

нов. – Текст: непосредственный // *Материалы Всероссийской научно-методической конференции / Башкирский ГАУ.* – 2018. – С. 296-301.

7. Масалимов, И. Х. Расчёт подкапывающего рабочего органа с использованием программ ЭВМ / И. Х. Масалимов, Р. Р. Ибрагимов, Р. С. Глимшин. – Текст: непосредственный // *Материалы Международной научно-практической конференции / Башкирский ГАУ.* – 2014. – С. 80-83.

8. Ахметьянов, И. Р. Влияние системы крепления газовых баллонов на их резонансные свойства / И. Р. Ахметьянов, Д. А. Гусев, Р. Р. Ибрагимов. – Текст: непосредственный // *Материалы V Всероссийской научно-практической конференции.* – Ижевск, 2021. – С. 13-17.

#### References

1. Mudarisov, S.G. *Primenenie CAD/CAE sistem Kompas, APM WinMachine, ANSYS pri prepodavanii kursa «Proektirovanie i raschet mashin» / S.G. Mudarisov, I.M. Farkhutdinov // Materialy Mezhdunarodnoi uchebno-metodicheskoi konferentsii. Bashkirskii GAU.* – Ufa, 2013. – S. 195-197.

2. Farkhutdinov, I.M. *Primenenie CAE-sistemy ANSYS pri prepodavanii distsiplin «Selskokhoziaistvennye mashiny» i «Proektirovanie i raschet mashin» / I.M. Farkhutdinov, S.G. Mudarisov // Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii. Bashkirskii GAU.* – Ufa, 2013. – S. 67-69.

3. Mudarisov, S.G. *Podsystema proektirovaniia rabochikh organov pochvoobrabatyvaiushchikh mashin v integrirovannoi sisteme AUTOCAD-KOMPAS-FLOW VISION / S.G. Mudarisov,*

*V.G. Mufteev, I.M. Farkhutdinov, I.D. Badretdinov // Materialy XLVII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Cheliabinskaiia GAA.* – Cheliabinsk, 2008. – S. 102-108.

4. Masalimov, I.Kh. *Ispolzovanie APM WinMachine dlia opredeleniia soprotivleniia pochvy soshniku seialki / I.Kh. Masalimov, R.R. Ibragimov // Vestnik Bashkirskogo GAU.* – 2011. – No. 4. – S. 57-60.

5. Mudarisov, S.G. *Modelirovanie rabochikh poverkhnostei korpusov plugov v SAPR / S.G. Mudarisov, V.G. Mufteev, I.M. Farkhutdinov // Materialy XLVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. MSKh RF, Departament nauchno-tekhnologicheskoi politiki i obrazovaniia, FGOU VPO Cheliabinskii GAU.* – 2009. – S. 143-148.

6. Mudarisov, S.G. *Ispolzovanie kompiuternykh programm inzhenernogo rascheta i proektirovaniia (CAD/SAE – sistem) pri izuchenii distsiplin po napravleniiu podgotovki «Agroinzheneriia» / S.G. Mudarisov, I.M. Farkhutdinov // Materialy Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii. Bashkirskii GAU.* – 2018. – S. 296-301.

7. Masalimov, I.Kh. *Raschet podkapyvaiushchego rabochego organa s ispolzovaniem programm EVM / I.Kh. Masalimov, R.R. Ibragimov, R.S. Glimshin // Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Bashkirskii GAU.* – 2014. – S. 80-83.

8. Akhmetianov, I.R. *Vliianie sistemy krepeleniia gazovykh ballonov na ikh rezonansnye svoistva / I.R. Akhmetianov, D.A. Gusev, R.R. Ibragimov // Materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii.* – Izhevsk, 2021. – S. 13-17.



УДК 629.3.014

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-216-10-113-117

С.А. Коростелев, А.Н. Рогов

S.A. Korostelev, A.N. Rogov

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УПРУГОЙ МУФТЫ РАЗДАТОЧНОГО РЕДУКТОРА ТРАКТОРА

### EVALUATION OF STRAIN-STRESS STATE OF FLEXIBLE COUPLING OF TRACTOR TRANSFER GEARBOX

**Ключевые слова:** эластичная муфта, Муни-Ривлин, резиновый элемент, напряженно-деформированное состояние, удельная энергия деформации, касательные напряжения.

**Keywords:** flexible coupling, Mooney-Rivlin model, rubber element, strain-stress state, specific energy of deformation, tangential stresses.

В работе представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния упругой муфты, соединяющей двигатель и насос гидростатической трансмиссии колесного трактора. В настоящее время с целью повышения тяговых и экономических показателей и производительности сельскохозяйственных и лесохозяйственных машин в их конструкциях применяют гидростатические передачи, которые позволяют в широком диапазоне бесступенчато изменять передаточное число трансмиссии трактора, что позволяет обеспечить эффективную загрузку двигателя. Для снижения динамических нагрузок в трансмиссии трактора для соединения двигателя и насоса гидростатической трансмиссии применяют упругие муфты, которые представляют собой металлические элементы, соединенные между собой с помощью резинового массива. Долговечность такой конструкции лимитируется долговечностью резинового массива, который в процессе работы подвергается воздействию циклических нагрузок, переменных по знаку и времени. В результате такого воздействия резина разрушается по усталостному типу. Для определения долговечности резиновых элементов упругой муфты необходимо знать их напряженно-деформированное состояние. Поскольку материалом упругой муфты является резина, то в основе ее расчета лежат соотношения для нелинейного вязкоупругого материала, механическое поведение которого описывается потенциалом Муни-Ривлина. Расчет выполняется для передачи максимального крутящего момента от двигателя. Численное решение задачи выполняется с помощью метода конечных элементов. В результате расчета получены перемещения узлов конечно-элементной модели, компоненты тензора деформации, компоненты тензора напряжения, а также их инварианты и удельная энергия деформации. Определены области концентрации указанных параметров и

сделана оценка о работоспособности рассматриваемой конструкции.

This paper discusses the calculation data of strain-stress state of the flexible coupling connecting the engine and the pump of the hydrostatic transmission of a wheeled tractor. Currently, in order to improve the traction and economic performance and productivity of agricultural and forestry machines, their designs use hydrostatic transmission which allow a wide range of stepless change the transmission ratio of the tractor which allows providing effective loading of the engine. To reduce dynamic loads in the tractor transmission, flexible couplings are used to connect the engine and the hydrostatic transmission pump which consist of metal elements connected to each other using a rubber array. The durability of such a design is limited by the durability of the rubber array which is exposed to cyclic loads variable in sign and time during operation. As a result of such exposure, the rubber breaks down by fatigue type. To determine the durability of the rubber elements of the flexible coupling, it is necessary to know their strain-stress state. Since the material of the flexible coupling is rubber, the calculation of the flexible coupling is based on the relations for a nonlinear viscoelastic material whose mechanical behavior is described by Mooney-Rivlin model. The calculation is performed to transmit the maximum torque from the engine. The numerical solution of the problem is performed by using the finite element method. As a result of the calculation, the displacements of the nodes of the finite element model, the components of the strain tensor, the components of the stress tensor, as well as their invariants and the specific strain energy were obtained. The areas of concentration of the indicated parameters are determined and the evaluation of the operability of the considered design is made.

**Коростелев Сергей Анатольевич**, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: korsan73@mail.ru.

**Рогов Александр Николаевич**, аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: rogov-an@list.ru.

**Korostelev Sergey Anatolevich**, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: korsan73@mail.ru.

**Rogov Aleksandr Nikolaevich**, post-graduate student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: rogov-an@list.ru.

### Введение

Для повышения производительности и снижения утомляемости водителя на сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторах применяется гидростатическая трансмиссия (ГСТ). Применение ГСТ позволяет в широком диапазоне бесступенчато изменять передаточное число трансмиссии, повышая тем самым эксплуатационные показатели сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов, а также упростить механические части трансмиссии. ГСТ обладает высокой жесткостью, что не позволяет

снизить динамические нагрузки, действующие на механические части трансмиссии, элементы ГСТ и двигатель внутреннего сгорания. Для снижения динамических нагрузок [1] в конструкции тракторов и передачи крутящего момента от коленчатого вала ДВС к валу раздаточного редуктора, осуществляющего привод гидронасосов трансмиссии и технологического оборудования, применяют эластичные муфты. Применение эластичной муфты позволяет снизить динамические нагрузки в элементах трансмиссии, исключить возможность возникновения резонанса

нансных явлений в трансмиссии и компенсировать погрешности, связанные с изготовлением [2-4].

### Постановка задачи

На рисунке 1 представлена эластичная муфта, применяемая для передачи крутящего момента от двигателя к раздаточному редуктору гидростатической трансмиссии колесного трелевочного трактора. Упругий элемент муфты 4 свободно устанавливается на поверхность внешнего диаметра ступицы 7 и сжимается в осевом направлении фланцем 3 при помощи болтов 6 к фланцу ступицы 7. Величина осевого сжатия ограничивается втулками 8. Крутящий момент от маховика двигателя внутреннего сгорания передается с помощью пальцев 2 на поверхность внешнего диаметра упругого элемента муфты. Далее через упругий элемент крутящий момент передается на втулки 8, болты 6, ступицу 7 и входной вал раздаточного редуктора 5.

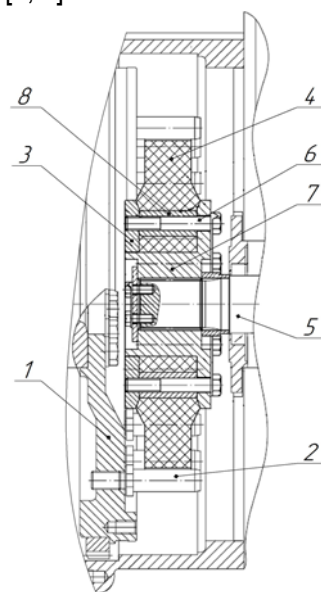
Выбор конструктивных параметров упругого элемента муфты и сопрягаемых с ним металлических элементов, обеспечивающих условия сборки, оказывают первостепенное влияние на характеристики жесткости муфты и долговечность упругого элемента.

Снижение динамических нагрузок обеспечивается требуемой характеристикой угловой жесткости упругой муфты. В то же время одни и те же характеристики могут быть получены с помощью различных конструктивных вариантов, обладающих различной долговечностью. Во время эксплуатации упругий элемент муфты подвергается воздействию крутящего момента, величина которого ограничивается крутящим моментом двигателя. Кроме того, упругий элемент нагружен карданным моментом, который вызван погрешностью при изготовлении и сборке узла [5].

Указанные нагрузки вызывают перемещения, напряжения и деформации в теле упругого элемента муфты, распределение и концентрация которых оказывают влияние на его долговечность. В связи с чем целью работы является определение напряжений, деформаций и их инвариантов, а также оценка на их основе долговечности муфты.

Для определения напряженно-деформированного состояния упругого элемента муфты применяются соотношения нелинейной теории упругости, описывающие деформирование не-

сжимаемого материала. Для получения численного решения применяется метод конечных элементов [1, 6].



**Рис. 1. Конструкция эластичной муфты:**  
 1 – маховик двигателя; 2 – палец; 3 – фланец;  
 4 – элемент эластичный;  
 5 – вал раздаточного редуктора; 6 – болт;  
 7 – ступица муфты,  
 8 – втулки, ограничивающие осевое сжатие

### Теория

Соотношения между напряжениями и деформациями в упругом элементе муфты имеют нелинейный характер и описываются с помощью потенциала внутренних сил, который является функцией инвариантов тензора упругой деформации.

В данной работе механические свойства резины описываются упругим потенциалом Муни-Ривлина [1, 7-9]:

$$W = C_{10}(J_1 - 3) + C_{01}(J_2 - 3), \quad (1)$$

где  $W$  – удельная энергия упругой деформации;

$J_1$  и  $J_2$  – соответственно, первый и второй инварианты тензора меры деформации Коши;

$C_{10}$ ,  $C_{01}$  – константы, характеризующие упругие свойства материала ( $C_{10} = 0,725$  МПа;  $C_{01} = 0,125$  МПа).

$$J_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2;$$

$$J_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2,$$

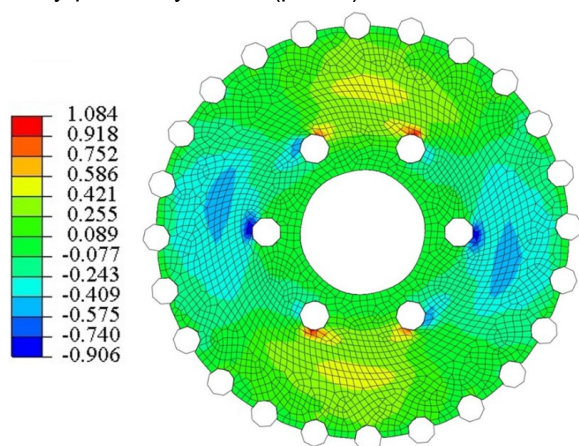
где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – главные деформации.

### Результаты

В результате расчета напряженно-деформированного состояния упругого элемента муфты раздаточного редуктора получены перемещения узлов сетки конечных элементов, рас-

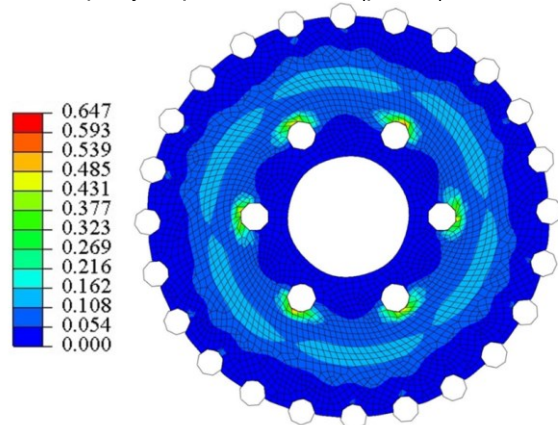
пределения компонентов тензора деформаций, компонентов тензора напряжений, их инвариантов и удельной энергии упругой деформации. Поскольку материал эластичной муфты (резина) является несжимаемым материалом, поэтому чувствителен в первую очередь к касательным напряжениям, то в дальнейшем проанализируем картины распределения наибольших касательных напряжений на поверхности упругой муфты и удельной энергии упругой деформации.

На рисунке 2 представлено распределение касательных напряжений по поверхности упругой муфты. Максимальные касательные напряжения (1.084 МПа) наблюдаются в зоне крепления муфты с втулкой 8 (рис. 1).



**Рис. 2. Распределение по поверхности упругой муфты касательных напряжений  $\tau_{yz}$ , МПа**

На рисунке 3 представлено распределение по поверхности упругой муфты удельной энергии деформации. Максимальных значений энергии упругой деформации (0,647 МДж/м<sup>3</sup>) достигается в месте крепления упругой муфты раздаточного редуктора с болтом 6 (рис. 1).



**Рис. 3. Распределение по поверхности муфты удельной энергии упругой деформации, МДж/м<sup>3</sup>**

## Выводы

Касательные напряжения на поверхности упругой муфты и удельная энергия упругой деформации достигают максимальных значений в одних и тех же областях, а именно в зоне крепления муфты с втулкой 8 (рис. 1). Соответственно, усталостное разрушение будет начинаться именно в этой области, что подтверждается результатами анализа характера разрушения упругого элемента муфты во время эксплуатации.

## Библиографический список

1. Медведев, Ю. В. Анализ напряженно-деформированного состояния резинового элемента поддерживающего ролика гусеничного движителя / Ю. В. Медведев, С. А. Коростелев, Н. С. Корнев. – Текст: непосредственный // Ползуновский альманах. – 2017. – № 3-1. – С. 85-88.
2. Шухман, С. Б. Теория силового привода колес автомобилей высокой проходимости / С. Б. Шухман, В. И. Соловьев, Е. И. Прочко; под общей редакцией д.т.н., проф. С. Б. Шухмана. – Москва: Агробизнесцентр, 2007. – 336 с. – Текст: непосредственный.
3. Шарипов, В. М. Конструирование и расчет тракторов: учебник для студентов вузов / В.М. Шарипов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2009. – 752 с. – Текст: непосредственный.
4. Барский, И. Б. Динамика трактора / И. Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков. – Москва: Машиностроение, 1973. – 280 с. – Текст: непосредственный.
5. Анилович, В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолаженко. – Изд. 2-е, доп. – Москва: Машиностроение, 1976. – 456 с. – Текст: непосредственный.
6. Оден, Д. Т. Определение конечных деформаций упругих тел на основе конечных элементов / Д. Т. Оден, Д. Е. Кей. – Текст: непосредственный // Расчет упругих конструкций с использованием ЭВМ. – Санкт-Петербург: Судостроение, 1974. – Т. 1. – С. 63-68.
7. Лавендэл, Э. Э. Расчет резинотехнических изделий / Э. Э. Лавендэл. – Москва: Машиностроение, 1976. – 232 с. – Текст: непосредственный.
8. Трелоар, Л. Физика упругости каучука / Л. Трелоар. – Москва: Изд-во иностр. лит-ры, 1953. – 324 с. – Текст: непосредственный.

9. Михайлов, Ю. К. Муфты с неметаллическими упругими элементами: Теория и расчет / Ю. К. Михайлов, Б. С. Иванов. – Ленинград: Машиностроение, 1987. – 145 с. – Текст: непосредственный.

#### References

1. Medvedev, Iu.V. Analiz napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia rezinovogo elementa podderzhivaiushchego rolika gusenichnogo dvizhitelia / Iu.V. Medvedev, S.A. Korostelev, N.S. Kornev // Polzunovskii almanakh. – 2017. – No. 3-1. – S. 85-88.

2. Shukhman, S.B. Teoriia silovogo privoda koles avtomobilei vysokoi prokhodimosti / S.B. Shukhman, V.I. Solovev, E.I. Prochko; pod obshchei redaktsiei d.t.n., prof. S.B. Shukhmana. – Moskva: Agrobiznestsentr, 2007. – 336 s.

3. Sharipov, V.M. Konstruirovaniie i raschet traktorov: uchebnik dlia studentov vuzov. 2-e izd. pererab. i dop. / V.M. Sharipov. – Moskva: Mashinostroenie, 2009. – 752 s.

4. Barskii, I.B. Dinamika traktora / I.B. Barskii, V.Ia. Anilovich, G.M. Kutkov. – Moskva: Mashinostroenie, 1973. – 280 s.

5. Anilovich, V.Ia. Konstruirovaniie i raschet selskokhoziaistvennykh traktorov / V.Ia. Anilovich, Iu.T. Vodolazhchenko // Izdanie 2-e, dopolnennoe. – Moskva: Mashinostroenie, 1976. – 456 s.

6. Oden, D.T. Opredeleniie konechnykh deformatsii uprugikh tel na osnove konechnykh elementov / D.T. Oden, D.E. Kei // Raschet uprugikh konstruksii s ispolzovaniem EVM. T. 1. – Sankt-Peterburg: Sudostroenie, 1974. – S. 63-68.

7. Lavendel, E.E. Raschet rezinotekhnicheskikh izdelii / E.E. Lavendel – Moskva: Mashinostroenie, 1976. – 232 s.

8. Treloar, L. Fizika uprugosti kauchuka / L. Treloar. – Moskva: Izd-vo inostr. lit., 1953. – 324 s.

9. Mikhailov, Iu.K. Mufty s nemetallicheskimii uprugimi elementami: teoriia i raschet / Iu.K. Mikhailov, B.S. Ivanov. – Leningrad: Mashinostroenie, 1987. – 145 s.

*Исследование выполнено в АлтГТУ им. И.И. Ползунова при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2021-039 от 25 июня 2021 г.*



УДК 631.362.33

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-216-10-117-122

**Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов,  
С.С. Щербakov, В.Н. Петухов**  
N.I. Strikunov, S.V. Lekanov,  
S.S. Shcherbakov, V.N. Petukhov

## О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА ПО ПИТАТЕЛЮ И В КОЛЬЦЕВОМ ЗАЗОРЕ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ДЕЛИТЕЛЬНОГО РЕШЕТА

### ON THE INFLUENCE OF GRAIN MOVEMENT SPEED ALONG FEEDER AND IN ANNULAR GAP ON DIVIDING SIEVE THROUGHPUT EFFICIENCY

**Ключевые слова:** *загрузочная горловина, питатель, кольцевой зазор, предварительная подготовка, частота вращения, лопасть питателя, пропускная способность.*

В некоторых машинах для разделения зерна на фракции используется основное различие компонентов зерновой смеси – длина. Этот признак разделения применяется на ячеистых рабочих поверхностях. Однако производственным опытом доказано, что разделение зернового материала по длине частиц возможно на цилиндрических решетках с круглыми отверстиями. При этом наиболее прогрессивным является процесс разделения, при котором обеспечивается самоориентация зерен их длинной осью параллельно рабочей поверх-

ности решета. Такой технологический процесс легко поддается интенсификации за счет использования центробежных сил и может быть осуществлен на одном решете. При этом важно предварительно отделить частицы сходовой фракции от поверхности цилиндрического решета. Такое удаление позволяет длинным примесям позднее вступить в контакт с решетом, что повышает производительность и качество очистки. Таким образом, эффективность разделения зернового материала обеспечивается, если зерновой материал предварительно подготовить. В настоящей работе дано обоснование основных параметров устройства для предварительной подготовки зернового материала, обеспечивающее в последующем повышение эффективности работы центробежно-решетного сепаратора.