

**Кантович Леонид Иванович**, доктор техн. наук, профессор, **Дмитриенко Виктор Григорьевич**, канд. техн. наук, доцент, **Шеметов Евгений Геннадьевич**, аспирант, **Симба Наваррете Владимир**, студент

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

E-mail: kantovich70@yandex.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА 4100-ХРС С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ «SOLIDWORKS»

### *Аннотация:*

**Актуальность работы.** Поиск путей повышения долговечности беговых дорожек и усовершенствования конструкции гребней трака

**Цель работы:** Использование автоматизированных систем компьютерного моделирования для повышения надежности ходового оборудования эксплуатирующегося гусеничного экскаватора P&H 4100-ХРС

**Методы исследования:** компьютерное моделирование

### **Результаты:**

- Проведен анализ работы трака одноковшового экскаватора;
- выявлены причины повышенного износа гусеничного трака;
- проведены статические исследования и определены показания прочностных характеристик сравниваемых гусеничных траков в автоматизированной программе Solid Works;
- показано преимущество трака по патенту RU2646712 перед траком по патенту US6929335.

**Ключевые слова:** экскаватор, ходовое оборудование, гусеничный трак, износ, деформация, Solid Works, запас прочности

**Информация о статье:** принята 01 октября 2019 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-4-10-14

Карьерный экскаватор P&H 4100-ХРС вместимостью ковша 57м<sup>3</sup> (рис. 1), работающий на Талдинском угольном разрезе с 2009 г., является самым большим в России [1]. Также экскаваторы подобного типа эксплуатируются на карьере «Пеламбрес» компании «КОДЕЛКО» [2]. Технические характеристики экскаватора представлены в таблице 1 [3].

Анализ их эксплуатации позволил установить, что одним из его недостатков таких экскаваторов является быстрый износ гусеничного трака [4]. Так, было установлено, что по сравнению со средним давлением при передвижении максимальное давление при копании на трак вдоль гусеницы увеличивается в 4-4,5 раза, а при копании на угол максимальное давление увеличивается в 7-12. Как следствие, в гусеничном траке возникают трещины, разломы и деформация беговых дорожек [5].

Повысить надежность и долговечность эксплуатации гусеничного трака можно путем увеличения его запаса прочности, проведя исследования с помощью статического анализа в системе автоматизированного проектирования «SolidWorks» [6, 7].

Исследованиям будем подвергать конструкцию гусеничного трака экскаватора P&H 4100-ХРС [8], изготовленного из стали для отливок J91109 с твердостью 180-220 НВ ( $\sigma_b=650$  МПа,  $\sigma_T=350$  МПа) [9] и предложенную конструкцию гусеничного трака, изготовленного по патенту RU2646712 [5] из высоколегированной стали 110Г13Л с твердостью 180-220 НВ



Рис. 1. Карьерный экскаватор 4100-ХРС  
Fig. 1. Electric shovel 4100-ХРС

Таблица 1. Технические характеристики карьерного экскаватора P&H 4100-ХРС  
Table 1. Technical characteristics of the electric shovel 4100-ХРС

Наименование показателей	Значения
Емкость ковша, м <sup>3</sup>	57
Высота черпания, м	16,8
Высота разгрузки, м	9,5
Номинальная емкость ковша, м <sup>3</sup>	57
Габаритные размеры, м	14,4x15,0x14,7
Ширина гусеничного хода, м	10,5
Длина гусеничного хода, м	11,7
Давление гусеницы на грунт, кПа	411,1
номинальная подвешенная нагрузка, т	195
Мощность двигателя, кВт	
- подъема	2037
- поворота	1225
- напора	593
- хода	1055
Масса экскаватора, т	1500

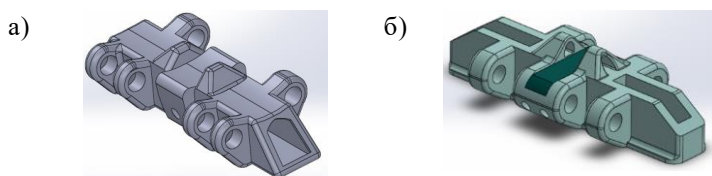


Рис. 2. 3D-модель: а – гусеничного трака экскаватора P&H 4100-ХРС; б – гусеничный трак по патенту RU2646712  
Fig. 2. 3D-Model: a - excavator track shoe P&H 4100-ХРС; b – track shoe as per patent RU2646712

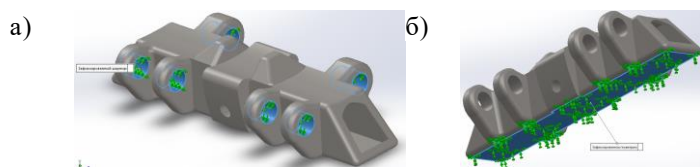


Рис. 3. Крепление исследуемого объекта в «SolidWorks simulation»  
а – по проушинам; б – по нижнему основанию  
Fig. 3. Fastening the object under study in "SolidWorks simulation"  
a - on the pinholes; b - on the lower base

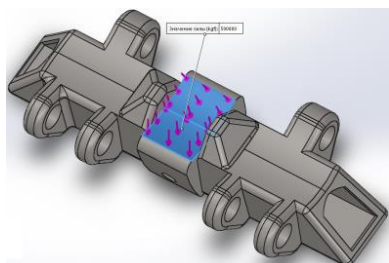


Рис. 4. Указание действующей внешней нагрузки на гусеничный трак  
Fig. 4. Fig. 4. Indication of load on the track

( $\sigma_b=650$  МПа,  $\sigma_T=350$  МПа) и накладкой, изготовленной из легированной стали для отливок 35ХГСЛ с твердостью 494 НВ ( $\sigma_b=780$  МПа,  $\sigma_T=550$  МПа)[10].

В начале работы по имеющимся чертежам на гусеничный трак построили 3D-модели (рис. 2).

Далее посредством интегрированного приложения «SolidWorks simulation» [6,7] приступаем к выполнению статического анализа гусеничного трака, находящегося в нижней ветви гусеницы экскаватора P&H 4100-ХРС и контактирующего по нижнему основанию с ровной поверхностью грунта, а по поверхности беговой дорожки – с поддерживающим катком гусеничного оборудования.

Исследования выполняем следующим образом:

- выбираем материал объекта в соответствии с материалом, из которого изготовлен трак с его прочностными характеристиками. В нашем случае – сталь отливок J91109 с прочностными характеристиками:  $\sigma_b=650$  МПа и  $\sigma_T=350$  МПа.

- указываем фиксацию (крепления) объекта. В нашем случае гусеничный трак при вышеуказанных условиях крепится к проушинам посредством опции «фиксированный шарнир» и по нижнему основанию посредством опции «фиксированная геометрия» (рис. 3).

- указываем величину и место приложения внешних нагрузок. По расчетным данным определено, что на беговую дорожку трака возлагается нагрузка, равная 500кН, которая является частью всего веса экскаватора, сообщаемой траку поддерживающим катком гусеничного оборудования (рис. 4).

- запускаем исследования. Данное действие является последним.

Приложение «SolidWorks simulation» осуществляет необходимый расчет, после которого получены результаты для построения эпюр: напряжения, перемещения, деформации и коэффициента запаса прочности (рис. 5 а,б,в,г).

Из рис.5 (а, б) видно, что максимальное значение напряжения 26МПа и перемещения – 0,014мм приходится на беговую дорожку гусеничного трака. На рис. 5 (в) при вышеуказанных нагрузках наблюдается видимая деформация трака.

На рис. 5 (г) изображена эпюра распределения коэффициента запаса прочности по всему объекту, минимальное значение которого составляет 13. Это значит, что при увеличении заданных нагрузок более чем в 13 раз происходит быстрый износ гусеничного трака и возникает необходимость в его замене или отправке на восстановление, процесс которого является трудоемким и требует относительно много времени.

Данную проблему можно решить с помощью конструкции гусеничного трака по патенту

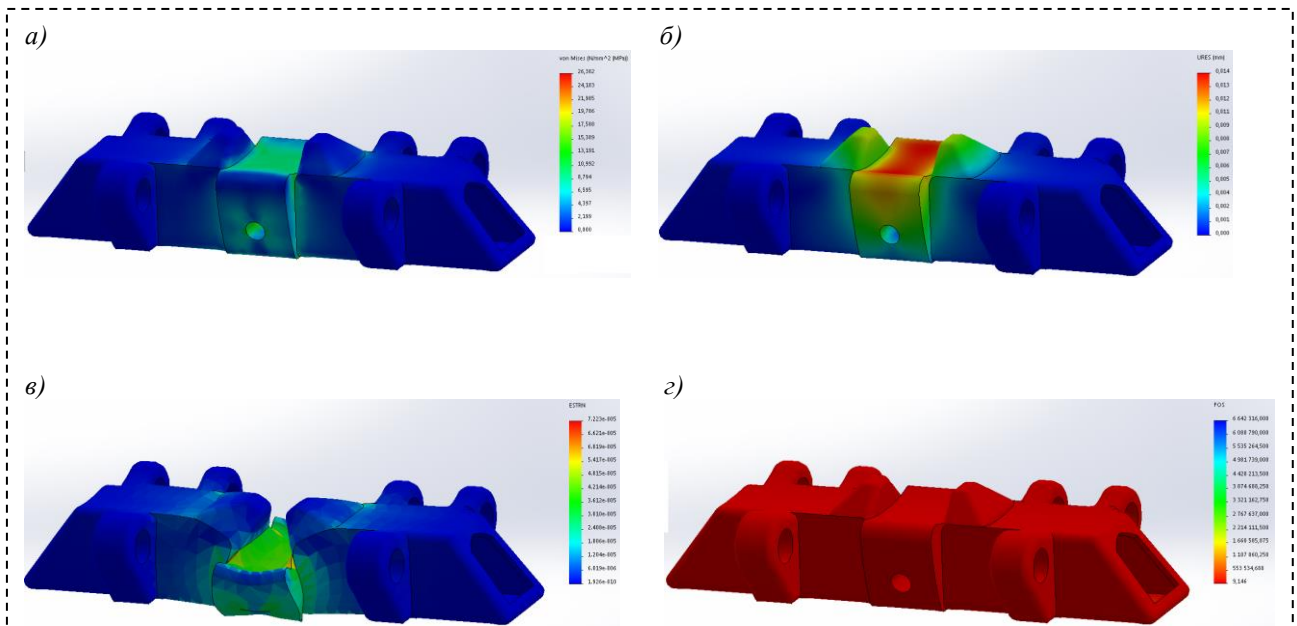


Рис.5. Эпюры: а) напряжения; б) перемещения;  
в) деформации и г) распределения коэффициента запаса прочности  
Fig.5. Plots: a) stresses; b) movement;  
c) deformations and d) distributions of the strength factor

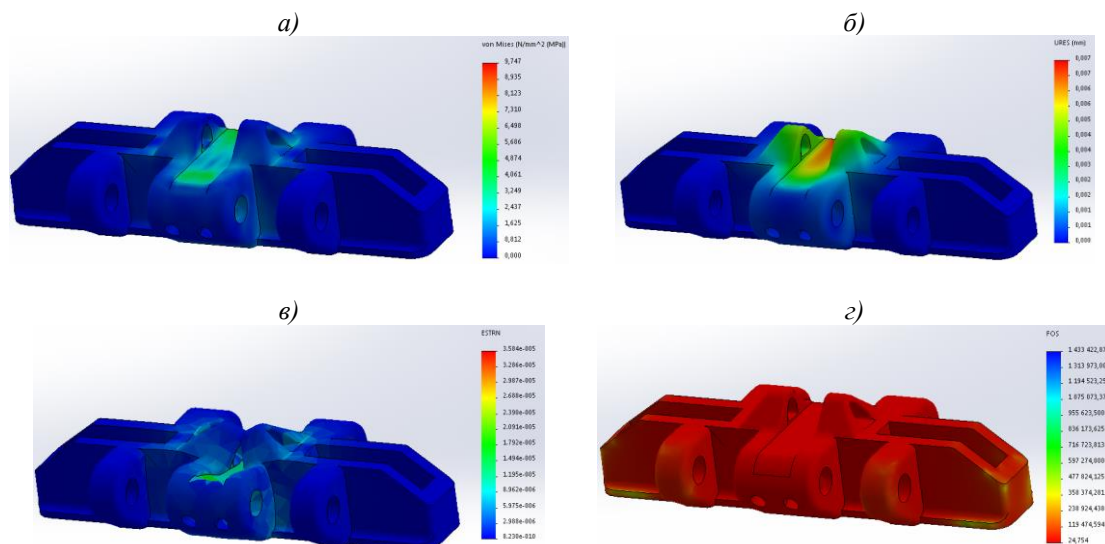


Рис.6. Эпюры: а) напряжения; б) перемещения;  
в) деформации и г) распределения коэффициента запаса прочности  
Fig.6. Plots: a) stresses; b) movement; c) deformations and d) distributions of the strength factor

RU2646712, отличающейся возможностью установки на беговой дорожке наладки из более прочного материала, чем материал самого гусеничного трака.

Аналогично так же, как при выполнении статического исследования гусеничного трака экскаватора P&N 4100-ХРС, выполняем статическое исследование предложенной конструкции трака по патенту RU2646712. Единственное отличие в этом процессе – определение применяемого материала, поскольку данная конструкция состоит из двух элементов (гусеничный трак и наладка), выполненных из разных материалов: гусеничный трак из стали отливок 110Г13Л ( $\sigma_b=650$  МПа и  $\sigma_T=350$  МПа), а накладка из легированной стали 35ХГСЛ ( $\sigma_b=780$  МПа и  $\sigma_T=550$  МПа).

Приложение «SolidWorks simulation» осуществляет необходимый расчет, получаются следующие результаты (рис.6):

Из рис.6 (а, б) видно, что максимальное значение напряжения и перемещения на беговой дорожке резко снизились по сравнению с результатами предыдущего исследования: напряжение достигает 9 МПа, а перемещения – 0,007мм.

На рис. 6 (в) при вышеуказанных нагрузках деформации трака практически не наблюдается.

А на рис. 6 (г) видно, что коэффициент запаса прочности составил 35. Это указывает на возможность надежной и безопасной работы гусеничного трака при увеличении внешних нагрузок до 35 раз.

Благодаря данной системе автоматизированного проектирования «SolidWorks» удалось определить

не только места, где конструкции гусеничного трака выдерживают максимальные напряжения при их эксплуатации, но и значения перемещений всех их точек и, самое главное, получилось определить и сравнить их минимальный коэффициент запаса прочности, а затем сделать обоснованный выбор.

Данная конструкция позволяет приблизительно в 2,5 раз больше нагружать гусеничный трак, чем конструкция, применяемая в настоящее время в экскаваторе P&H 4100-XPC.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смагин В.П., Федорко П., Рекорд самого большого экскаватора // Уголь. – 2015. – № 5. – С.88.
2. Pinto Rodrigo. Los pelambres incorporo nuevas palas electricas// Minería chilena. – 2018. – № 6. – С.46.
3. P&H Mining Equipment, Inc. Operator Manual 4100-XPC. 2014. – 393с.
4. Симба В., Голиков И.С. Пути поиска долговечности гусеничного трака одноковшового экскаватора [Электронный ресурс] / Международная

научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. Шухова. – Белгород, 2018.

5. Пат. RU2646712. Траки гусеничной цепи карьерного экскаватора / И.А. Орлов, заявитель и патентообладатель ООО «ИЗ-КАРТЭКС». – № 2016126604; заявл. 01.07.2016; опубл. 06.03.2018. – 9с.

6. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. 448 с.

7. Matt Lombard. Solidworks 2015 Bible. N.Y.: Wiley, 2015. - P. 1296.

8. Пат. US6929335. Траки гусеничной дорожке / Д.Д. Колвелл, Г.Р. Борковски, заявитель и патентообладатель «Харнишфегер». – № 10/7555778; заявл. 12.06.20012; опубл. 14.07.2013. – 6с.

9. Smithells C.J. Metals reference book. LSE: Butterworths, 2013. - P. 1432.

10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: Т 3. -Изд. 9-е. -М.: Машиностроение, 2006. 913с.

**Leonid I. Kantovich**, Dr. Sc.in Engineering, **Victor G. Dmitrienko**, C. Sc, in Engineering, **Evgeny G. Shemetov**, Postgraduate, **Wladimir Simba Navarrete**, student  
V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, 46, street Kostyukova, Belgorod, 308012, Russian Federation

### **DETERMINATION OF STRENGTH OF SPECIFIC RESISTANCE OF TRACKED TRACK OF A CAREER EXCAVATOR 4100-XPC BY USING SOLIDWORKS AUTOMATED DESIGN SYSTEM**

#### **Abstract:**

**The urgency of the discussed issue:** Finding ways to increase the durability of roller path and improving the structure of the drive lugs

**The main aim of the study:** Use of automated computer simulation systems to improve the reliability of the undercarriage equipment of a P&H 4100-XPC electric shovel.

**The methods used in the study:** computer modelling

#### **The results:**

- The analysis of the single-bucket excavator track performance;
- The reasons for the increased wear of the crawler track;
- Static studies were conducted and the strength characteristics of the compared track shoes were determined in the Solid Works automated program;
- The advantage of the track as per patent RU2646712 over the track as per patent US6929335 is shown.

**Keywords:** excavator, undercarriage equipment, crawler shoe, wear, deformation, SolidWorks, strength factor.

**Article info:** received October 01, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-3-10-14

#### REFERENCES

1. Smagin V.P., Fedorko P., Rekord samogo bol'shogo ekskavatora // Ugol'. – 2015. – № 5. – S.88.
2. Pinto Rodrigo. Los pelambres incorporo nuevas palas electricas// Minería chilena. – 2018. – № 6. – S.46.
3. P&H Mining Equipment, Inc. Operator Manual 4100-HRS. 2014. – 393s.
4. Simba V., Golikov I.S. Puti poiska dolgovechnosti gusenichnogo traka odno-kovshovogo ekskavatora [Elektronnyj resurs] / Mezhdunarodnaya nauchno-

tehnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh BGTU im. SHuhova. – Belgorod, 2018.

5. Пат. RU2646712. Траки гусеничной цепи карьерного экскаватора / И.А. Орлов, заявитель и патентообладатель ООО «ИЗ-КАРТЕКС». – № 2016126604; заявл. 01.07.2016; опубл. 06.03.2018. – 9с.

6. Prohorenko V.P. SolidWorks. Prakticheskoe rukovodstvo. M.: ООО «Binom-Press», 2004. 448 s.

7. Matt Lombard. Solidworks 2015 Bible. N.Y.: Wiley, 2015. - P. 1296.

8. Pat. US6929335. Traki gusenichnoj dorozhke / D.D. Kolvell, G.R. Borkovski, za-yavitel' i paten-toobladatel' «Harnishfeger». – № 10/7555778; zayavl. 12.06.20012; opubl. 14.07.2013. – 6s.

9. Smithells C.J. Metals reference book. LSE: butter-worths, 2013. - P. 1432.

10. Anur'ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya: T 3. -Izd. 9-e. -M.: Mashinostroenie, 2006. 913s.

#### **Библиографическое описание статьи**

Леонид И.К., Виктор Г.Д., Шеметов Е.Г., Симба Н.В. Определение коэффициента запаса прочности гусеничного трака карьерного экскаватора 4100-хрс с помощью системы автоматизированного проектирования «SOLIDWORKS» // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 4 (144). – С. 10-14.

#### **Reference to article**

Kantovich L.I., Dmitrienko V.G., Shemetov E.G., Navarrete W.S. Determination of strength of specific resistance of tracked track of a career excavator 4100-хрс by using SOLIDWORKS automated design system. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 4 (144), pp. 10-14.