

УДК 630.377.44

UDC 630.377.44

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**СРОК СЛУЖБЫ ОПОРНЫХ КАТКОВ
ГУСЕНИЧНЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ
МАШИН****SERVICE LIFE OF THE SUPPORT ROLLERS
OF TRACKED TIMBER HARVESTING
MACHINES**

Клубничкин Евгений Евгеньевич
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 8158-0700

Klubnichkin Evgeny Evgenevich
Candidate of Technical Science, associate professor
SPIN-code: 8158-0700

Клубничкин Владислав Евгеньевич
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 6060-7794

Klubnichkin Vladislav Evgenyevich
Candidate of Technical Science, associate professor
RSCI SPIN-code: 6060-7794

vkclubnichkin@mgul.ac.ru

*Московский государственный университет леса,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, 1-
я Институтская ул., 1*

*Moscow State Forest University, Russia, Moscow
region, Mytischki, 1st Institutskaya street, 1*

В условиях жесткого диктата экономических факторов определение срока службы конструктивных элементов гусеничных лесозаготовительных машин (ГЛЗМ), в том числе опорных катков, становится важной проблемой для компаний изготовителей и компаний потребителей машин. При этом необходимо соблюсти оптимальное соотношение между первоначальной стоимостью опорных катков и расходами их жизненного цикла на техническое обслуживание и ремонт в течение всего срока службы. Лесозаготовительные машины работают в тяжелых природно-производственных условиях, в процессе эксплуатации на их пути регулярно встречаются различного рода препятствия в виде пней, камней, поваленных деревьев и т.д., которые в свою очередь негативно влияют на срок службы опорных катков. В данной статье были проведены исследования по сроку службы опорных катков гусеничных лесозаготовительных машин. Описываются основные виды дефектов опорных катков такие, как дефекты связанные с эксплуатацией; механического и термического происхождения, а также внутренние и динамические. Приведены факторы влияющие на износ опорных катков. Представлена модель определения срока службы опорных катков, в которой в общем случае может быть применен следующий принцип. Срок службы опорного катка определяется его полным допустимым эксплуатационным износом, деленным на фактический коэффициент для данного катка и условий эксплуатации

Due to strict economical factors, determining a service life of the structural components of a tracked timber-harvesting machine (TTHM), including the support rollers becomes a key issue for the manufacturers and customers. With that, optimum relationship between the original cost of the support rollers and their life cycle cost for maintenance and repair during the entire service life shall be observed. The timber harvesting machines are operated under severe environmental and production conditions. In the course of operation, they meet variable obstacle, including stumps, stones, fallen trees, etc., which in their turn affect negatively the service life of the support rollers. This article offers a research of the service life of the tracked timber harvesting machine support rollers. It describes main defects of the support rollers, including operational, mechanical and thermal ones, as well as embedded flaws and dynamic defects. It also presents the factors affecting the support rollers' wear. The article presents a service life-determining model where the following principle can be generally applied. Service life of a support roller is determined by its admissible operational wear-out divided by actual factor for this support roller and operational conditions

Ключевые слова: ХОДОВАЯ СИСТЕМА,
ОПОРНЫЕ КАТКИ, СРОК СЛУЖБЫ,
ГУСЕНИЧНАЯ МАШИНА, ДЕФЕКТ, ИЗНОС

Keywords: SUSPENSION SYSTEMS, TRACK
ROLLERS, DURABILITY, TRACKED
VEHICLES, DEFECT, DEPRECIATION

Опорные катки, смонтированные на каретках, взаимодействуют с гусеницами и почвой, образуя таким образом пары трения каток - гусеница и каток – почва [1,8]. Но, как правило, независимо от эксплуатационных условий определяющим является аспект качения катка по гусенице.

Опорные катки выполняют ряд функций, важных с точки зрения движения машин:

- восприятие нагрузок от рамы и технологического оборудования гусеничной лесозаготовительной машины.
- передают на почву вес машины.
- Направляют движение гусеничной лесозаготовительной машины по гусеничной цепи.

На рисунке 1 представлен общий вид объекта исследования (ходовой системы) ГЛЗМ на базе тракторов семейства Алтайского тракторного завода (АТЗ) [10].



Рисунок 1. Общий вид объекта исследования ходовая система ГЛЗМ на базе тракторов семейства АТЗ

Износ опорных катков, в общем виде определяемый через уменьшение толщины обода, можно рассматривать как результат прерывистого процесса, включающего этапы «чистого» эксплуатационного износа и репрофилирования (обточки) [15].

Регулярный износ в эксплуатации обычно небольшой и составляет 1 - 3 мм на 6 тысяч машино-часов а общий достигает 3 - 7 мм на 9 тысяч машино-часов.

Иногда встречаются дефекты опорных катков такие как:

- дефекты связанные с эксплуатацией;
- механического происхождения;
- внутренние;
- термические;
- динамические.

К дефектам связанных с эксплуатацией относится неравномерный износ, кольцеобразные выработки от взаимодействия с почвой, ползуны и т. п. [12,13] Неравномерный износ связан с потерей сцепления между опорными катками и гусеницей. Он сопровождается металлургическими преобразованиями, которые могут за счет нагрузок приводить к появлению трещин и выщербин на поверхности катания. На рисунке 2 представлен опорный каток ГЛЗМ семейства АТЗ с явными признаками износа.



Рисунок 2. Опорный каток ГЛЗМ семейства АТЗ с явными признаками износа

Дефекты механического происхождения, связанные с воздействием на опорный каток динамических нагрузок, в их число входят пластические деформации при наезде на единичные препятствия, расслоение металла, качении (прокат, выдавливание металла наружу), трещины, повреждения усталостного происхождения в зоне контакта опорного катка с гусеницей [1,2,5,14].

Расслоение металла характеризуется общей деградацией поверхности катания в противоположность неравномерному износу или выщербинам, которые появляются в отдельных зонах. Данные дефекты в основном связаны с неправильным соотношением между механическими характеристиками катковой стали и действующими нагрузками, обычно к таким дефектам относят выкрашивание и раковины. Выкрашивание получается вследствие проскальзывания катка по гусенице, из-за чего на поверхности катания опорного катка возникают высокие температуры, а раковины определяются потерей металла в результате воздействия усталостных контактных нагрузок. Наиболее частыми при контакте опорного катка с гусеницей являются повреждения усталостного происхождения. За последние 25 лет цикличность технического содержания и срок службы опорных катков постепенно увеличивались.

Небольшими трещинами, распространяющимися приблизительно на 10 мм вглубь металла от поверхности катания характеризуются усталостные дефекты.

Немногочисленными как правило являются внутренние дефекты, они случаются примерно у одного из 10 тыс. катков, но они могут привести к последствиям катастрофического характера [9]. Трещины появляются в 15 - 20 мм под поверхностью катания в зоне посторонних включений типа алюминатов. По происхождению данные дефекты металлургические, но возникают и развиваются под действием циклических нагрузок. Глубина возникновения дефектов не соответствует местоположению

максимальных напряжений среза по Герцу, которые находятся на уровне 5 - 6 мм. Распространяются дефекты параллельно поверхности качения под действием усталости и заканчиваются на наружной поверхности опорного катка. Развитие трещины внутрь иногда приводит к отколу от 150 до 250 мм поверхности опорного катка, что приводит к ухудшению направляющих функций катков. Другой фактор связан с наличием водорода в стали, он тоже может быть причиной возникновения трещин. В металлургической промышленности реализуются технологии дегазации стали в вакууме, которая способствует сокращению количества дефектов, возникающих от наличия водорода в стали.

Образование раковин связано с перераспределением температурных полей, возникающих на ободке катка в наиболее слабых его зонах под воздействием трения. Основное различие между термическими трещинами и прямолинейными, направленными параллельно оси опорного катка, заключается в том, что прямолинейные – грубые более многочисленные и образуются в зоне поверхности катания опорного катка. Термические раковины в основном возникают на наружной угловой грани обода, в зоне наиболее подверженной к термическим воздействиям. Данный эффект усиливается из-за содержания углерода в стали. Термические раковины могут привести к образованию радиальных трещин, сдвигу металла и, как следствие, выходу из строя опорных катков и гусеницы [11]. Это приводит к созданию концепции опорных катков с низкими напряжениями и ужесточению требований к остаточным напряжениям и контролю прочности стали в ходе эксплуатации.

Дефекты в виде трещин обычно неглубокие и распространяются примерно на 3 - 4 мм. Трещины появляются под поверхностью катания радиально и затем с наклоном 45 град, причем обычно соединяются с другими трещинами. В таких случаях можно говорить о сколах на

поверхности катания опорного катка. Данные дефекты связаны с изменением полей напряжений в результате остаточного нагрева поверхности материала.

Динамические дефекты связаны с искажением геометрии в контакте опорного катка с гусеницей. Механический износ происходит в результате присутствия инородного тела между опорным катком и гусеницей или коррозии, что приводит к изменению параметров контакта [4,6]. Также на контактирующие тела существенное влияние оказывает конструкция ходовой системы и условия движения машины [16,17,18]. К сокращению срока службы также приводит искажение профиля. Ремонт и своевременное техническое обслуживание опорных катков позволяет восстановить первоначальный профиль.

Следует отметить, что классификация дефектов по категориям из-за взаимозависимости их происхождения является непростым делом. К примеру, термические дефекты приводят к деградации опорных катков под действием нагрузок механического характера соответственно их можно классифицировать по данной последней категории.

Около 58 % всего числа опорных катков гусеничных лесозаготовительных машин заменяют из-за естественного износа, остальные 42 % по техническим причинам из них 27 % в результате искажения геометрии и 15 % по выщербинам, при этом доля внутренних дефектов ничтожно мала.

Применение средне и малоуглеродистых сталей с содержанием углерода 0,22 % и слегка легированных хромом, кремнием и магнием позволяет ограничить формирование мартенсита. За счет этого происходит увеличение срока работы ходовой системы в 3 раза [3].

В среднем срок службы опорных катков гусеничных лесозаготовительных машин составляет в пределах от 10 до 20 тыс. м.ч. в зависимости от условий эксплуатации.

Специалисты отмечают, что при использовании одной и той же гусеничной лесозаготовительной машины на горных и равнинных профилях интервал между ремонтами её опорных катков составляет 10 тыс. м.ч. в первом случае и 20 тыс. м.ч. во втором.

Аналогично на срок службы опорных катков, а также гусениц может влиять твердость стали. В настоящее время исследуется целесообразность использования гусениц, термообработанных до твердости 1000 и 1300 МПа.

Существуют устройства для смазывания узлов ходовой системы, применение которых позволяет в большинстве случаев ожидать увеличения срока службы опорных катков до 2 раз, но данные устройства встречаются крайне редко на машинах подобного типа [7]. В случае использования консистентной смазки интенсивность износа опорных катков из высокотвердой стали снижается в 5 раз, а гусениц в 10 раз.

Срок службы и твердость опорных катков связаны зависимостью $0,991^{H1-H2}$, где величины твердости $H1$ и $H2$ соответствуют двум контактирующим телам. В результате при снижении твердости на 1 НВ износ увеличивается на 1 % и наоборот. Это может объяснить тот факт, что характеристики износа опорных катков гусеничных лесозаготовительных машин изготовленных из легированной стали, обработанной до твердости 363 и 401 НВ и используемых при тяжелых нагруженных режимах в отдельных случаях обеспечивают срок службы до 25 тыс. м.ч.

Необходимо также учитывать термические нагрузки, особенно при длительной работе машины на режимах трелевки леса.

Определяющим характеристики по сцеплению является фактор трения, он имеет первостепенное значение для опорных катков гусеничных лесозаготовительных машин. Трение является одной из основных причиной развития напряжений среза под поверхностью катания опорного катка.

На основании изложенного можно сделать вывод: срок службы опорных катков гусеничных лесозаготовительных машин дискретен и

характеризуется сильной дисперсностью, что при создании модели для его определения требует осторожности.

Следующий принцип может быть применен для общего случая. Срок службы опорного катка определяется его полным допустимым эксплуатационным износом в результате уменьшения диаметра по кругу катания и образования зазоров в подшипниках, деленным на фактический коэффициент для данного опорного катка и условий эксплуатации. На гусеничных лесозаготовительных машинах полный допустимый износ, составляющий от 25 до 35 мм, включает «чистый» износ в результате взаимодействия опорных катков, гусеницы и почвы. Значение коэффициента α зависит от геометрических параметров опорных катков, термообработки, структуры и твердости металла из которых они изготавливаются, от типа и геометрических параметров почвы, особенно профиля пути, а также от динамических и конструктивных характеристик гусеничной лесозаготовительной машины.

Это можно выразить

$$DRV = \sum (PU - DEF_i) / \alpha$$

где DRV - срок службы опорного катка по пробегу, км; PU - допустимый износ, мм; DEF - снятие металла при трении, мм.

Следует, иметь в виду, что значение коэффициента α может изменяться по мере нарастания износа. Кроме того, достоверность модели зависит во многом от наличия обширной базы данных по опорным каткам. Как полагают после накопления информации в течение 3 - 4 лет по гусеничным лесозаготовительным машинам она может дать удовлетворительные результаты.

Срок службы в основном подчиняется закону Гаусса, так как является дисперсной функцией. Его расчеты позволяют определить верхнюю и нижнюю границы. Целевое распределение катков по сроку службы можно получить, используя нормальное распределение.

Заключение

Можно констатировать, что наблюдавшиеся в 1980 - 1990-х годах дефекты опорных катков гусеничных лесозаготовительных машин, сохранились и по сей день. Между тем за прошедшие 25 лет положительным фактором является уменьшение общего числа дефектов и снижение их степени серьезности благодаря мерам, предпринимаемым эксплуатационниками и изготовителями техники.

Также заметна тенденция в сторону снижения затрат жизненного цикла опорных катков, в сторону увеличения доли «чистого» эксплуатационного износа и увеличение их срока службы. Однако следует иметь в виду, что фактор накопления в опорных катках усталостных напряжений, может повысить степень риска с точки зрения надёжности гусеничных лесозаготовительных машин. К тому же нецелесообразно связывать срок службы опорных катков и межремонтные интервалы с аналогичными показателями других элементов ходовой системы гусеничных лесозаготовительных машин.

Литература

1. Бухтояров Л.Д. Исследование кинематики и динамики движителя гусеничной лесозаготовительной машины. / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Л.Д. Бухтояров // Лесотехнический журнал. – 2014. - №4. – С. 179-190.
2. Rakheja S., Afonso M.F.R. and Sankar S. Dynamic analysis of tracked vehicles with trailing arm suspension and assessment of ride vibrations. International Journal of Vehicle Design, Vol.13, No.1. 1992.
3. Анисимов Г.М. Основные направления повышения эксплуатационной эффективности гусеничных трелевочных тракторов. / Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев // СПб.: изд-во СПбГПУ, 2007. 456с.
4. Клубничкин Е.Е. Определение нагруженности ходовой системы многооперационной лесосечной машины / Е.Е. Клубничкин, В.А. Макуев, В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – №3. – С. 175 – 177.
5. Клубничкин В.Е. Оценка влияния внешних условий на лесозаготовительные машины / В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – №6. – С. 119 – 123.
6. Котиков В.М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы. / В.М. Котиков // Диссертация доктора технических наук. – М.: МЛТИ, 1995. - 214 с.

7. Wong J.Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, 2nd Edition. 2009. Pages 488.
8. Bekker M.G., Introduction to Terrain-Vehicle Systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor. 1969.
9. Ксенович, И.П. Наземные тягово-транспортные системы Том 3. / И.П. Ксенович, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Энциклопедия. – М.: Машиностроение, 2003. – 788 с.
10. Котиков В.М. Лесозаготовительные и трелевочные машины / В.М. Котиков, Н.С. Еремеев, А.В. Ерхов.– М.: Лесная промышленность, 2004. – 336с.
11. Bodin A. Development of a tracked vehicle to study the influence of vehicle parameters on tractive performance in soft terrain. Journal of Terramechanics, Vol. 36, Issue 3, S. 167–181. 1999.
12. Котиков В.М. Долговечность ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины [Текст] / В. М. Котиков, Е. Е. Клубничкин // Тракторы и сельхозмашины. – 2008. – № 5. – С. 46-47.
13. Бартнев И. М. Нагрузки движителей лесных машин на почву [Текст] / И. М. Бартнев // Дерево.ру. – 2013. – № 1. – С. 60-62.
14. Клубничкин Е.Е. Повышение долговечности ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины [Текст]: автореф. ...канд. техн. наук / Е. Е. Клубничкин. – Москва: Моск. гос. ун-т леса, 2008. – 18 с.
15. Назаренко А.С. Техническая эксплуатация и сервис транспортных и технологических машин и оборудования лесопромышленных предприятий [Текст]: учеб. пособие для студентов / А. С. Назаренко, В. В. Быков, А. Ю. Тесовский ; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Моск. гос. ун-т леса", 2005. – 153 с.
16. Клубничкин Е.Е. Конечно-элементное моделирование ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины / Е.Е. Клубничкин // Автомобильная промышленность. №2. 2009. С. 29-30.
17. Клубничкин Е.Е. К обоснованию удельного давления гусеничного лесопромышленного трактора [Текст] / Е.Е. Клубничкин, В.Е. Клубничкин, В.М. Крылов, Д.В. Кондратьев // Лесной вестник. №8. 2012. С. 48-51.
18. Клубничкин Е.Е. Изменение длины опорно-активных участков движителя гусеничной лесозаготовительной машины с учетом режимов нагружения [Текст] / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин, Ю. В. Башкирцев, В. М. Крылов // Лесной вестник. – 2013. – № 2 (94). – С. 119-120.

References

1. Buhtojarov L.D. Issledovanie kinematiki i dinamiki dvizhitelja gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny./ V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, L.D. Buhtojarov // Lesotekhnicheskij zhurnal. – 2014. - №4. – S. 179-190.
2. Rakheja S., Afonso M.F.R. and Sankar S. Dynamic analysis of tracked vehicles with trailing arm suspension and assessment of ride vibrations. International Journal of Vehicle Design, Vol.13, No.1. 1992.
3. Anisimov G.M. Osnovnye napravlenija povyshenija jekspluatacionnoj jeffektivnosti gusenichnyh trelevocznyh traktorov. / G.M. Anisimov, A.M. Kochnev // SPb.: izd-vo SPbGPU, 2007. 456s.
4. Klubnichkin E.E. Opredelenie nagruzhennosti hodovoj sistemy mnogooperacionnoj lesosechnoj mashiny / E.E. Klubnichkin, V.A. Makuev, V.E. Klubnichkin // Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik. – 2013. – №3. – S. 175 – 177.

5. Klubnichkin V.E. Ocenka vlijanija vneshnih uslovij na lesozagotovitel'nye mashiny / V.E. Klubnichkin // Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik. – 2010. – №6. – S. 119 – 123.
6. Kotikov V.M. Vozdejstvie lesozagotovitel'nyh mashin na lesnye pochvy. / V.M. Kotikov // Dissertacija doktora tehniceskikh nauk. – M.: MLTI, 1995. - 214 s.
7. Wong J.Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, 2nd Edition. 2009. Pages 488.
8. Bekker M.G., Introduction to Terrain-Vehicle Systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor. 1969.
9. Ksenevich, I.P. Nazemnye tjagovo-transportnye sistemy Tom 3. / I.P. Ksenevich, V.A. Goberman, L.A. Goberman. Jenciklopedija. – M.: Mashinostroenie, 2003. – 788 s.
10. Kotikov V.M. Lesozagotovitel'nye i trelevochnye mashiny / V.M. Kotikov, N.S. Eremeev, A.V. Erhov.– M.: Lesnaja promyshlennost', 2004. – 336s.
11. Bodin A. Development of a tracked vehicle to study the influence of vehicle parameters on tractive performance in soft terrain. Journal of Terramechanics, Vol. 36, Issue 3, S. 167–181. 1999.
12. Kotikov V.M. Dolgovechnost' hodovoj sistemy gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny [Tekst] / V. M. Kotikov, E. E. Klubnichkin // Traktory i sel'hozmashiny. – 2008. – № 5. – S. 46-47.
13. Bartenev I. M. Nagruzki dvizhitelej lesnyh mashin na pochvu [Tekst] / I. M. Bartenev // Derevo.ru. – 2013. – № 1. – S. 60-62.
14. Klubnichkin E.E. Povyshenie dolgovechnosti hodovoj sistemy gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny [Tekst]: avtoref. ...kand. tehn. nauk / E. E. Klubnichkin. – Moskva: Mosk. gos. un-t lesa, 2008. – 18 s.
15. Nazarenko A.S. Tehniceskaja jekspluatacija i servis transportnyh i tehnologiceskih mashin i oborudovanija lesopromyshlennyh predpriyatij [Tekst]: ucheb. posobie dlja studentov / A. S. Nazarenko, V. V. Bykov, A. Ju. Tesovskij ; Gos. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovanija "Mosk. gos. un-t lesa", 2005. – 153 s.
16. Klubnichkin E.E. Konechno-jelementnoe modelirovanie hodovoj sistemy gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny / E.E. Klubnichkin // Avtomobil'naja promyshlennost'. №2. 2009. S. 29-30.
17. Klubnichkin E.E. K obosnovaniju udel'nogo davlenija gusenichnogo lesopromyshlennogo traktora [Tekst] / E.E. Klubnichkin, V.E. Klubnichkin, V.M. Krylov, D.V. Kondratjuk // Lesnoj vestnik. №8. 2012. S. 48-51.
18. Klubnichkin E.E. Izmenenie dliny oporno-aktivnyh uchastkov dvizhitelja gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny s uchetom rezhimov nagruzenija [Tekst] / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin, Ju. V. Bashkircev, V. M. Krylov // Lesnoj vestnik. – 2013. – № 2 (94). – S. 119-120.