

Расчет упругой муфты универсального устройства на базе токарного станка для реализации технологии фрезоточения

^{1*}МУСАЕВ Медгат Муратович, PhD, и.о. доцента, kstu_mmm@mail.ru,

²ШЕРОВ Карибек Тагаевич, д.т.н., профессор, shkt1965@mail.ru,

¹РАКИШЕВ Асет Каригулович, руководитель офиса коммерциализации, r_asset@mail.ru,

¹КАРСАКОВА Нургуль Жолаевна, докторант, karsakova-87@mail.ru,

¹Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Женис, 62,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью статьи является выбор материала и основных геометрических параметров упругих элементов муфты путем аналитических расчетов и сравнения полученных значений. Муфта с дугообразными упругими элементами является основным ответственным узлом универсального устройства на базе токарного станка. Приводятся результаты расчета упругой муфты с дугообразными упругими элементами, которая является основным ответственным узлом универсального устройства. Для выполнения расчета были смоделированы общий вид устройства и муфта с дугообразными упругими элементами, а также определены геометрические параметры муфты. Результаты расчета показали, что данный узел обладает достаточной прочностью. В дальнейшем, учитывая сложную геометрию и характер нагружения упругих высокоэластичных элементов муфты, а также специфику материала, рекомендуется расчет напряженно-деформационного состояния муфты с помощью специальных компьютерных программ.

Ключевые слова: фрезоточение, термофрикционное фрезоточение, устройство, упругая муфта, окружное усилие, крутящий момент, прочность.

Введение и актуальность исследования

Улучшение и модернизация токарных процессов на протяжении большого количества времени, в том числе повышение производительности, как правило, находят свое применение в науке и технике, в области совершенствования инструментальных материалов [1]. Тем не менее, последующее увеличение скоростей резания в случае с использованием традиционных методов точения ставится под сомнение.

Например, при токарной обработке крупногабаритных длинных деталей тел вращения одной из основных причин, влияющих на качество и производительность резания, является возникновение ударной нагрузки на резец и образование сливной стружки различной формы и размеров [2].

С образованием многофункциональных токарных станков, оснащенных инструментальной головкой с собственным приводом, появилась возможность реализации технологии фрезоточения, которая устраняет указанные проблемы. Но при применении типичных торцовых фрез, оснащенных зубьями из твердых сплавов, возник-

кает другой вопрос, связанный с себестоимостью реализации технологии фрезоточения. Применение высокопроизводительной технологии фрезоточения в условиях машиностроительных заводов Республики Казахстан также препятствует отсутствию многофункциональных токарных станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

В условиях машиностроительных предприятий, где в основном используется универсальное станочное оборудование, данная проблема еще усугубляется. Для решения вышеуказанных проблем авторами в рамках выполнения грантового проекта AP08956387 «Создание опытного образца универсального устройства на базе токарного станка для реализации технологии фрезоточения», финансируемого Министерством образования и науки РК, была разработана конструкция специального устройства на базе токарного станка для реализации технологии фрезоточения и термофрикционного фрезоточения. Одним из основных отличий термофрикционного фрезоточения является использование специальной фрикционной фрезы из неинструментального материала, взамен стандартных торцовых фрез [3,4].

В связи с этим разработана специальная модель устройства для реализации технологии фрезоточения и термофрикционного фрезоточения является **актуальной задачей**.

Методика исследования. Для выполнения расчета специальной упругой муфты универсального устройства на базе токарного станка для реализации технологии фрезоточения была разработана имитационная модель токарного станка со смонтированным на нем устройством, а также модель универсального устройства и специальной муфты с дугообразными упругими элементами. Определены геометрические параметры муфты. Упругие элементы муфты сделаны из технической пластины марки МБС-С (ГОСТ 7338-90). Расчет проводился по известной методике [5-7].

Расчет упругой муфты и обсуждение результатов. Одной из значительной составляющей большинства машин и оборудования являются разного рода муфты. Работа муфт должна быть стабильной и четкой, и именно от нее зависит надежность машин. Теоретические способы исследования занимают немаловажную роль, которые еще на стадии проектирования позволяют заложить в конструкцию необходимый и ценный уровень надежности, а также, в свою очередь, проанализировать действие конструктивных параметров на температурное и напряженно-деформированное состояние [8,9].

Теоретические методы расчета муфт с высокоэластичными элементами начали свое развитие совсем недавно. Именно в период наметившейся их стандартизации это проявилось особенно явно, тогда для разработчиков и создателей стандартов вопрос о создании технически обоснованных параметрических рядов муфт стал особо важным

и значимым, а также разработку первоклассных конструкций муфт.

На рисунке 1 показана модель общего вида токарного станка со смонтированным на нем устройством.

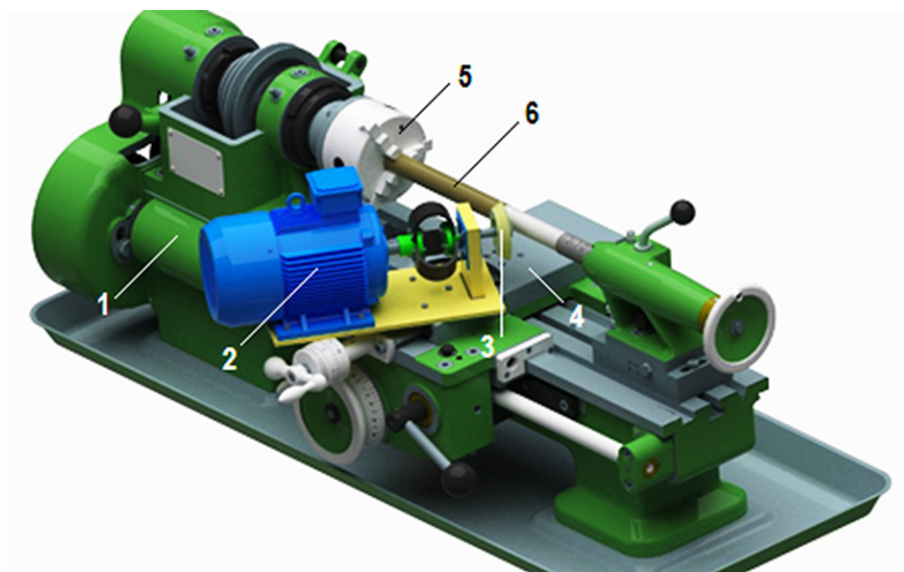
На рисунке 2 показаны общий вид устройства и муфта с дугообразными упругими элементами.

В конструкции рассматриваемого устройства для реализации технологии фрезоточения используется упругая муфта, являющаяся предохранительным и соединительным элементом, а также предназначенная для защиты элементов конструкции от разрушения при перезагрузке. В связи с чем необходимо произвести прочностной расчет муфты.

На рисунке 3 показаны геометрические параметры муфты.

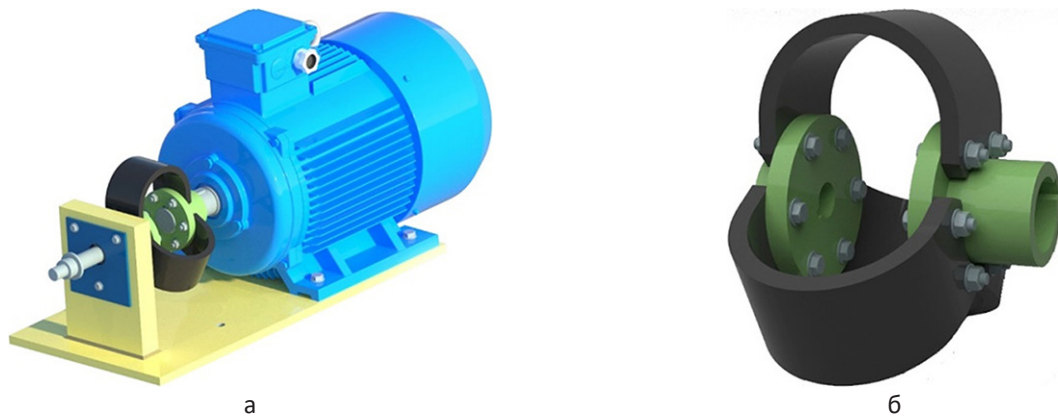
Муфта упругая с дугообразными упругими элементами состоит из 3 упругих элементов 1 и полумуфт 2 и 3, которые закрепляются болтовыми соединениями 4 (см. рисунок 3). Полумуфты устанавливают на конец промежуточного вала и на вал электродвигателя. Вращательное движение на промежуточный вал передается с электродвигателя через муфту. Используемая муфта обладает малой податливостью из-за небольшой толщины резиновых втулок, тем самым компенсируя незначительные смещения валов. Также муфта используется при соединении машин с электродвигателями при передаче малых и средних вращающих моментов. Несмотря на свою важность, она проста в изготовлении.

Значительное влияние на работу муфты оказывают величина, интенсивность и характер динамических нагрузок (такие как удары, вибрации), обусловленных характером работы приводимой в



1 – токарный станок; 2 – универсальное устройство; 3 – фреза трения;
4 – суппорт; 5 – трехкулачковый патрон; 6 – заготовка

Рисунок 1 – Модель общего вида токарного станка со смонтированным на нем устройством



а – общий вид; б – муфта
Рисунок 2 – Общий вид устройства и муфта с упругими элементами

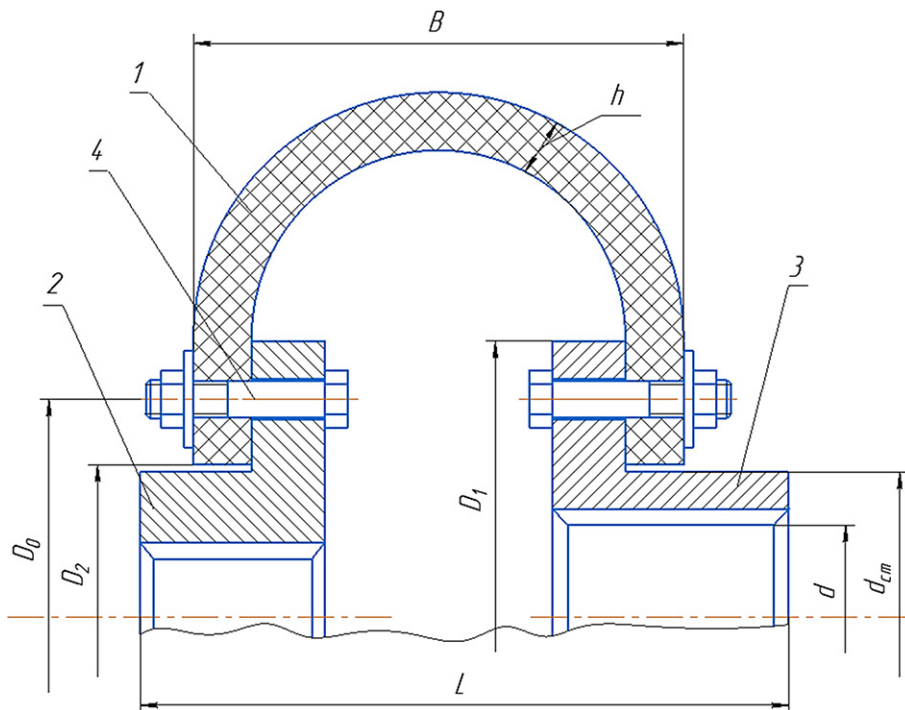


Рисунок 3 – Геометрические параметры муфты

движение машины [9].

На практике муфты выбираются (из каталога) по величине передаваемого крутящего момента T_p , расчетная величина которого определяется как [10]:

$$T_p = k \cdot T_{ном},$$

где $T_{ном}$ – номинальный, длительно действующий момент, Нм;

k – коэффициент динамичности (коэффициент режима работы).

Так как в нашем случае применяется муфта специальной конструкции, мы рассчитываем действительный крутящий момент $T_{дейс}$, а коэффициент k рассчитывают на основании информации

о диапазоне нагружения с учетом воздействия разнообразных степеней нагрузки на прочность и износостойкость элементов муфты. Для нашего устройства коэффициент динамичности будет равен $k=1,25-1,50$ (станки металлорежущие с непрерывным движением).

$$T_{дейс} = \frac{P_{эл}}{\omega} \cdot k,$$

где $P_{эл}$ – мощность используемого электродвигателя, кВт ($P_{эл}=12$ кВт);

ω – угловая скорость, рад/с.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

где n – частота вращения, об/мин ($n=3000$ об/мин).

$$\omega = \frac{3000 \cdot 3,14}{30} = 314 \text{ рад/с},$$

$$T_{\text{дейс}} = \frac{12000}{314} \cdot 1,4 = 53,5 \text{ Нм}.$$

Определим усилия на месте крепления упругих элементов к полумуфтам, передаваемые от электродвигателя (см. рисунок 3).

$$F_t = \frac{2000 \cdot T_{\text{дейс}}}{D_0 \cdot m},$$

где m – количество болтовых соединений.

$$F_t = \frac{2000 \cdot 53,5}{90 \cdot 6} = 198 \text{ Н}.$$

На рисунке 4 показана схема окружного усилия на месте крепления.

В процессе работы крутящий момент передается на упругие элементы муфты и на них действуют касательные напряжения крутильного сдвига τ_k . Данная муфта по характеру работы идентична с муфтой с торообразной оболочкой, следовательно, наиболее распространенным для такой муфты является отказ, связанный с разрушением оболочки в кольцевом сечении у зажима с диаметром D_0 [11].

Условие прочности оболочки на сдвиг:

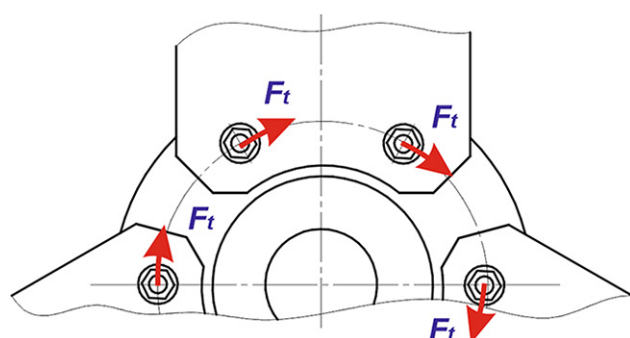


Рисунок 4 – Схема окружного усилия на месте крепления

$$\tau_k \leq [\tau],$$

где $[\tau]$ – допускаемые касательные напряжения крутильного сдвига, МПа.

Допускаемые касательные напряжения крутильного сдвига $[\tau]$ принимаются из технической характеристики материала упругого элемента (таблица).

Большие перемещения и большие деформации для муфт с торообразными упругими элементами требуют достаточно сложный математический аппарат нелинейной теории упругости при их расчете, или в качестве альтернативы – пошаговой процедуры решения задачи, которая в свою очередь позволяет непосредственное использование линеаризованных физических соотношений в пределах каждого шага. Расчет напряженно-деформационного состояния муфт данного типа принято считать одним из сложных в механике деформируемого твердого тела из-за своей сложной геометрии и сложного характера нагружения упругих элементов высокоэластичных муфт, а также специфики материала. Кроме того, данный расчет имеет свои специфические методы, которые во многом отличаются от методов, используемых при расчетах металлических изделий.

Выводы

1. Выполнен расчет на прочность конструкции упругой муфты с дугообразными упругими элементами, которая является основным ответственным узлом универсального устройства на базе токарного станка для реализации технологии фрезоточения. Результаты расчета показали, что дугообразные упругие элементы муфты выдерживают усилие, передаваемое от электродвигателя на местах крепления.

2. Однако учитывая сложную геометрию и характер нагружения упругих высокоэластичных элементов муфты, а также специфику материала, рекомендуется расчет напряженно-деформационного состояния муфты с помощью специальных компьютерных программ.

Характеристика материала МБС-С

Твердость, (H) °Sh A	65±5
Предел прочности при растяжении, (TS) МПа	min 4
Удлинение до разрыва, (Eb) %	min 200
Плотность, (q) г/см³	1,6
Изменение предела прочности, (ΔTSb) %	max +/- 30

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков Н. Н. Инструментальные материалы для изготовления лезвийных инструментов // Наука и образование. Научное изд. МГТУ им. Баумана. 2018. № 13. – С. 75-100.

2. Артамонов Е.В., Васильев Д.В., Чернышов М.О. Стружкодробление при автоматизированной обработке резанием труднообрабатываемых сталей путем комплексного применения стружколомающего инструмента и высокотемпературного охрупчивания // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. № 24 (1). С. 8-22.
3. Шеров К.Т., Мусаев М.М., Шеров А.К., Доненбаев Б.С., Ракишев А.К. Универсальное устройство для токарного станка / Патент РК №33088 на изобретение. Опубликовано 17.09.2018. Бюл. № 35.
4. Mussayev M., Sherov K., Taskarina A., Sherov A., Gabdyssalik R., Buzauova T., Ainabekova S. Chip formation during thermal friction turn milling // Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19. P. 142-147.
5. Романюк Д.А. Общий термодинамический анализ процессов деформирования упругого элемента плоской муфты // Физико-математическое моделирование систем: материалы XVII Международного семинара. – Воронеж: ВГЛУ, 2017. – Ч. 1. – С. 67-74.
6. Кокорев И.А., Горелов В.Н. Курс деталей машин: Учебное пособие. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. – 287 с.
7. Kang JH., Lee HW. Study on the design parameters of a low speed coupling of a wind turbine. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 2017. Vol. 18, P. 721-727.
8. Korneev V.S. Finite element research of rubber-cord flat coupling / V.S. Korneev, D.A. Romanyuk, S.A. Korneev, G.S. Russkih, M.V. Vaskova // Procedia Engineering, № 152. – Elsevier Ltd, 2016. – P. 321-326.
9. Korneev S.A. Flat shell stress-strain state calculation / S.A. Korneev, V.S. Korneev, V.A. Ilyichev, M.V. Vaskova // Procedia Engineering № 113 – Elsevier Ltd, 2015. – P. 270-275.
10. Nejadal J. Design optimization of hydrodynamic coupling applying response surface method combined with CFD technique. J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 2020. Vol. 42, P. 509-516.
11. Zhao Y., Du X., Lin F. et al. Static stiffness characteristics of a new non-pneumatic tire with different hinge structure and distribution. J Mech Sci Technol. 2018. Vol. 32, P. 3057-3064.

Фрезалап жону технологиясын жүзеге асыру үшін токарлық білдек негізіндегі әмбебап құрылғының серпімді муфтасын есептеу

¹***МУСАЕВ Медғат Муратович**, PhD, доцент м.а., kstu_mmm@mail.ru,

²**ШЕРОВ Карибек Тагаевич**, т.ғ.д., профессор, shkt1965@mail.ru,

¹**РАКИШЕВ Асет Кариғулович**, коммерциялау кеңсесінің жетекшісі, r_asset@mail.ru,

¹**КАРСАКОВА Нұрғұл Жолаевна**, докторант, karsakova-87@mail.ru,

¹Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан, 010011, Нұр-Сұлтан, Жеңіс даңғылы, 62,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – аналитикалық есептеулер мен алынған мәндерді салыстыру арқылы муфтаның серпімді элементтерінің материалы мен негізгі геометриялық параметрлерін таңдау. Доға тәрізді серпімді элементтері бар аталмыш муфта токарлық білдек базасындағы әмбебап құрылғының негізгі жауапты түйіні болып табылады. Әмбебап құрылғының негізгі жауапты түйіні болып табылатын доғалы серпімді элементтері бар муфтаны есептеу нәтижелері берілген. Есептеуді орындау үшін құрылғының жалпы көрінісі және доғалы серпімді элементтері бар муфталар модельденді, сонымен қатар, муфтаның геометриялық параметрлері анықталды. Есептеу нәтижелері бұл түйіннің жеткілікті беріктігі бар екенін көрсетті. Болашақта муфтаның жоғары серпімді элементтерін жүктеудің күрделі геометриясы мен сипатын, сондай-ақ, материалдың ерекшелігін ескере отырып, арнайы компьютерлік бағдарламаларды қолданумен муфтаның кернеулі-деформациялық күйін есептеу ұсынылады.

Кілт сөздер: фрезалап жону, термофрикциялық фрезалап жону, құрылғы, серпімді муфта, айналмалы жүктеме, беріктік, айнала моменті.

Calculation of an Elastic Coupling of a Universal Device Based on a Lathe for Implementing Turn-Milling Technology

¹***MUSSAYEV Medgat**, PhD, Acting Associate Professor, kstu_mmm@mail.ru,

²**SHEROV Karibek**, Dr. Tech. Sci., Professor, shkt1965@mail.ru,

¹**RAKISHEV Asset**, Head of the Commercialization Office, r_asset@mail.ru,

¹**KARSAKOVA Nurgul**, doctoral student, karsakova-87@mail.ru,

¹Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Kazakhstan, 010011, Nur-Sultan, Zhenis Avenue, 62,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the article is to select the material and the main geometric parameters of the elastic elements of the coupling by analytical calculations and comparison of the obtained values. The coupling with arc-shaped elastic elements is the main responsible node of a universal device based on a lathe. Presents the results of calculating an elastic

coupling with arcuate elastic elements, which is the main critical unit of the universal device. To perform the calculation, the general view of the device and the coupling with arcuate elastic elements were modeled, and the geometric parameters of the coupling were determined. The calculation results showed that this node has sufficient strength. In the future, taking into account the complex geometry and nature of the loading of the elastic highly elastic elements of the coupling, as well as the specifics of the material, it is recommended to calculate the stress-strain state of the coupling using special computer programs.

Keywords: turn-milling, thermal friction turn-milling, device, elastic coupling, circumferential force, torque, strength.

REFERENCES

1. Zubkov N. N. Instrumental'nyye materialy dlya izgotovleniya lezviynykh instrumentov // Nauka i obrazovaniye. Nauchnoye izd. MGTU im. Bauman. 2018. No. 13. – pp. 75-100.
2. Artamonov Ye.V., Vasil'yev D.V., Chernyshov M.O. Struzhkodrobleniye pri avtomatizirovannoy obrabotke rezaniyem trudnoobrabatyvayemykh staley putem kompleksnogo primeneniya struzhkolomayushchego instrumenta i vysokotemperaturnogo okhrupchivaniya // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2020. No. 24 (1). pp. 8-22.
3. Sherov K.T., Musayev M.M., Sherov A.K., Donenbayev B.S., Rakishev A.K. Universal'noye ustroystvo dlya tokarnogo stanka / Patent RK №33088 na izobreteniyey. Opublikovano 17.09.2018. Byul. No. 35.
4. Mussayev M., Sherov K., Taskarina A., Sherov A., Gabdyssalik R., Buzauova T., Ainabekova S. Chip formation during thermal friction turn milling // Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19. pp. 142-147.
5. Romanyuk D.A. Obshchiy termodinamicheskiy analiz protsessov deformirovaniya uprugogo elementa ploskoy mufty // Fiziko-matematicheskoye modelirovaniye sistem: materialy XVII Mezhdunarodnogo seminara. – Voronezh: VGLTU, 2017. – CH. 1. – pp. 67-74.
6. [6] Kokorev I.A., Gorelov V.N. Kurs detaley mashin: Uchebnoye posobiye. – Samara: Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2017. – 287 p.
7. Kang JH., Lee HW. Study on the design parameters of a low speed coupling of a wind turbine. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 2017. Vol. 18, pp. 721-727.
8. Korneev V.S. Finite element research of rubber-cord flat coupling / V.S. Korneev, D.A. Romanyuk, S.A. Korneev, G.S. Russkih, M.V. Vaskova // Procedia Engineering, no. 152. – Elsevier Ltd, 2016. – pp. 321-326.
9. Korneev S.A. Flat shell stress-strain state calculation / S.A. Korneev, V.S. Korneev, V.A. Ilyichev, M.V. Vaskova // Procedia Engineering, no. 113. – Elsevier Ltd, 2015. – pp. 270-275.
10. Nejadali J. Design optimization of hydrodynamic coupling applying response surface method combined with CFD technique. J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 2020. Vol. 42, pp. 509-516.
11. Zhao Y., Du X., Lin F. et al. Static stiffness characteristics of a new non-pneumatic tire with different hinge structure and distribution. J Mech Sci Technol. 2018. Vol. 32, pp. 3057-3064.