

(Thermal spray coating from powder materials).
Kiev: Naukova Dumka, 1987. 210 p.

9. GOST 28076-89. Gas thermal spraying.
Terms and Definitions.

10. GOST 9.304-87. Thermal spraying coatings.
General requirements and control methods.

Vladislav N. Korenev – PhD (Eng), Associate Professor, Head Section № 17 «New Technologies» Federal State Budgetary Institution «All-Russian Research Technological Institute for Repair and Utilization of Tractors and Automobiles (GOSNITI)»; phone: +7(910)304-74-79; e-mail: korenev-vlad@list.ru.

Aleksandr V. Kolomeychenko – PhD (Eng) – Higher Doctorate, Professor, Head of Department «Reliability and Repair of Machinery», Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Orel State Agrarian University»; Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution Federal State Budgetary Institution «All-Russian Research Technological Institute for Repair and Utilization of Tractors and Automobiles (GOSNITI)»; phone: +7(910)300-02-32; e-mail: kolom_sasha@inbox.ru.

Received on June 4, 2015

УДК 631.3.004.67-631.145

Б.Н. ОРЛОВ, Г.И. БОНДАРЕВА

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Н.Б. ОРЛОВ

Открытое акционерное общество «Республиканский Навигационно-информационный центр» (ОАО РНИЦ) РФ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КАБИН ОПЕРАТОРОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

Вследствие усталостных явлений, которым подвержены штифты в процессе работы, снижается их несущая способность, а величина усилия, соответствующего разрушению штифта, может изменяться. Предохранительные модули обладают положительными качествами: простота конструкции, позволяющая быстро восстанавливать их работоспособность после её срабатывания и регулировать величину момента, незначительные расходы при изготовлении и эксплуатации. Испытания в условиях ступенчатого и непрерывного циклического нагружения элементов предохранительных модулей при различных соотношениях главных напряжений показывают, что увеличение скорости циклической ползучести приводит к росту повреждаемости металла, а её уменьшение – к замедлению. Эти закономерности можно использовать для оценки работоспособности предохранительного модуля, т.е. фактически подбирать для его изготовления материал модуля с высокими показателями повреждаемости. Перспективным является подход к оценке квазивязких свойств металла с учетом повреждаемости. Согласно развитию процессов ползучести определяется интенсивность неравновесных напряжений. При условии, что материал штифта предохранительного элемента представляет модель упруго пластичного тела, в зоне упругой деформации её свойства описываются матрицей. Остаточные напряжения в штифте от первоначальной пластической деформации оказывают влияние на процесс пластического разрушения при последующих нагрузках. Каждый последующий цикл нагружения увеличивает область пластической деформации приблизительно на 1/3. Так как это увеличение имеет место во время каждого цикла, пластичное напряжение возрастает ступенчато. Даже если нагрузка не приводит к разрушению, штифт предохранительного модуля деформируется, происходит процесс «возрастающего разрушения», что составляет приблизительно 80% для периферийного элемента.

Ключевые слова: безопасность, предохранительный элемент, технология, нагружение, напряжение.

Экспериментальные исследования циклической ползучести стали 10ГН2МФА позволили выявить, что, т.к. скорость ползучести для упруго-вязкопластической модели отличается при различных способах нагружения, необходимо учитывать вязкие свойства металла, интенсивность скорости деформации. В качестве прочностных и деформационных характеристик стали использовали интенсивность напряжений и деформаций σ_i полученные данные после каждой ступени циклического нагружения структурных изменений показали, что в поверхностном слое вследствие воздействия неравновесных напряжений σ_i , о мере увеличения накопленной деформации, возрастает доля вязкой составляющей при одновременном уменьшении доли пластической составляющей, не зависящей от времени. В условиях одноосного циклического растяжения скорость деформации выше, чем при двухосном, для одинаковых величин максимальных напряжений цикла нагружения. Однако при циклическом нагружении предохранительного модуля, вызывающем усталостное разрушение (рис. 1), наложение второй растягивающей компоненты напряжения снижает способность металла сопротивляться циклической ползучести при одновременном повышении скорости ползучести по сравнению с одноосным растяжением [1].

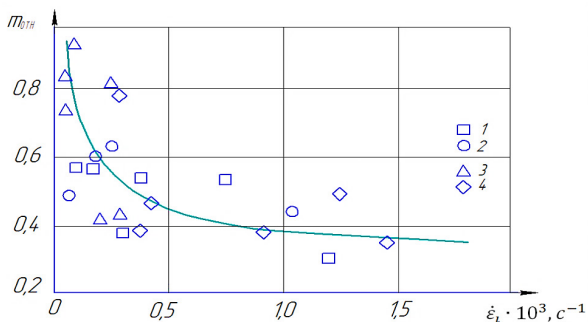


Рис. 1. Зависимость относительного коэффициента гомогенности стали 10ГН2МФА от интенсивности скорости циклической деформации при различных соотношениях главных напряжений

Испытания в условиях ступенчатого и непрерывного циклического нагружения элементов предохранительных модулей при различных соотношениях главных напряжений показывают, что увеличение скорости циклической ползучести приводит к росту повреждаемости металла, а её уменьшение – к замедлению [2].

Оценку повреждаемости металла осуществляют через относительное значение коэффициента гомогенности $m_{отн} = \frac{m_i}{m_{max}}$. На стадии достижения

равновесного состояния металла в процессе циклической ползучести связь между скоростью ползучести и относительным коэффициентом го-

могенности (рис. 1) можно описать соотношениями главных нормальных напряжений в виде степенных функций

$$\dot{\epsilon}_i = c \cdot m_{отн}^{-d}, \quad (1)$$

где c и d – параметры материала, определяемые экспериментально из зависимости $\dot{\epsilon}_i - m_{отн}$. Принимаем $c = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

Эти закономерности можно использовать для оценки работоспособности предохранительного модуля, т.е. фактически подбирать для его изготовления материал модуля с высокими показателями повреждаемости. Перспективным является подход к оценке квазивязких свойств металла с учетом повреждаемости. Согласно развитию процессов ползучести определяется интенсивность неравновесных напряжений. При этом, как и для некоторых других теплоустойчивых сталей, принимается линейная зависимость между скоростью деформации и неравновесным напряжением:

$$\dot{\epsilon}_{полз} = k'_i \sigma_i, \quad (2)$$

где k'_i – эмпирический коэффициент вязкости, получаемый при циклическом нагружении.

В каждом узле неизвестными являются перемещения вдоль осей X и Y (рис. 2в). При выводе уравнения равновесия используем систему относительных координат, учитывающую площади треугольных конечных элементов. Соотношение между напряжением и деформацией внутри элемента выражается зависимостями:

$$\epsilon = B \cdot \delta, \quad (3)$$

$$\sigma = D \cdot \epsilon, \quad (4)$$

$$F = k \cdot \delta, \quad (5)$$

где B, δ, F, k – элементы матрицы 6×6 , определяющие однородное напряженное состояние треугольного элемента; σ – напряжения.

Примем уравнение равновесия для конечного элемента сечения штифта:

$$P = K \cdot U, \quad (6)$$

где P – усилие; U – центральная матрица смещения.

При условии, что материал штифта предохранительного элемента, представляет модель упруго пластичного тела, то в зоне упругой деформации её свойства описываются матрицей:

$$D^e = \frac{E}{1-v^2} \begin{bmatrix} 1 & v & 0 \\ v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-v}{2} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где E и v – модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

При переходе материала в область пластической деформации соотношение между напряжениями и

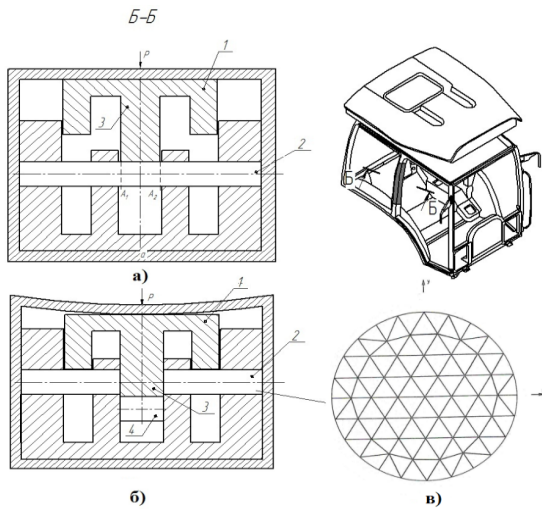


Рис. 2. Схема работы предохранительного элемента: а – при срезе центральной части; б – с опорой на два элемента; в – расчетная схема срезного штифта предохранительного модуля МКЭ

деформациями можно записать в виде соотношений Ямада

$$d\sigma = D^p d\varepsilon, \quad (8)$$

где D^p – пластическая составляющая матрицы напряжений при любой нагрузке:

$$D^p = \frac{E}{\zeta} \begin{bmatrix} s_y^2 + 2\eta & & sym. \\ -s_x s_y + 2\eta & s_x^2 + 2\eta & \\ \frac{(s_x + \nu s_y)\tau_{xy}}{1+\nu} & -\frac{(s_y + \nu s_x)\tau_{xy}}{1+\nu} & \frac{\xi}{2(1+\nu)} + \frac{2H'(1-\nu)\sigma^2}{9E} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где S_x, S_y – девиаторы напряжений в координатах x и y ; ζ – переменная в уравнении; ξ, η – переменная в уравнении; H' – градиент эквивалентного напряжения; η – напряжение.

Уравнение (9) определяет напряженно деформированное состояние элемента, находящегося в зоне пластической деформации. Разгрузка элемента происходит, если величина $d\lambda$ становится отрицательной:

$$d\lambda = \frac{1}{S} s d\varepsilon, \quad (10)$$

где S – приращение напряжений

$$S = \frac{2}{3} \bar{\sigma}^2 \left(1 + \frac{H'}{3G}\right), \quad (11)$$

где G – модуль сдвига.

Обозначим через $\Delta\theta$ гол направления реакции штифта от действия нагрузки. В условиях знако-

переменных нагрузок необходимо учитывать коэффициент масштабирования, который может существенно уменьшать расчетные нагрузки, т.е. происходит разгрузка треугольного элемента [3, 4].

Штифт предохранительного модуля, разделенный на 96 треугольных элементов (рис. 2в), содержит 42 элемента, расположенные по контуру. Принимаем диаметр штифта 25,4 мм, σ_y – 160 МПа, ν – равный 0,3 и модуль Юнга G – 210 ГПа.

Представленная на рисунках 2а и 3 модель решена для упруго пластичного материала, т.е. $H' = 0$. Величина нагрузки характеризуется безразмерным параметром p , равным отношению нагрузки, действующей вдоль диаметра штифта к напряжению, т.е.

$$p = P / d, \quad (12)$$

где P, d – величина усилия и диаметр штифта.

Результаты расчёта показывают, что для штифта $p = 0,137$, имеет место только упругая деформация, а при $p = 0,179$ происходит его пластическая деформация, которая начинается в зоне, где приложена сила. Дальнейшее распространение зоны пластической деформации реализуется на ближайшие 4 треугольных элемента. Эта зона показана на рисунке 4а.

Дальнейшее нагружение приводит штифт в состояние устойчивого равновесия (рис. 4а). Далее для $p \leq 0,160$ деформация происходит в упругой области.

Для условий нагружения штифта в области $0,168 < p < 0,179$ зона пластической деформации возрастает с увеличением нагрузки. Пластическое течение штифта для $p = 0,160$ и $p = 0,168$ для первых нескольких циклов показано на рисунке 4а. Для $p = 0,168$ область пластической деформации увеличивается при первом нагружении до 45° , во время второго цикла нагружения – $26,5^\circ$, устойчивое состояние достигают в 12-м цикле, и с того момента штифт остается пластичным приблизительно для 15° своего сечения во время каждого последующего цикла [5, 6].

Увеличение зоны пластичной деформации при изменении нагрузки от $p = 0,137$ до $p = 0,337$ показано на рисунке 4б. Для идеально пластичного материала в области нагружения $p = 0,179$ наблюдаются зоны разрушения, при увеличении нагрузки до $p = 0,337$ происходит упрочнение материала.

В области нагружения $p = 0,182$ область пластической деформации распространяется на 65° сечения штифта во время первого цикла, 44° во время второго цикла, меньше чем 8° , как показана на рисунке 4в.

Работа материала вычисленная при $p = 0,160$ и $p = 0,168$, увеличивается с каждым циклом. Штифт может поглотить только конечное количество энергии, при котором произойдет его разрушение. Для нагрузки $p = 0,160$ пластическая работа для первых двух циклов увеличивается и затем остается неизменной, как показано на рисунке 4б.

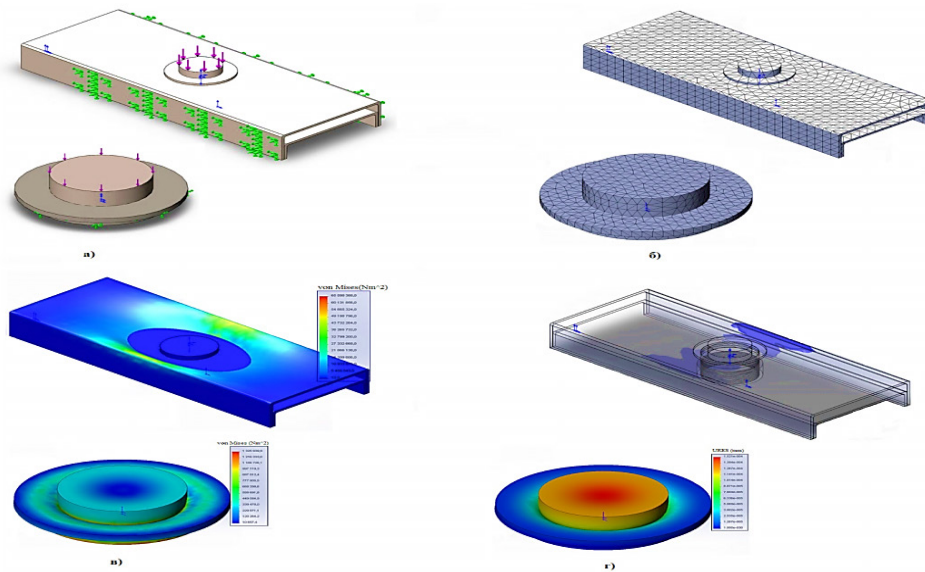


Рис. 3. Компьютерные модели работы предохранительного элемента, построенные с помощью пакета прикладных программ SolidWorksSimulation:
 а – действие нагрузки на предохранительный модуль; б – расчетная схема предохранительного элемента МКЭ; в – распределения напряжений по Мизесу, г – распределение напряжений в деформируемом элементе предохранительного модуля

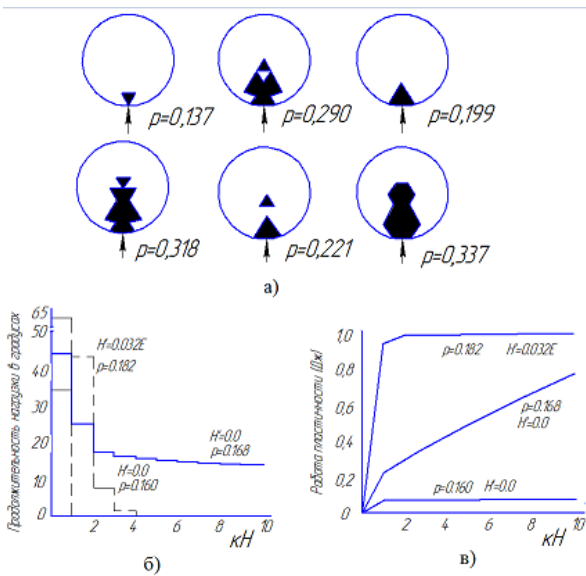


Рис. 4. Развитие пластической деформации в деформируемом штифте предохранительного модуля: а – последовательность распространения пластической деформации при разрушении штифта модуля безопасности; б – циклы нагружения; в – работа пластической деформации

Остаточные напряжения в штифте от первоначальной пластической деформации оказывают влияние на процесс пластического разрушения при последующих нагрузках. Так, при $p = 0,182$ штифт находится в состоянии упругого равновесия. Каж-

дый последующий цикл нагружения увеличивает область пластической деформации приблизительно на 30%. Так как это увеличение имеет место во время каждого цикла, пластическое напряжение возрастает ступенчато [7]. Даже если нагрузка не приводит к разрушению, штифт предохранительного модуля деформируется, происходит процесс «возрастающего разрушения», что составляет приблизительно 80% для периферийного элемента (рис. 4).

Выводы

Рассчитана работа разрушения срезных элементов модуля, воспринимающих энергию удара: так, для стального штифта диаметром $d = 10^{-2} \text{ м}$; $A = 58 \dots 60 \text{ Дж}$, а при диаметре штифта $d = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ – до 240 Дж.

Рассчитано усилие среза штифтов предохранительного модуля при предельных аварийных деформациях кабины.

Рассмотрена контактная задача определения деформации сжатия и изгиба срезных штифтов и втулок предохранительного модуля кабин грузовых автомобилей.

Библиографический список

1. Орлов Б.Н. Прогнозирование уровня надёжности экспериментально-расчётными методами // Природообустройство: Научно-практический журнал. № 4. М., 2010.
2. Бондарева Г.И. Герметизация неподвижных фланцевых соединений силиконовыми герметика-

ми при ремонте сельскохозяйственной техники. М., 2000.

3. Бондарева Г.И., Орлов Б.Н. Математическое моделирование процесса измерения годности рабочих элементов машин и оборудования // Техника и оборудование для села: Научно-производственный и информационно аналитический журнал. № 8. М., 2012.

4. Орлов Б.Н. Метод структурных схем оценки надёжности гидросистемы и колёсных двигателей машин природообустройства // Природообустройство: Научно-практический журнал. № 1. М., 2013.

5. Бондарева Г.И. Повышение долговечности рабочих органов бетоносмесителей // Вестник машиностроения. № 3. М., 2012.

6. Бондарева Г.И., Кравченко И.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния наплавленных покрытий деталей, восстановленных плазменными методами // Ремонт, восстановление, модернизация. № 6. М., 2011.

7. Бондарева Г.И. Системный анализ объектов, функций и ресурсов в процессах восстановления деталей машин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. № 2. М., 2010.

Орлов Борис Намсынович – д.т.н., профессор кафедры эксплуатации, электрификации и автоматизации технических средств и систем природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт природообустройства имени А.Н. Костякова; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8 (903)296-41-64.

Бондарева Галина Ивановна – д.т.н., профессор кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127550, ул. Тимирязевская, 55; тел.: 8 (926) 012-25-30; e-mail: Boss2569@yandex.ru.

Орлов Намса Борисович – к.т.н., генеральный директор открытого акционерного общества «Республиканский Навигационно-информационный центр» (ОАО РНИЦ) РФ; тел.: 8(909)398-45-91.

Статья поступила 7.07.2015

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF IMPROVING SAFETY OF TRUCK AND TRACTOR OPERATOR CAB

B.N. ORLOV, G.I. BONDAREVA

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

N.B. ORLOV

Open Joint Stock Company «Republican Navigation-Information Centre» (JSC RNITS) RF

Due to fatigue phenomena that affect the pins during operation their bearing capacity is reduced and the amount of force corresponding to the pin destruction can vary. Safety modules have positive qualities: design simplicity providing for quick recovery of their operability after actuation and control the torque; insignificant costs of manufacture and exploitation. Tests in stepwise and continuous cyclic loading of safety modules elements with different ratios of principal stresses show that the increase of cyclic creep speed results in an increase in metal damaging, and its decrease slows the damaging process. These patterns can be used assessing the safety module performance that is actually selecting for its manufacturing a module material with high damage indicators. An approach to assess quasi-viscous metal properties with account of damageability is also promising. The authors suggest determining the intensity of nonequilibrium stresses according to the development of creep processes. Provided the safety pin material is resiliently plastic body model, can be described by the matrix in the area of elastic deformation of its properties. Residual stresses in the pin of the initial plastic deformation affect the process of ductile failure in subsequent loads. Each subsequent loading cycle increases the area of plastic deformation by about a third. Since this increase takes place during each cycle, the plastic strain is increased stepwise. Even if the load does not lead to destruction, the module safety pin is deformed, and a process of «growing fracture» amounting to about 80% for the peripheral element occurs.

Key words: security, safety element, technology, loading, stress.

References

1. Orlov B.N. Prognozirovanie urovnya nadezhnosti eksperimental'no-raschetnymi metodami (Predicting the level of reliability of experimental-calculation method) // Environmental Engineering: Scientific-practical journal. № 4. M., 2010.
2. Bondareva G.I. Germetizatsiya nepodviznykh flantsevykh soedineniy silikonovymi germetikami pri remonte sel'skokhozyaystvennoy tekhniki (Sealing of fixed flange joints with silicone sealants in repairing agricultural equipment). Moscow, 2000.
3. Bondareva G.I., Orlov B.N. Matematicheskoe modelirovanie protsessa izmereniya godnosti rabochikh elementov mashin i oborudovaniya (Mathematical modeling of measuring the fitness of working elements of machines and equipment) // Farm Machinery and Equipment: Scientific-manufacturing and information analytical journal. № 8. M., 2012.
4. Orlov B.N. Metod strukturnykh skhem otsenki nadezhnosti gidrosistemy i kolesnykh dvizhiteley mashin prirodoobustroystva (The method of structural schemes in assessing reliability of wheel hydraulic propulsion machinery of environmental engineering) // Environmental Engineering: Scientific-practical journal. № 1. M., 2013.
5. Bondareva G.I. Povyshenie dolgovechnosti rabochikh organov betonosmesiteley (Increasing durability of concrete mixer working bodies) // Bulletin of Mechanical Engineering. № 3. M., 2012.
6. Bondareva G.I., Kravchenko I.N. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya naplavlennykh pokrytiy detaley, vosstanovlennykh plazmennymi metodami (Study of stress-strain state of deposited coatings of parts recovered with plasma methods) // Repair, Restoration, Modernization. № 6. M., 2011.
7. Bondareva G.I. Sistemnyy analiz ob"ektov, funktsiy i resursov v protsessakh vosstanovleniya detaley mashin (System analysis of objects, functions and resources in process of restoring machinery parts) // Herald of FSEE HPE MSAU named after V.P. Goryachkin. № 2. Moscow, 2010.

Boris N. Orlov – PhD (Eng) – Higher Doctorate, Professor, Department of Exploitation, Electrification and Automation of Environmental Protection Means and Systems in Emergency Cases; Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Institute of Environmental Engineering named after A.N. Kostyakov; 127550, Timiryazevskaya ul., 49, Moscow; phone: 8 (903) 296-41-64.

Galina Bondareva – PhD (Eng) – Higher Doctorate, Professor, Department of Metrology, Standardization and Quality Management, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; Institute of Mechanics and Power Engineering named after V.P. Goryachkin; 127550, Timiryazevskaya ul., 55, Moscow; phone: 8 (926) 012-25-30; e-mail: Boss2569@yandex.ru.

Namsa B. Orlov – PhD (Eng), CEO of Open Joint Stock Company «Republican Navigation – Information Centre» (JSC RNITS) RF; phone: 8 (909) 398-45-91.

Received on July 7, 2015

УДК 629.331

И.Н. КРАВЧЕНКО, П.Г. ЛАРИН, В.М. КОРНЕЕВ

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Э.А. ЗИЯДИНОВ

3 Центральный научно-исследовательский институт МО РФ

МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ РАСХОДА МОТОРЕСУРСА С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ РАВНОМЕРНОСТИ ВЫХОДА В РЕМОТ АВТОМОБИЛЬНОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Планирование эксплуатации машин осуществляется без учета многих факторов, влияющих на процессы выхода их из строя и восстановления техники, а зачастую носит формальный характер. Эксплуатация техники без учета индивидуального технического состояния приводит к нерациональному расходу моторесурса, одновременному выходу в ремонт большого количества машин, что, несомненно, негативно