gb/a$.

Сыртқы бастапқы адаптивті дискінің параметрлері:

$$M_{H1} \omega_{H1} = M_{H2} \omega_{H2} \quad (3)$$

Бастапқы вариатордың параметрлері қатынасының теңдеулері күштің бейімделу шартын ұсынуға мүмкіндік береді.

$$\omega_{H2} = M_{H1} \omega_{H1} / M_{H2} \quad (4)$$

Бұл теңдеуде адаптивті шығыс бұрыштық жылдамдығын кіріс қуатының берілген параметрлері арқылы анықтауға болады. $\omega_{H2} M_{H1}$

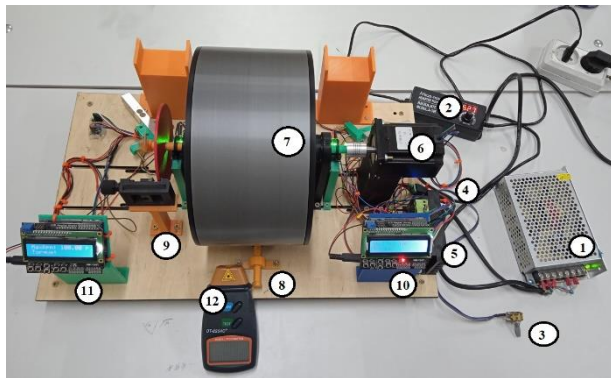
Шығу моменті ауқымында өзгереді:

$$M_{H1} \leq M_{H2} \leq M_{H2max} \quad (5)$$

Теориялық зерттеулер эксперимент арқылы дәлелденді. Бастапқы бейімделгіш вариатор сыртқы жүктемеге шығыс моментінің болмауына байланысты күшті бейімделудің шектеулі диапазонына ие.

Бастапқы адаптивті вариаторды жаңарту. Бастапқы адаптивті вариаторды модернизациялау тек бір кірісі бар екі еркіндік дәрежесі бар кинематикалық тізбек негізінде анықталатын механизмді құру теориясына негізделген [10, 3]. Мұнда анықталатын механизмді құру теориясының негізгі ережелері қысқаша берілген. Бұл ережелер бастапқы

механизмнің кинематикалық схемасына қажетті толықтырулар енгізуге мүмкіндік бере (1 - сурет). Жаңарту үшін виртуалды жұмыс (қуат) принципіне негізделген кинематикалық және күш параметрлерінің өзара байланысының шарттары қолданылады. Екі еркіндік дәрежесі бар және бір кірісі бар механизм үшін екі тепе-теңдік шарты құрылуы керек: 1. Қозғалыстың анықталуына жету шарты, 2. Жұмыс режимінде күшке бейімделу шарты. Әрі қарай конструкторлық құжаттама жасалды, оған сәйкес анықталатын бейімделгіш вариатор және сынақ макеті жасалды. Сынақ макетінде анықталатын адаптивті вариатор 5 - суретте көрсетілген.



5 - сурет. Сынақ прототипіне күштеп бейімделетін вариатор

Бұл жерде келесі компоненттер бар: ажыратқыш 1, кернеу реттегіші 2, потенциометр 3, нано arduino 4, қадамдық контроллер 5, қадамдық қозғалтқыш 6, қуатты бейімдеу вариаторы 7, сыртқы күш-жылдамдық шектеуі 8, сыртқы тежегіш дискі 9, кіріс тахометрі 10, шығыс тахометр 11, аралық тахометр 12. Эксперименттік зерттеулерде күш-жылдамдық шектеуі 8 айнымалы мәнге ие болуы керек. Бұл мақалада ішкі күш-жылдамдық шектеуі теориялық тұрғыдан қарапайым болу үшін шамасы бойынша эквивалентті сыртқы бақыланатын шектеумен ауыстырылды. Сынақ макеті бейімделгіш вариатор жетектің күші мен кинематикалық параметрлерінің байланысын зерттеуге мүмкіндік береді.

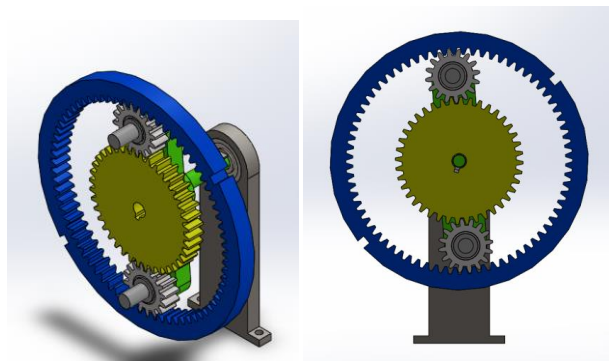
Нәтижелер мен талқылануы.

Ықшамды адаптивті тісті доңғалақ вариаторының анимация моделін әзірлеу.

Вариатор параметрлері арасындағы байланысты зерттеу планетарлық беріліс қораптарына арналған SolidWorks бағдарламасында жасалды. Күшті бейімдеу вариаторы бір планеталық механизмді қамтиды. Планеталық механизм SolidWorks бағдарламасында ұсынылған (Сурет 6). Тістердің саны 1 - кестеде көрсетілген.

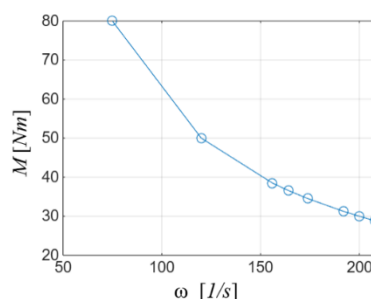
Анимациялық модельді әзірлеу үшін бір ғана планетарлық қатардан (күн доңғалағы, сателлит, сақиналы доңғалақ және водило) тұратын ықшамды схема пайдаланылады. Алдыңғы жасалған модельдер екі қатарлы планетарлық жетек негізінде құрастырылған. Бұл модельдердің тұйық контуры күштік бейімделуді қамтамасыз етеді деп болжанған. Алайда соңғы зерттеулер күштік бейімделуді сателлит шарниріндегі қосымша фрикциялық байланыс қамтамасыз ететінін көрсетті. Сателлит шарниріндегі қосымша фрикциялық байланысы бар ұсынылған анимациялық модель жаңа ықшамды бір қатарлы планетарлық схеманы пайдалану кезінде күштік бейімделуді қамтамасыз етеді. Бейімделген ықшамды вариатор планетарлық бір қатарлы тісті беріліс схемасына негізделген. Схемادا водила Н1, күн дөңгелегі 1, сателлит 2, сақиналы дөңгелек 3 бар. Бұл менің жұмысымның ғылыми жаңалығы болып табылады.

6 - суретте ықшамды адаптивті тісті вариатордың әзірленген анимациялық моделі ұсынылған. Модель SolidWorks бағдарламасында жасалды.



6 - сурет. SolidWorks бағдарламасында жасалған анимация

Шығу моменті және шығу бұрыштық жылдамдығы SolidWorks бағдарламасымен есептеледі және 7 - суретте көрсетілген.



7 - сурет. Ықшамды бейімделген тісті вариатордың тарту сипаттамасы

Кесте - 1.Берілістердің тістерінің саны

Беріліс	Тістер саны	Диаметрі
Кіріс күн беріліс, Z1	40	80мм
Кіріс жерсерігі, Z2	16	32мм
Кіріс сақинасы, Z3	72	144мм

Қорытынды.

Бұл мақалада адаптивті тісті доңғалақ вариаторының ықшамды моделін әзірлеу арқылы ғарыштық техника мен жоғары технологиялық жүйелер үшін жаңа инженерлік шешім ұсынылды. Жасалған модель өз құрылымының қарапайымдылығы, бейімделу қабілеті және жоғары тиімділігі арқылы ерекшеленеді. SolidWorks бағдарламасында жасалған 3D модель мен анимация вариатордың жұмыс принципін визуализациялап, оны жобалау және жетілдіру үдерісін едәуір жеңілдетті. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ұсынылған адаптивті механизм жүктеме өзгерістеріне автоматты түрде әрекет етіп, қозғалыстың тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Бұл қасиеттер әсіресе ғарыш аппараттарында, маневрлік жүйелерде, күн панельдерін бағыттауда және энергияны тиімді басқаруды қажет ететін құрылғыларда таптырмас артықшылықтар береді. Механизм тек бір кірісі бар принципті жаңа бір қатарлы пленатарлық кинематикалық тізбекті пайдалануға негізделген. Бұл тізбектің қозғалысының анықталуы салыстырмалы бұрыштық жылдамдықпен үйкеліс моментінің айтарлықтай жаңа күш-жылдамдық шектеуін қолдану арқылы қол жеткізіледі. Жаңа анықталатын кинематикалық тізбек бұрын болмаған бейімделгіш механизмдердің негізі болып табылады. Жалпы алғанда, бұл жұмыс адаптивті

тісті доңғалақ механизмдерін жетілдіру саласындағы маңызды ғылыми және практикалық қадам болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Иванов, К. С. (2015). Тісті доңғалақты вариаторлар: теория, талдау, синтез, беріліс қораптары, жетек жүйелері. Алматы: Раритет.
2. Сыромятников, В. (1984). Ғарыш аппараттарын қондыру құрылғылары. Мәскеу: Машина жасау.
3. Langley, R. D. (1972). Apollo тәжірибесі туралы есеп – қондыру жүйесі (NASA Техникалық ескертпесі, NASA TN D-6854). Вашингтон, DC: NASA.
4. Armstrong, W. W. (1979). n-байланысты математикалық қозғалыс теңдеуінің рекурсивті шешімі. In Прок. Машиналар мен механизмдер теориясы бойынша 5 Дүниежүзілік конгресс (б. 343–346). Монреаль, Канада.
5. Olivieri, L. (2012). Шағын ғарыш аппараттары үшін қондыру механизмінің дизайны (1–8бет). CISAS Падова университеті, Италия. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.02.04>.
6. Boesso, A. & Francesconi A. (2013). Микро-серіктерге арналған ARCADE шағын масштабты қондыру механизмі. Acta Astronautica, 86, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.01.006>.
7. Lion L., Caon A., Olivieri L. & Branz F. F. (2023). Кинематикалық сынақтар микросателлиттерге арналған қондыру механизмі. CEAS Space Journal, 16, 56–63. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3745650/v1>.
8. Балбаев, Г., Цеккерелли, М., & Карбон Г. (2004). Жаңа планетарлық трансмиссияның дизайны және сандық сипаттамасы. International Journal of Innovative Technology & Research, 2(1), 735–739.
9. Иванов, К. С. (2019). Екі еркіндік дәрежесі бар механизмдерді құру перспективалары. Бүкіләлемдік механизм және машина ғылымы конгресі. Механизм және машина ғылымындағы жетістіктер (937–946 бет). Springer Nature Switzerland AG.
10. Иванов, К.С., Цеккерелли, М. & Тулекенова, Д. Т. (2021). Ғарыш аппараттарының қондыру механизмінің адаптивті жетекі. Механизмдер мен машиналар Ғылым, 103, 168–178.

References

1. Ivanov, K. S. (2015). Gear variators: Theory, analysis, synthesis, gearboxes, drive systems. Almaty: Raritet.
2. Syromyatnikov V. S. (1984). Docking devices of spacecraft. Moscow: Mashinostroenie.
3. Langley R. D. (1972). Apollo experience report – docking system (NASA Technical Note, NASA TN D-6854). Washington, DC: NASA.
4. Armstrong, W. W. (1979). Recursive solution of motion equations with n-links. In Proc. 5th World Congress on Theory of Machines and Mechanisms (pp. 343–346). Montreal, Canada.
5. Olivieri, L. (2012). Design of a docking mechanism for small spacecraft (pp. 1–8). CISAS, University of Padua, Italy. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.02.04>.
6. Boesso, A., Francesconi, A. (2013). ARCADE small-scale docking mechanism for microsatellites. Acta Astronautica, 86, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.01.006>
7. Lion, L., Caon, A., Olivieri, L. & Branz, F. F. (2023). Kinematic tests of a docking mechanism for microsatellites. CEAS Space Journal, 16, 56–63. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3745650/v1>.
8. Balbaev, G., Ceccarelli, M. & Carbon, G. (2004). Design and numerical characterization of a new planetary transmission. International Journal of Innovative Technology & Research, 2(1), 735–739.
9. Ivanov, K. S. (2019). Prospects for constructing mechanisms with two degrees of freedom. In IFToMM World Congress on Mechanism and Machine Science. Advances in Mechanism and Machine Science (pp. 937–946). Springer Nature Switzerland AG.

10. Ivanov, K. S., Ceccarelli, M. & Tulekenova D. T. (2021). Adaptive drive of a docking mechanism for spacecraft. *Mechanism and Machine Theory*, 103, 168–178.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОМПАКТНОГО АДАПТИВНОГО ВАРИАТОРА

Аннотация. В статье представлена модель компактного адаптивного зубчатого вариатора, предназначенного для использования в космической технике и высокотехнологичных системах. Снижение массы космических аппаратов, повышение их эффективности и надежности являются актуальными задачами современной науки и техники. В этом контексте зубчатые вариаторы, особенно адаптивные, представляют особый интерес благодаря способности эффективно управлять движением и адаптироваться к условиям работы системы. В статье описаны конструктивные особенности усовершенствованного зубчатого вариатора на основе адаптивного передающего механизма. Принцип его работы визуализирован с помощью 3D-модели и анимации, созданной в программе SolidWorks. Вариатор автоматически регулирует передаточное число между входным и выходным звеньями, обеспечивая изменение параметров в зависимости от внешней нагрузки. Такие характеристики делают устройство особенно эффективным в орбитальных аппаратах, системах наведения солнечных панелей, маневровых двигателях и других сложных механизмах. Результаты исследования подтверждают компактность, энергоэффективность и высокую надежность модели на основе аналитических и численных расчетов. Работа основана на теории адаптивных механизмов и расширяет возможности их применения в космической отрасли. Представленная модель может стать инновационным решением в проектировании инженерных систем нового поколения. Целью статьи является создание простой и компактной модели вариатора для космической отрасли.

Ключевые слова: адаптивный зубчатый вариатор, кинематическая цепь, модель SolidWorks, космическая техника, компактные приводы, энергоэффективность, автоматическое управление, передаточное число.

DEVELOPMENT OF A COMPACT ADAPTIVE GEAR VARIATOR MODEL

Abstract. This article presents a model of a compact adaptive gear variator designed for use in space technology and high-tech systems. Reducing the mass of spacecraft, increasing efficiency, and ensuring reliability are among the most relevant challenges in modern science and engineering. In this context, gear variators especially adaptive types are of great interest due to their ability to efficiently control motion and adapt to system conditions. The article describes the structural features of an advanced gear variator based on an adaptive transmission mechanism. Its operating principle is visualized using a 3D model and animation created in SolidWorks. The drive automatically adjusts the gear ratio between the input and output shafts, enabling parameter changes in response to external loads. These features make the device particularly suitable for use in orbital spacecraft, solar panel orientation systems, maneuvering propulsion systems, and other complex mechanisms. The results of the study confirm the model's compactness, energy efficiency, and high reliability through analytical calculations and numerical simulations. Furthermore, this research builds upon the theoretical foundations of adaptive mechanisms and expands their potential application in aerospace engineering. The proposed improved model may serve as an innovative solution in the design of next-generation engineering systems. The purpose of the article is to create a simple and compact variator model for the space industry.

Keywords: adaptive gear, variator, kinematic chain, SolidWorks model, space technology, compact drive systems, energy efficiency, automatic control, gear ratio.

Сведение об авторах

Абуталип Бекзат Ералыұлы	Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, магистрант по специальности 7M07107-Космическая техника и технологии, Алматы, Казахстан. E-mail: bekzatabutalip12@gmail.com
Константин Самсонович Иванов	Инженер-механик, доктор технических наук (1988), профессор (1987), член-корреспондент Академии инженерных наук Республики Казахстан. Профессор кафедры космической инженерии Алматинского университета энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан.

Авторлар туралы мәлімет

Әбутәліп Бекзат Ералыұлы	Ғ.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, 7M07107-Ғарыштық техника және технология мамандығының магистранты, Алматы, Қазақстан. E-mail: bekzatabutalip12@gmail.com
Константин Самсонович Иванов	Инженер-механик, техникалық ғылыми докторы (1988), профессор (1987), Қазақстан Республикасы инженер ғылыми академиясының корреспонденттік мүшесі. Ғ.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінің ғарыштық инженерия кафедрa PhD профессорі, Алматы, Қазақстан.

Information about the authors

Abutalip Bekzat Eralyuly	G. Daukeev Almaty University of Energy and Communications, Master's student in the specialty 7M07107-Space Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan. E-mail: bekzatabutalip12@gmail.com
Konstantin Samsonovich Ivanov	Mechanical engineer, Doctor of Technical Sciences (1988), Professor (1987), Corresponding Member of the Academy of Engineering Sciences of the Republic of Kazakhstan. PhD Professor department of Space Engineering Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan.