

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-41-38-42>

ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА НЕДОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ТРАКОВ ГУСЕНИЦ ЭКСКАВАТОРОВ ЭКГ БОЛЬШОЙ МАССЫ

Печко Г.Е., Болобов В.И.

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия*

Ключевые слова: сталь 110Г13Л, усталостное разрушение, вытяжка, деформация, износ гусеничных траков, карьерные экскаваторы.

Аннотация. В статье рассматривается проблема сокращенного срока службы траков гусениц тяжелых экскаваторов типа ЭКГ в сравнении с экскаваторами меньшей массы. Представлены результаты расчетов, указывающие на причины вытяжки гусениц и недостаточного срока службы траков. Сравнительный анализ показывает, что траки тяжелых экскаваторов сильнее подвержены усталостному разрушению, что объясняет их более ранний выход из строя.

A POSSIBLE REASON FOR THE INSUFFICIENT SERVICE LIFE OF EXCAVATOR CRAWLER TRACKS ON LARGE EKG TYPE EXCAVATORS

Pechko G.E., Bolobov V.I.

*Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg,
Russia*

Keywords: hadfield steel, fatigue failure, stretching, deformation, wear of crawler tracks, quarry excavators.

Abstract. The article addresses the issue of reduced service life of track chains of heavy excavators of the EKG type compared to lighter excavators. The results of calculations are presented, indicating the causes of track chain elongation and insufficient service life. Comparative analysis shows that track chains of heavy excavators are more susceptible to fatigue failure, explaining their earlier failure.

Введение

Как известно из практики эксплуатации экскаваторов типа ЭКГ, срок службы траков гусениц тяжелых экскаваторов существенно уступает срокам службы траков экскаваторов меньшей массы. С другой стороны, сообщается [1], что в процессе эксплуатации экскаваторов такого типа, их гусеницы подвергаются существенной вытяжке, причиной которой является изнашивание траков гусениц. Результаты расчетов, приведенные в настоящей статье, позволяют сделать вывод о другой причине вытяжке гусениц и предложить объяснение недостаточного срока службы траков тяжелых экскаваторов.

Расчет возникающих контактных напряжений

При работе экскаваторов, их весовая нагрузка через опорные колеса передается на дорожки качения траков гусениц, что вызывает появление значительных контактных напряжений в поверхностных слоях металла их

дорожек. При превышении этими напряжениями значения предела текучести использованного материала поверхностный слой дорожек способен пластически деформироваться с увеличением общей длины дорожки и, как следствие, трака и всей гусеницы.

Расчет контактных напряжений, возникающих в поверхностном слое дорожек траков гусениц экскаваторов различной массы, производился по формуле Герца для линейного контакта [2, 3]:

$$\sigma_n = \frac{0,418\sqrt{FE}}{\sqrt{lR}},$$

где F – нормальная сила в контакте, Н; E – приведенный модуль упругости, рассчитываемый по формуле $E = E_1 \cdot E_2 / (E_1 + E_2) = 213$ ГПа при $E_1 = 215$ ГПа, $E_2 = 210$ ГПа; l – длина линии контакта (ширина колеса), м; R – радиус колеса, м.

В таблице 1 представлены параметры экскаваторов линейки ЭКГ малой, средней и большой массы, их весовая нагрузка, число опорных колес, их ширина и радиус, необходимые для расчета возникающих контактных напряжений в материале дорожек. Там же приведены полученные значения напряжений, возникающих в месте контакта колеса с дорожкой.

Табл. 1. Необходимые для расчетов параметры экскаваторов и расчетные значения возникающих контактных напряжений

Модель экскаватора	Масса экскаватора, $M_э$, кг	Масса с учетом весовой нагрузки, $M_э$, кг	Число опорных колес, N , шт.	Нагрузка на колесо, F , Н	Радиус колеса, R , м	Ширина колеса, l , м	σ_n , МПа (кгс/мм ²)
ЭКГ-10	$410 \cdot 10^3$	$428 \cdot 10^3$	4	$356,7 \cdot 10^3$	0,69	0,185	323 (32,9)
			4		0,675		326 (33,2)
			4		0,48		386 (39,4)
ЭКГ-20К	$770 \cdot 10^3$	$808 \cdot 10^3$	2	$448,9 \cdot 10^3$	0,795	0,220	309 (31,5)
			2		0,52		382 (40,0)
			14		0,47		402 (41,0)
ЭКГ-32Р	$1030 \cdot 10^3$	$1088 \cdot 10^3$	2	$604,4 \cdot 10^3$	0,9	0,250	316(32,2)
			2		0,55		405 (41,3)
			14		0,485		431 (44,0)

Видно, что возникающие напряжения возрастают по мере увеличения массы экскаватора и для всех экскаваторов они превышают предел текучести используемого материала дорожек качения (для стали 110Г13Л $\sigma_{0,2} = 360$ МПа [4], 330 МПа [5]).

Оценка величины относительной деформации ε , получаемой материалом дорожки качения, производилась с использованием диаграммы (рис. 1) из [5].

Как следует из вида зависимости (рис. 1) при контактных напряжениях, развиваемых в материале дорожек качения траков гусениц экскаваторов (от 323 до 431 МПа), относительная деформация дорожек изменяется от 1 до 4 процентов, из которых для экскаваторов большой массы от 0,6 до 4,5 процентов приходится на остаточную деформацию $\varepsilon_{ост}$ при $\sigma_n > \sigma_{0,2}$.

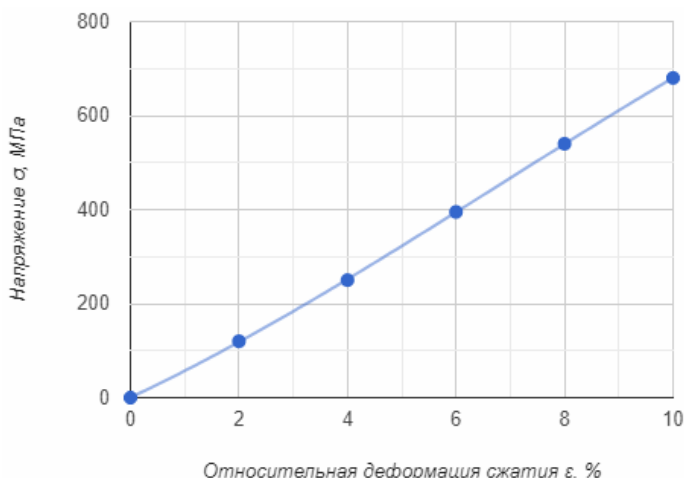


Рис. 1. Зависимость напряжения от величины относительной деформации получаемой образцом марганцевой стали 110Г13Л при сжатии [5]

Величины абсолютного удлинения траков Δl_{mp} , вызванного пластической деформацией их материала, рассчитанные по формуле:

$$\Delta l_{mp} = \epsilon_{ост} \cdot l_k,$$

где l_k – длина дорожки качения трака, представлены в таблице 2. Там же приведены значения общего увеличения длины всей гусеницы экскаваторов:

$$\Delta l_z = \Delta l_{mp} \cdot N_{mp},$$

где N_{mp} – число траков в составе гусеницы.

Табл. 2. Изменение длины траков и гусениц экскаваторов вследствие пластической деформации их металла без учета усилия копания.

Модель экскаватора	σ_{max} , МПа	$\epsilon_{ост}$, %	l_k , мм	Δl_{mp} , мм	N_{mp}	Δl_z , мм
ЭКГ-10	386	0,12	510	0,6	38	23
ЭКГ-20К	402	0,53	415	2,2	49	108
ЭКГ-32Р	431	0,98	455	4,5	49	221

Видно, что в процессе эксплуатации траки и, как следствие вся гусеница подвергаются значительному удлинению вследствие пластической деформации их металла из-за возникающих контактных напряжений. По этой причине, как показывает практика эксплуатации через какое-то время сначала работы гусениц, их укорачивают, снимая один из траков.

Известно, что воздействие напряжений на трак в процессе эксплуатации носит циклический характер, вследствие чего материал трака способен подвергаться усталостному разрушению, число циклов до которого убывает по мере возникающих напряжений в соответствии с кривой Веллера материала трака. Ниже приведен расчет сравнительного числа указанных циклов для траков легкого и тяжелого экскаватора, исходя из максимальных контактных напряжений, возникающих в их поверхностных слоях. При отсутствии кривой Веллера для стали 110Г13Л, автор воспользовался

соответствующей кривой для другой аустенитной стали, а именно, стали 08X18H10T (рис. 2) [6]. (Здесь 650 МПа – условный предел прочности стали)

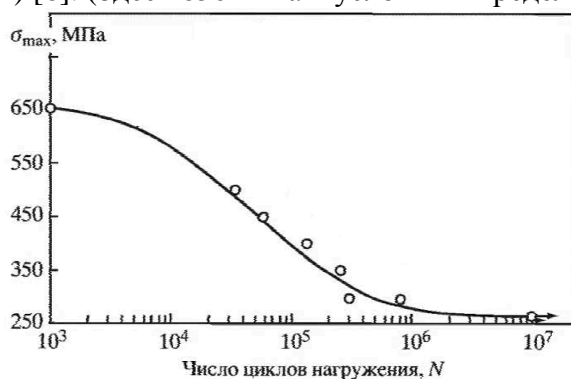


Рис. 2. Кривая усталости аустенитной стали 08X18H10T [6]

Сравнительный анализ производился следующим способом: устанавливались доли контактных напряжений σ_{max} в пределе прочности стали 110Г13Л (~700 МПа [4]) для экскаваторов ЭКГ-10 и ЭКГ-32Р, которые оказались равными 0,55 и 0,62 соответственно. Затем рассчитывались напряжения σ_{max} для стали 08X18H10T, соответствующие указанным долям (358 и 403 МПа), по которым, в соответствии с кривой Веллера (рис. 2) устанавливалось число циклов до разрушения. Оказалось, что в случае легкого экскаватора это число составляет $1,6 \cdot 10^5$ циклов, а тяжелого только $0,9 \cdot 10^5$ циклов, что почти в 2 раза меньше. По этой причине поверхностный слой траков тяжелого экскаватора будет подвергаться усталостному разрушению в виде выкрашивания с существенно большей скоростью, что может привести к более раннему разрушению всего трака.

Выводы по работе

1. Как показано расчетами, в процессе эксплуатации экскаваторов типа ЭКГ поверхностный слой материала их траков подвергается значительным контактным напряжениям, превышающим предел текучести использованного материала (сталь 110Г13Л) и возрастающим от легкого (ЭКГ-10) к тяжелому (ЭКГ-32Р) экскаватору.

2. В соответствие с расчетом, наличие указанных контактных напряжений приводит к значительной остаточной деформации поверхностного слоя траков, возрастающей с повышением массы экскаватора, и их удлинению. Такой вывод подтверждается практикой эксплуатации экскаваторов, у которых после обкатки наблюдается удлинение гусениц и для их укорочения проводится операция снятия одного или нескольких звеньев.

3. Как показал сравнительный анализ, число циклов до усталостного разрушения поверхностного слоя материала траков тяжелого экскаватора ЭКГ-32Р примерно в 2 раза меньше, чем в случае легкого экскаватора ЭКГ-10, что может служить причиной, наблюдаемого на практике, более раннего выхода из строя траков тяжелых экскаваторов.

Список литературы

1. Михайлов К.В., Андроник Н.Н., Ратушный Н.Г., Дмитриенко В.Г. Разработка предложения для модернизации трака гусеничного экскаватора ЭКГ-18 // Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Организация и безопасность движения: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. – Белгород: БГТУ, 2022. – Ч. 9. – С. 215-221.
2. Иванов А.С. Конструируем машины. Шаг за шагом. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 328 с.
3. Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
4. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А., Гервасьев М.А., Гредитор М.А., Крылова К.М., Кубачек В.В., Мирмельштейн В.А. Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
5. Марганцовистая сталь / Под ред. М.Е. Блантера. – М.: Metallurgizdat, 1959. – 94 с.
6. Терентьев В.Ф., Кorableва С.А. Усталость металлов – М.: Наука, 2015. – 484 с.

References

1. Mikhailov K.V., Andronik N.N., Ratushny N.G., Dmitrienko V.G. Development of Proposal for Modernization of Track of Crawler Excavator EKG-18 // Efficient Materials, Technologies, Machinery, and Equipment for Construction of Modern Transport Structures. Traffic Organization and Safety: International Scientific and Technical Conference of Young Scientists at BSTU named after V.G. Shukhov, Dedicated to the 300th Anniversary of the Russian Academy of Sciences. – Belgorod: BSTU, 2022. – Part 9. – P. 215-221.
2. Ivanov A.S. Designing Machines. Step by Step. – M.: Bauman Moscow State Technical University Publishing House, 2003. – 328 p.
3. Ivanov M.N. Machine Parts: Textbook for University Students. – M.: Higher School Publishing, 2000. – 383 p.
4. Sorokin V.G., Volosnikova A.V., Vyatkin S.A., Gervasyev M.A., Greditor, M.A., Krylova K.M., Kubachek V.V., Mirmelstein V.A. Handbook of Steels and Alloys. – M.: Mechanical Engineering, 1989. – 640 p.
5. Manganese Steel / Ed. by M.E. Blanter. – M.: Metallurgizdat, 1959. – 94 p.
6. Terentyev V.F., Korableva S.A. Fatigue of Metals. – M.: Science, 2015. – 484 p.

Печко Георгий Евгеньевич – студент	Pechko Georgii Evgenevich – student
Болобов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения	Bolobov Victor Ivanovich – doctor of technical sciences, professor, professor of Department of mechanical engineering
xeorheos@mail.ru	

Received 12.04.2024