

Wheeled Skidder Using Data from Foreign Colleagues] // Aktualnye napravleniia nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriia i praktika. 2015. T. 3. № 1 (12). pp. 223-228. (InRuss.)

20. Kochnev A., Khitrov E. Theoretical models for rut depth evaluation after a forestry machine's wheel Passover // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings. 2018. pp. 1005-1012.

21. Kalistratov A.V., Ivanov V.A., Korotkov R.K., Khitrov E.G., Grigorev G.V. Issledovanie koeffitsienta filtratsii lesnoi pochvy (sluchai dernovo-podzolistoi pochvy) [Investigation of the filtration coefficient of forest soil (case of soddy-podzolic soil)] // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2014. № 2 (22). pp. 190-193. (InRuss.)

22. Grigorev I.V., Nikiforova A.I., Pelymskii A.A., Khitrov E.G., Khakhina A.M. Eksperimentalnoe opredelenie vremeni relaksatsii napriazhenii lesnogo grunta [Experimental determination of the stress relaxation time of the forest soil] // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 8 (137). pp. 77-80. (InRuss.).

© **Do Tuan Anh** - lecturer, Vietnam National Forestry University, e-mail: anhdo.dhln@gmail.com; **Zlobina N.I.** – Senior Lecturer of the Department of Organization of Transportation and Traffic Safety, VGLTU named after G.F. Morozov, e-mail: natasha_boichka@mail.ru; **Kalyashov V.A.** – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics Department, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbSUATU), e-mail: vit832@yandex.ru; **Novgorodov D.V.** – Postgraduate student, Arctic State Agrotechnological University (ASATU), e-mail: novgorodov_dulus@mail.ru; **Grigorieva O.I.** – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry Technology, SPbSFU, e-mail: grigoreva_o@list.ru; **Khitrov E.G.** – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor of the Department of Forestry Technology, SPbSFU, e-mail: yegorkhitrov@gmail.com.

УДК 625.852

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН

О.М. Тимохова, И.Н. Кручинин, О.Н. Бурмистрова, Я.И. Абрамов

Рассмотрены основные проблемы по повышению надежности деталей лесных машин путем контроля качества использования восстановленных деталей. Для восстановленных деталей характерно использование режимов приработки поверхностей. Разнообразие условий работы отдельных узлов машин предопределяет различное влияние режимов работы машины на их износ. Изнашивание любых узлов машины зависит от сочетания материалов, конструктивных особенностей пар трения и режимов работы, непосредственно обуславливающих изменения, как в материале, так и в геометрическом очертании поверхностей. Это вызывает значительные осложнения при эксплуатации лесных машин. Опыт эксплуатации лесных машин показывает, что трудоемкость их технического обслуживания и ремонта достаточно велика. Связано это со сложностью конструкции современных машин и использовании не всегда качественных и оригинальных запасных частей. Этот фактор напрямую влияет на надежность лесных машин. Таким образом, решить проблему позволит соответствующая методика контроля качества восстановленных деталей лесных машин. Целью исследований была разработка требований к системе контроля качества восстановленных деталей лесных машин. В работе рассматривалась задача: разработка требований к повышению надежности лесных машин, использующих восстановленные детали. С момента ввода в эксплуатацию до достижения предельного состояния отдельных узлов машин характер фрикционных связей, разрушение которых вызывает изнашивание деталей, меняется. Результатами работы стала разработка требований к восстанавливаемым деталям. В статье приведена оценка влияния качества восстановления деталей на надежность узлов и агрегатов лесных машин. Необходимо обеспечить уменьшение износа в период приработки сопрягаемых поверхностей деталей. Для этого необходимо проводить контроль: взаимного расположения поверхностей деталей; износа сопрягаемых поверхностей во время всего рабочего цикла; остаточного ресурса невозстанавливаемых поверхностей.

Ключевые слова: лесные машины, надежность, отказ, восстановление.

Введение

Стратегией развития лесного комплекса РФ на период до 2030 г. предусмотрен ряд мероприятий, обеспечивающих ее следующее развитие: внедрение новых, современных технологий лесозаготовительного производства, создание транспортной инфраструктуры лесов; совершенствование правил и нормативов в отношении защиты лесов, внедрение современных машин и оборудования в существующие производства. Эффективность использования и качество функционирования лесных машин определяются уровнем их надежности [1, 3, 15]. В условиях ускоренного обновления модификаций машин возникает необходимость определения и прогнозирования показателей их надежности в кратчайшие сроки. В первую очередь это относится к оценке показателей долговечности и надежности, таких как наработка машины на отказ [4, 12].

Опыт эксплуатации лесных машин показывает, что трудоемкость их технического обслуживания и ремонта достаточно велика. Чаще всего это вызвано конструктивной сложностью самих машин и их узлов. При этом не следует забывать, что зачастую, при ремонтных мероприятиях используются не всегда качественные и оригинальные запасные части [5, 6]. Этот фактор напрямую влияет на надежность восстановленных или капитально отремонтированных лесных машин.

Как было показано в наших исследованиях, для осуществления контроля качества восстановленных деталей необходим целый комплекс организационных, технических и экономических мероприятий. В частности, для решения вопросов обеспечения качества восстановления покрытий деталей строительства необходимо уделять повышенное внимание этапу приработки восстановленных поверхностей [8, 9].

В этой связи, создание новых методов контроля качества восстановленных деталей лесных машин является актуальным направлением исследований, что и определило цель настоящей работы.

Целью исследований была разработка требований к системе контроля качества восстановленных деталей лесных машин. В работе рассматривалась задача: разработка требований к повышению надежности лесных машин, использующих восстановленные детали.

Методы и материалы

Известно, что одним из основных положений теории прогнозирования является положение, заключающееся в том, что вывод об изменении параметра состояния (износа) в будущем делается на основании изучения изменения этого параметра в прошлом [2, 11, 14].

Одним из наиболее критичных факторов, который влияет на качество ремонта и восстановления лесных машин и механизмов, является устранение дефектов, возникающих у корпусных деталей или у базовых деталей, которые связаны с потерей точности по допускам взаимного расположения поверхностей. Чтобы устранить данный недостаток, необходимо восстанавливать детали на предприятиях с помощью современных методов там, где возможно применить более точное, специальное и специализированное оборудование, контрольную оснастку, средства для испытаний и измерений [4, 13].

Используя данные компаний-производителей лесных машин, их дилеров, сайты производителей лесной техники нами были определен круг рассматриваемых узлов и деталей [6, 7, 10].

В результате исследования, в качестве индикатора наиболее нагруженного элемента лесных машин нами был выбран газораспределительный механизм силовых установок, а именно клапанный механизм.

Результаты

Известно, что износ клапанов двигателей лесных машин возникает вследствие нескольких факторов, а именно конструктивных (внутренних) и в большей степени эксплуатационных (внешних).

Конструктивные факторы в постоянных эксплуатационных условиях характеризует кривая (рисунок 1, а), описывающая износ фасок и стержней клапанов.

Ломаная кривая (рисунок 1, б) описывает износ деталей, возникший в результате эксплуатационных факторов. Например, при работе в условиях агрессивных химических сред (тепловых нагрузок) кривая износа проходит по ломанной кривой (рисунок 1, б).

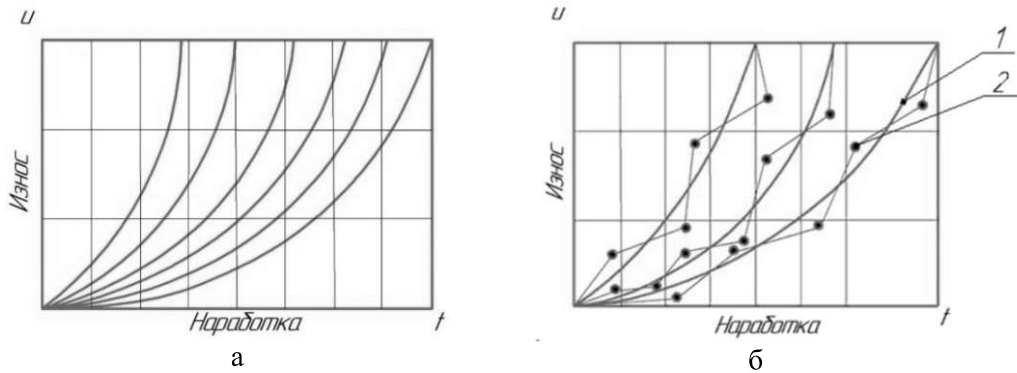


Рис. 1. Изменение величины износа впускных клапанов силового агрегата Caterpillar: 1 – фактическое изменение; 2 – усредненное изменение; а – воздействие конструктивных факторов; б – воздействие эксплуатационных факторов

Таким образом, большие и продолжительные нагрузки ведут к резкому повышению скорости изменения износа.

На графике, представленном на рисунке 2, изображено состояние клапанов с рассеиванием скорости их изменения. Реализация износа некоторых деталей (штриховая линия), при определенном межремонтном периоде t_M предельно изношена или до проведения первого капитального ремонта, или оставлена в эксплуатации с допустимым износом, до проведения следующего капитального ремонта, и допустимым отклонением исследуемого параметра D . Другая партия клапанов, (сплошная линия) заменена при проведении капитального ремонта, так как износ достиг предельного значения.

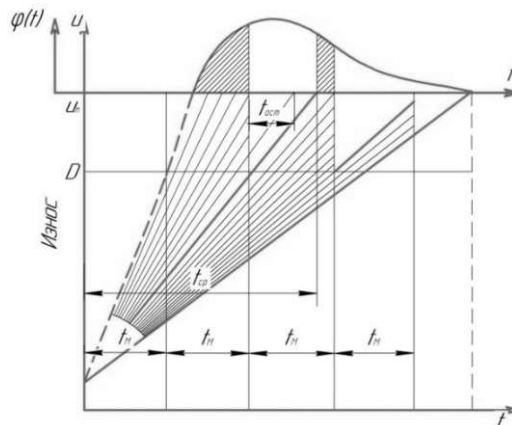


Рис. 2. Состояние впускных клапанов газораспределительного механизма с рассеиванием скорости их изменения

Увеличивающийся износ деталей лесных машин прямо пропорционально увеличивает число отказов в процессе эксплуатации и как следствие повышает расход запчастей при проведении капитального ремонта. Соответственно снижение степени износа ведет к уменьшению числа отказов и снижению расхода запчастей в процессе проведения капитального ремонта. Основная масса вариантов реализации максимальной не добирается до величины U_{II} (рисунок 2 непрерывные линии). Данные типы вариантов останавливают, заранее заменив детали в моменты $t_M, 2t_M, 3t_M$ и т.д. Однако следует учитывать условие, что в результате выполнения измерений в выбранные моменты будет установлено, что реальное отклонение параметра больше чем допустимое D .

Горизонтально располагающаяся снизу U_{II} линия описывает значение данного параметра. Однако в данном случае, наблюдаем снижение вероятности отказа, соответственно увеличивается безотказность детали. При этом средний ресурс совокупности деталей несущественно снижается t_{cp} .

Далее наблюдаем снижение параметра потока отказов, выражено это отношением вероятности $P(D)$ к реальному ресурсу (среднему) детали по параметру в зависимости от $D - t_{cp}(D)$.

Некоторые варианты имеет наработка (межконтрольная и межремонтная) (рисунок 3), что определённым образом может влиять на изменение параметра состояния деталей в целом. Увеличивая межконтрольную наработку снижается число проверок и вероятность отказа детали увеличивается. В случае, когда межконтрольная наработка может быть уменьшена, контролировать параметры состояния

необходимо с большей частотой и постоянно сравнивать их с допустимыми значениями. С помощью данного варианта возможно предотвращать появление отказов деталей.

Данные параметры будут влиять на вероятность отказа (заштрихованные области) и предупредительную замену (области без штриховки) одноименного составного элемента (рисунок 3).

Наклонные линии, изображенные штриховыми линиями, описывают износ отказавших деталей, а сплошные линии – предварительно замененных до момента наступления отказа. Заштрихованные области (а) имеют численное равенство по отношению к вероятностям отказов при принятых значениях D, U_N, t_M, t_n .

Таким образом, в результате имеющихся зависимостей (рисунки 2 и 3) установлено, что вероятности отказа и предупредительного ремонта (восстановления) деталей находятся в зависимости от величины D . Снижение погрешности параметра D (опуская горизонтальную линию до отметки D_1 и далее), приводит к минимизации вероятности отказа.

В результате этого, снижается средний срок службы детали вследствие растущего числа предупредительно заменяемых составных деталей. И в случае, когда $D = U_{II}$ все клапаны в составе газораспределительного механизма в процессе эксплуатации выйдут из строя, то есть происходит образование непрерывной плотности распределения ресурса рассматриваемой детали (клапана) (средний ресурс постоянен).

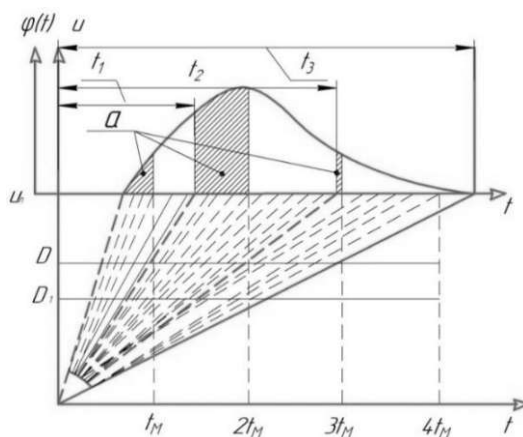


Рис. 3. Графический анализ влияния исследуемых параметров на впускные клапаны газораспределительного механизма: допускаемого износа или погрешность параметра D ; межконтрольной наработки t_M ; межремонтная наработка t_n

Рассматривая межконтрольные периоды 2 и 3, наблюдаем начало отказов при прохождении реализаций износа (утолщенные штриховые линии) точки пересечения D и t_M и последующего пересечения с горизонтальной прямой U_{II} . Дискретно непрерывной случайная величина ресурса будет при наличии допускаемого износа отклонения параметра D .

По причине замены детали (восстановления) с износом или отклонением параметра больше D в периоды $t_M, 2t_M, 3t_M$ и т.д. появляется дискретность. Тогда детали в периодах $(t_1 - t_M), (t_2 - 2t_M), (t_3 - 3t_M)$ в результате диагностики (дефектации) необходимо восстанавливать. Тогда с помощью точек пересечения реализаций параметра с прямой U_{II} , которая соответствует максимальному отклонению, можно сформировать непрерывную плотность распределения технического ресурса детали по параметру.

Заключение

Основополагающим моментом для повышения надёжности лесных машин является применение восстановленных деталей и узлов, сопряжений деталей, которые имеют повышенную износостойкость для того, чтобы при необходимости компенсировать потери точности в корпусных, установочных и базовых деталях. Это вполне возможно сделать при применении современных технологий, а также новых технологических материалов.

Нами установлено, что для повышения качества восстановленных деталей лесных машин. Необходимо обеспечить уменьшение износа в период приработки сопрягаемых поверхностей деталей. Это необходимо реализовывать на этапе создания восстановленных сопряжений деталей с высокой степенью приработки. Для этого необходимо проводить контроль: взаимного расположения

поверхностей деталей; износа сопрягаемых поверхностей во время всего рабочего цикла; остаточного ресурса невосстанавливаемых поверхностей.

Таким образом, повышение надежности лесных машин напрямую связано с качеством отремонтированных и восстановленных деталей, узлов и агрегатов.

Литература

1. Питухин, А.В. Дерево целей и задач повышения эксплуатационной эффективности машин и оборудования лесного комплекса. / А.В. Питухин, В.Н. Шиловский, С.А. Кильпелайнен, В.М. Костюкевич, В.А. Кяльвияйнен. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2010. – № 193. – С. 195–202.
2. Питухин, А.В. Надежность лесозаготовительных машин и оборудования: учеб. пособие / А.В. Питухин, В.Н. Шиловский, В.М. Костюкевич. – СПб: Изд-во «Лань» 2010. – 288 с.
3. Повышение эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин: монография. / А.В. Питухин, В.Н. Шиловский, И.Г. Скобцов, В.А. Кяльвияйнен – Петрозаводск: Петропресс, 2012. – 240 с.
4. Прогнозирование надежности машин по результатам незавершенных испытаний / В. Н. Шиловский, А. В. Питухин, В. М. Костюкевич, Г. Ю. Гольштейн // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-16. – С. 3513-3517.
5. Шиловский, В. Н. О прогнозировании надежности и трудоемкости ремонта машин / В. Н. Шиловский, Г. Ю. Гольштейн, В. В. Власов // Повышение эффективности лесного комплекса : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 22–23 мая 2018 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2018. – С. 190-191.
6. Быков, В. Ф. Исследование эксплуатационной надежности машин лесного комплекса / В. Ф. Быков // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2006. – № 16. – С. 7-10.
7. Карамышев, В. Р. К повышению надежности лесных машин / В. Р. Карамышев, Н. А. Бородин // Комплексная продуктивность лесов и организация многоцелевого многопродуктового лесопользования : Тезисы Всероссийской конференции, Воронеж, 13–14 декабря 1995 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 1996. – С. 160-161.
8. Методы определения надежности функционирования некоторых механических систем лесных машин / О. М. Тимохова, И. Н. Кручинин, Р. С. Тимохов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2022. – № 3 2022. – С. 54-58.
9. Ľavoda, P. Reliability Analysis of Forest Machines Due to FMEA Method / P. Ľavoda, J. Kováč, Z. Ľukaszczuk // Management Systems in Production Engineering. – 2018. – Vol. 26. – No 4. – P. 200-206. – DOI 10.1515/mspe-2018-0032.
10. J. Kováč, J. Krilek, J. Dvořák and P. Natov. “Research on reliability of forest harvester operation used in the company”. Journal of Forest Science, vol. 59, no. 4, pp. 169-175, 2013.
11. K. Kováčová. “Research of forest machines”, in Proc. of the XIX Międzynarodowa Konferencja Naukowa Studentów Problemy Inżynierii Rolniczej i Leśnej, 2010, pp. 139-145.
12. R. Nancy. Tague’s The Quality Toolbox, 2nd ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2004, pp. 236-240.
13. S.W. Ormon, C.R. Cassady and A.G. Greenwood. “Reliability Prediction Models to Support Conceptual Design”. IEEE Transactions on Reliability, vol. 51, no. 2, pp. 151-157, 2002.
14. Skobtsov, I. G. Estimating the reliability of forestry machine elements with possibility theory application / I. G. Skobtsov, V. N. Shilovskiy, O. L. Dobrynina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, 29–30 марта 2021 года. – Omsk City, 2022. – P. 012071. – DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012071.
15. Skobtsov, I. G. Integrated system of criteria for determining operational maintenance of forest and agricultural machinery / I. G. Skobtsov, V. N. Shilovsky, D. G. Konanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, 29–30 марта 2021 года. – Omsk City, 2022. – P. 012072. – DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012072.

©**Тимохова О.М.** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «Ухтинского государственного технического университета» (ФГБОУ ВО «УГТУ»), e-mail: chonochka@mail.ru; **Кручинин И.Н.** – д-р техн. наук, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Бурмистрова О.Н.** – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии и транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВО «УГТУ», e-mail: oburmistrova@ugtu.net; **Абрамов Я.И.** – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: yarlif@yandex.ru.

UDC 625.852

RELIABILITY PREDICTION OF FOREST MACHINE PARTS

O.M. Timokhova, I.N. Kruchinin, O.N. Burmistrova Ya.I. Abramov

The main problems of improving the reliability of forest machine parts by monitoring the quality of the use of remanufactured parts are considered. For restored parts, the use of surface running-in modes is typical. A variety of operating conditions for individual machine units predetermines the different influence of machine operating modes on their wear. The wear of any machine components depends on the combination of materials, design features of friction pairs and operating modes, which directly cause changes both in the material and in the geometric shape of the surfaces. This causes significant complications in the operation of forest machines. Experience in the operation of forest machines shows that the complexity of their maintenance and repair is quite high. This is due to the complexity of the design of modern machines and the use of not always high-quality and original spare parts. This factor directly affects the reliability of forest machines. Thus, the appropriate method of quality control of the restored parts of forest machines will allow solving the problem. The purpose of the research was to develop requirements for the quality control system for remanufactured parts of forest machines. The task was considered in the work: the development of requirements for improving the reliability of forest machines using remanufactured parts. From the moment of commissioning to the achievement of the limiting state of individual machine components, the nature of frictional bonds, the destruction of which causes wear of parts, changes. The result of the work was the development of requirements for remanufactured parts. The article provides an assessment of the influence of the quality of restoration of parts on the reliability of units and assemblies of forest machines. It is necessary to ensure the reduction of wear during the running-in period of the mating surfaces of the parts. To do this, it is necessary to control: the relative position of the surfaces of parts; wear of mating surfaces during the entire working cycle; residual resource of non-restorable surfaces.

Key words: forest machines, reliability, failure, recovery.

References

1. Pitukhin A.V., Shilovskiy V.N., Kilpelyanen S.A., Kostyukevich V.M, Kyalviyaynen V.A. Derevo tseley i zadach povysheniya ekspluatatsionnoy effektivnosti mashin i oborudovaniya lesnogo kompleksa [Aims and tasks tree increasing maintainability the efficiency machines and equipment of timber complex]. Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii, 2010. no. 193. pp. 195–202. (InRuss.)
2. Pitukhin A.V., Shilovskiy V.N., Kostyukevich V.M. Nadezhnost lesozagotovitelnykh mashin i oborudovaniya [Reliability of logging machines and equipment]. SPb: Lan Publ., 2010. 288 p. (InRuss.)
3. Pitukhin A.V. Shilovskiy V.N., Skobtsov I.G., Kyalviyaynen V.A. Povyshenie ekspluatatsionnoy tekhnologichnosti lesozagotovitelnykh mashin [Increasing maintainability of forest machines]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University, 2012. 240 p. (InRuss.)
4. Shilovsky V. N., Pitukhin A. V., Kostyukevich V. M., Golshtein G. Yu. (InRuss.) [Predicting the reliability of machines based on the results of incomplete tests] // Fundamental Research. - 2015. - No. 2-16. - P. 3513-3517. (InRuss.)
5. Shilovsky, V. N. O prognozirovani nadezhnosti i trudoyemkosti remonta mashin [On predicting the reliability and laboriousness of machine repairs] / V. N. Shilovsky, G. Yu. , Petrozavodsk, May 22–23, 2018. - Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2018. - P. 190-191. (InRuss.)
6. Bykov, VF Issledovaniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti mashin lesnogo kompleksa [Investigation of the operational reliability of forest machines] / VF Bykov // Actual problems of the forest complex. - 2006. - No. 16. - S. 7-10. (InRuss.)
7. Karamyshev, V. R. K povysheniyu nadezhnosti lesnykh mashin [To improve the reliability of forest machines] / V. R. Karamyshev, N. A. Borodin // Complex productivity of forests and the organization of multi-purpose multi-product forest management: Abstracts of the All-Russian Conference, Voronezh, December 13–14, 1995. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after V.I. G.F. Morozova, 1996. - S. 160-161. (InRuss.)
8. Metody opredeleniya nadezhnosti funktsionirovaniya nekotorykh mekhanicheskikh sistem lesnykh mashin [Methods for determining the reliability of the functioning of some mechanical systems of forest machines] /O. M. Timokhova, I. N. Kruchinin, R. S. Timokhov // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2022. - No. 3 2022. - S. 54-58. (InRuss.)

Řavoda, P. Reliability Analysis of Forest Machines Due to FMEA Method / P. Řavoda, J. Kováč, Z. Łukaszczyk // Management Systems in Production Engineering. – 2018. – Vol. 26. – No 4. – P. 200-206. – DOI 10.1515/mspe-2018-0032.

9. J. Kováč, J. Krilek, J. Dvořák and P. Natov. “Research on reliability of forest harvester operation used in the company”. Journal of Forest Science, vol. 59, no. 4, pp. 169-175, 2013.

10. K. Kováčová. “Research of forest machines”, in Proc. of the XIX Międzynarodowa Konferencja Naukowa Studentów Problemy Inżynierii Rolniczej i Leśnej, 2010, pp. 139-145.

11. R. Nancy. Tague’s The Quality Toolbox, 2nd ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2004, pp. 236 -240.

12. S.W. Ormon, C.R. Cassady and A.G. Greenwood. “Reliability Prediction Models to Support Conceptual Design”. IEEE Transactions on Reliability, vol. 51, no. 2, pp. 151-157, 2002.

13. Skobtsov, I. G. Estimating the reliability of forestry machine elements with possibility theory application / I. G. Skobtsov, V. N. Shilovskiy, O. L. Dobrynina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, 29–30 марта 2021 года. – Omsk City, 2022. – P. 012071. – DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012071.

15. Skobtsov, I. G. Integrated system of criteria for determining operational maintenance of forest and agricultural machinery / I. G. Skobtsov, V. N. Shilovsky, D. G. Konanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, 29–30 марта 2021 года. – Omsk City, 2022. – P. 012072. – DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012072.

© **Timokhova O.M.** – Associate Professor, Department of Technology and Transport and Technological Machines, Ukhta State Technical University (USTU), e-mail: chonochka@mail.ru; **Kruchinin I.N.** – Grand PhD in Engineering, Professor of the Department of Transport and Road Construction, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Burmistrova O.N.** – Grand PhD in Engineering, Professor of the Department of Technology and Transport and Technological Machines, USTU, e-mail: oburmistrova@ugtu.net; **Abramov Ya.I.** – post-graduate student of the Department of Transport and Road Construction, USFEU, e-mail: yarlif@yandex.ru.

УДК 540:631.4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УГЛА СКЛОНА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВОГРУНТА ПРИ РАБОТЕ ЛЕСНЫХ МАШИН

До Туан Ань, Н.И. Злобина, В.А. Каляшов, А.Ю. Гурьев, О.И. Григорьева, Е.Г. Хитров

Во многих странах мира достаточно большие запасы лесных ресурсов находятся на горных склонах. Такие природно-производственные условия характерны для Дальнего Востока Российской Федерации, многих стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), в том числе Социалистической Республике Вьетнам, США, ряда европейских стран (Чехия, Австрия, и т.д.). Работы по заготовке древесины в условиях горных лесосек существенно снижают производительность и повышают риски для людей и техники. Во многих индустриально развитых странах мира преобладают машинные способы заготовки древесины, включая освоение лесов на горных склонах. Колесные лесные машины, работающие на горных склонах, прежде всего, оснащаются специальными гусеницами. Необходимо учитывать, что экосистемы горных лесов являются очень ранимыми, при неправильном проведении работ, при избыточном негативном воздействии на почвогрунт, на них могут возникать и быстро развиваться процессы водной и ветровой эрозии. Превышение несущей способности почвогрунта может приводить к возникновению оползней, соскальзыванию машины по склону. В статье представлена математическая модель, позволяющая на практике рассчитать несущую способность почвогрунта под воздействием гусеничного движителя лесной машины с учетом отклонения вектора результирующей нагрузки.

Ключевые слова: лесозаготовки, трелевка, горные леса, лесные машины, уплотнение почвогрунта, несущая способность почвогрунта.

Введение

Многие страны мира обладают значительными запасами леса, произрастающего на сильно пересеченной местности, с крутыми склонами. Такие леса, в том числе, характерны и для РФ (Дальний