

НАДЕЖНОСТЬ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

***В. А. Дидур, доктор технических наук
Д. П. Журавель, кандидат технических наук
Таврический государственный агротехнологический
университет
e-mail: didurva@mail.ru***

Аннотация. Энергетическая независимость Украины – это залог дальнейшего социально-экономического развития государства.

Учитывая то, что Украина обеспечивает свои потребности нефти на 85–90% за счет импорта, а цена на мировом рынке на нее постоянно растет, это не могло не сказаться на критическом увеличении себестоимости сельскохозяйственной продукции, в частности продуктов питания. Поэтому необходимость поиска путей замены нефтяного сырья для производства топливо-смазочных материалов на сырье с возобновляемых источников, является стратегической задачей.

В статье рассмотрены вопросы методологии определению показателей надежности элементов функциональных систем мобильной техники, работающих как на нефтяных, так и на биотопливо-смазочных материалах. Определены законы распределения параметрических отказов, с помощью которых установлены средние ресурсы. Сопоставлены значения средних ресурсов элементов функциональных систем, что позволило установить звенья с наименьшими показателями надежности. Рассчитаны показатели надежности основных элементов систем и надежность мобильной техники в целом, работающей на различных видах топливо-смазочных материалов (ТСМ). При работе на биологических топливо-смазывающих материалах все показатели надежности ниже, чем при работе на нефтяных, что объясняется агрессивным воздействием метанолов биотоплива и легких фракций биомасла на конструкционные материалы.

Ключевые слова: *мобильная сельскохозяйственная техника, функциональные системы, биотопливо-смазочные материалы, надежность, биодизель, эксплуатационные затраты, ресурс*

Постановка проблемы. Проблему рационального использования энергии в сельском хозяйстве на современном этапе следует рассматривать не только, как снижение расходов ТСМ, а значительно шире, как определение основных направлений энергосберегающей политики с учетом перспектив применения альтернативных ТСМ [1–3].

Для Украины наиболее перспективным является применение рапсового масла, в частности метилового эфира рапсового масла (МЕРМ).

В большинстве своем альтернативные ТСМ отличаются от традиционных углеводородных жидкостей своими физико-химическими свойствами, которые влияют как на надежность машинотракторных агрегатов, так и на организацию рабочего процесса систем и на итоговые технико-экономические и экологические показатели машинотракторных агрегатов (МТА) [4, 5].

Для аграрного сектора экономики проблема заключается также в значительных эксплуатационных затратах на техническое обслуживание и ремонт мобильной техники, которое составляет 1/3 от ее балансовой стоимости, а это миллионы гривен [6].

Адаптация современных функциональных систем МТА при эксплуатации ее на новых видах ТСМ растительного или животного происхождения является неременным условием обеспечения надежности мобильной сельскохозяйственной техники [4–7].

Народно-хозяйственная проблема, на этапе борьбы за энергетическую независимость Украины, заключается также в снижении эксплуатационных затрат на содержание мобильной сельскохозяйственной техники в работоспособном состоянии при использовании биотопливо-смазочных материалов.

Анализ последних исследований. Эффективность использования сельскохозяйственной техники, в первую очередь, зависит от ее эксплуатационной надежности, которая поддерживается системой технического обслуживания и ремонта. В соответствии с нормативной документацией ресурс тракторов тягового класса 1,4 составляет в среднем 15...18 лет [3–10]. Основными функциональными системами мобильной техники являются: двигатель, трансмиссия, ходовая часть, гидрооборудование, электрооборудование, механизм управления. Практика показывает, что распределение отказов по системам мобильной техники следующее: двигатель – 28%; механизм управления – 25%; электрооборудование – 16%; ходовая часть – 13%; гидрооборудование – 12%; трансмиссия – 6% [9]. Основными показателями надежности элементов функциональных систем являются вероятность безотказной работы $P(t)$ и средний ресурс в

мото-часах. В соответствии с ГОСТ 10579-82 (СЭВ 2405-80) средний ресурс должен быть не менее среднего ресурса до первого капитального ремонта, в зависимости от условий эксплуатации [7-18]. Это соответствует ресурсу всех элементов, большинство которых заменяются при частичной разборке в процессе технического обслуживания.

Опыт эксплуатации сельскохозяйственной техники на ТСМ биологического происхождения, свидетельствует о том, что приведенные данные средних ресурсов элементов функциональных систем мобильной техники существенно отличаются. Причем, в литературе приводятся весьма противоречивые сведения [7-18].

Целью исследований является установление показателей надежности функциональных систем мобильной сельскохозяйственной техники, работающей на различных видах топливо-смазочных материалах, в зависимости от условий эксплуатации.

Результаты исследований. Теория надежности является основой инженерной практики в области надежности технических изделий.

Вероятность безотказной работы систем мобильной техники представляет собой произведение вероятностей составляющих элементов системы [7, 8, 13, 15, 17, 18]:

$$P_{\text{смм.}}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (1)$$

где: $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы элемента функциональной системы мобильной техники.

Учитывая, что функциональные отказы бывают как внезапными, так и постепенными (износными), то

$$P_i(t) = P_i^*(t) \cdot P_i^{**}(t), \quad (2)$$

где: $P_i^*(t)$ и $P_i^{**}(t)$ – вероятности безотказной работы, обусловленной соответственно наличием внезапных и постепенных отказов.

Таким образом, величина $P_i^*(t)$ даёт количественную оценку составляющей надежности при внезапных отказах, а $P_i^{**}(t)$ – количественно характеризует способность функциональной системы сохранять заданный уровень выходных координат в пределах поля допуска в процессе эксплуатации.

Если $P_i^*(t)$ и $P_i^{**}(t)$ считать зависящими от случайных факторов, то методы расчета вероятности безотказной работы можно вести следующим образом:

$$P_i^*(t) = 1 - \int_0^t f_i^*(t) dt, \quad (3)$$

$$P_i^{**}(t) = 1 - \int_0^t f_i^{**}(t) dt, \quad (4)$$

где: $f_i^*(t)$ и $f_i^{**}(t)$ – функции распределения наработки соответственно до внезапного и постепенного отказа.

При распределении по нормальному закону плотность вероятности описывается выражением:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (5)$$

а вероятность безотказной работы:

$$P(t)_i = 1 - B_0 \int_0^t \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{g}\right] dt, \quad (6)$$

где, $B_0 = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}}$; а $g = 2\sigma^2$.

Если провести замену переменных при: $\frac{t-t_0}{\sqrt{g}} = \frac{z}{\sqrt{2}}$, $dt = \sqrt{\frac{a}{2}} \cdot dz$, то

получим табулированную функцию, пригодную для практических расчётов при определении вероятности безотказной работы систем мобильной техники:

$$P_i(t) = 1 - B_0 \sqrt{\pi g} \left[\Phi_2\left(\frac{t-t_0}{\sqrt{g/2}}\right) + \Phi_1\left(\frac{t_0}{\sqrt{g/2}}\right) \right]. \quad (7)$$

Экспоненциальное распределение является однопараметрическим и характеризуется постоянной интенсивностью отказов λ . При этом распределении плотность вероятности наработки на отказ имеет вид:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad (8)$$

а вероятность безотказной работы:

$$P_i(t) = 1 - \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda t} dt. \quad (9)$$

Пользуясь проведенными расчётными формулами и располагая законами распределения наработок на отказ и их основными параметрами для отдельных элементов, можно ещё на стадии проектирования систем мобильной техники производить оценку и более обоснованное нормирование вероятности безотказной его работы. Если мобильная техника подвержена совместному действию внезапных отказов, подчиняющихся экспоненциальному закону (с вероятностью безотказной работы $P^*(t)$ и постепенных отказов, подчиняющихся нормальному закону (с вероятностью безотказной работы $P^{**}(t)$), то функция надежности такого агрегата определятся выражением:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \left\{ 1 - B_0 \sqrt{\pi g} \left[\Phi_2 \left(\frac{t-t_0}{\sqrt{g/2}} \right) + \Phi_1 \left(\frac{t_0}{\sqrt{g/2}} \right) \right] \right\} \quad (10)$$

Мобильная техника представляет собой комплекс агрегатов и узлов, от которых зависит надежность и ресурс мобильного агрегата в целом. Результаты расчётов осуществлены на примере элементов функциональных систем трактора МТЗ-82 в условиях Юга Украины. Отказы этих элементов статистически независимы. Результаты расчётов времени t_n , в течение которого вероятность выхода параметра за фиксированные границы допуска составляют не более $P_T \leq 0,5$. При этом t_n соответствует среднему ресурсу $R(t)$, а при $P_T \leq 0,8 - t_n = R_{\gamma 80\%}$, т.е. восьмидесяти процентному гамма-ресурсу.

Анализ полученных данных позволяет констатировать наличие существенного отличия в значениях ресурсов $R(t)$ и $R_{\gamma 80\%}$ для рассматриваемых элементов трактора. Это свидетельствует о наличии «слабого звена» в общей цепи надежности трактора в целом. Из чего следует, что, например, «слабым звеном» является для: трактора – двигатель; для двигателя – топливная аппаратура; для топливной аппаратуры – топливный насос высокого давления (ТНВД); для ТНВД – уплотнительные элементы и т.д. Устранение «слабого звена» является одним из основополагающих принципов повышения надежности сложных систем. Средние ресурсы элементов функциональных систем при эксплуатации их биологических ТСМ ниже, чем при работе на нефтяных.

Такое снижение ресурса систем мобильной техники, работающей на биологических ТСМ, объясняется активным воздействием метанолов на материалы всех элементов систем мобильной техники, что приводит к разрушению поверхностей и увеличению износов пар трения. Это ещё и сопряжено с тем, что при отсутствии средств диагностики из-за отказа одного из элементов, независимо от группы сложности, на практике требуется производить капитальный ремонт трактора в целом. Средний ресурс наработки систем мобильной техники при работе на минеральных ТСМ представлен на рис. 1. и на биологических ТСМ – рис. 2.

Вывод. В результате проведенных исследований установлено, что средний ресурс наработки мобильной сельскохозяйственной техники работающей на минеральных ТСМ составляет 15667 мото-час, а на биологических 14465 мото-час, что дает снижение среднего ресурса на 7,67% за счет активного воздействия метанолов биодизеля и легких фракций биомасла на поверхностную структуру пар трения. Для повышения ресурса необходимо произвести замену материалов сопряжений на другие, которые инертны в биологических ТСМ.

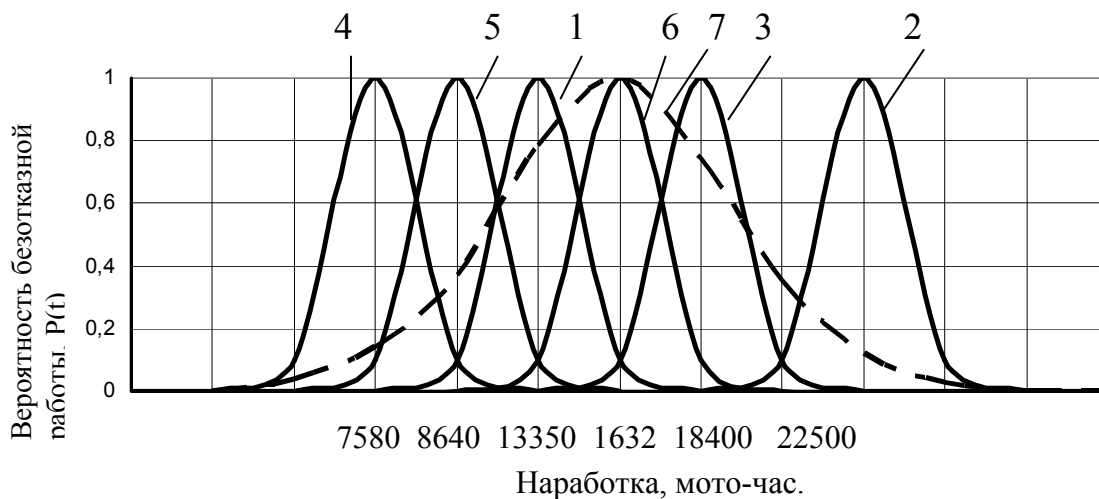


Рис. 1. Средний ресурс наработки функциональных систем мобильной техники при работе на минеральных ТСМ: 1 – двигатель; 2 – трансмиссия; 3 – ходовая часть; 4 – гидрооборудование; 5 – электрооборудование; 6 – механизм управления; 7 – средняя наработка систем мобильной техники.

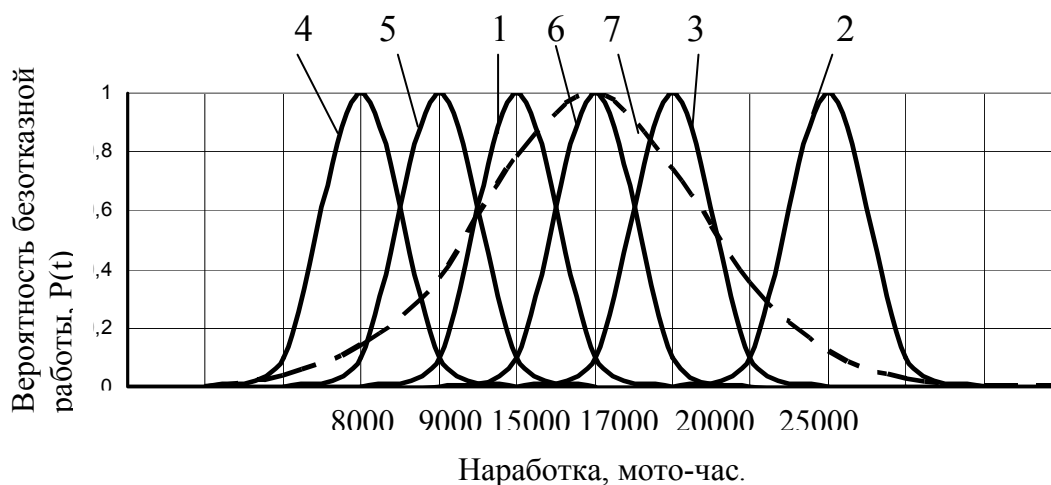


Рис. 2. Средний ресурс наработки функциональных систем мобильной техники при работе на биологических ТСМ: 1 – двигатель; 2 – трансмиссия; 3 – ходовая часть; 4 – гидрооборудование; 5 – электрооборудование; 6 – механизм управления; 7 – средняя наработка систем мобильной техники.

Список літератури

1. Погорелый Л. В. Повышение эксплуатационно-технологической эффективности сельскохозяйственной техники / Л. В. Погорелый. – К.: Техника, 1990. – 176 с.
2. Парсаданов І. В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основании комплексного топливо-экологического критерия / І. В. Парсаданов. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
3. Voytyuk V. Методика определения технического состояния машин / V. Voytyuk, A. Demko, R. Yakymiv // Motrol. – № 9A. – 2007. – С. 131–136.

4. Журавель Д. П. Особенности использования масел биологического происхождения для мобильной техники / Д. П. Журавель // Вестник Украинского отделения Международной академии аграрного образования. – Мелитополь: Копицентр «Документ-сервис», 2014. – С. 157–165.
5. Дидур В. А. Особенности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биодизельного топлива / В. А. Дидур, В. Т. Надикто, Д. П. Журавель // Тракторы и сельхозмашины. – № 3. – 2009. – С. 3–6.
6. Журавель Д. П. Методология обеспечения надежности мобильной техники при использовании биологических ТСМ / Д. П. Журавель // Материалы VI Международной научно-технической конференции памяти И. И. Мартыненко. Энергообеспечения технологических процессов в агропромышленном комплексе Украины. – Мелитополь, 2015. – С. 8–9.
7. Кюрчев В. М. Альтернативне паливо для енергетики АПК / В. М. Кюрчев, В. А. Дідур, Л. І. Грачова. – К.: Аграрна освіта, 2012. – 416 с.
8. Дидур В. А. Диагностика и обеспечение надежности гидроприводов сельскохозяйственных машин / В. А. Дидур, В. Я. Ефремов. – К.: Техника, 1986. – 128 с.
9. Селиванов К. В. Повышение эффективности эксплуатации лесозаготовительных машин путем совершенствования диагностирования дизельной топливной аппаратуры : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» / К. В. Селиванов ; Москов. гос. ун-т леса. – М., 2013. – 17 с.
10. Фанлейб Б. Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей / Б. Н. Фанлейб. – М.: Машиностроение, 1974. – 263 с.
11. Трубников Г. И. Практикум, по автотракторным двигателям / Г. И. Трубников. – М.: Колос, 1975. – 192 с.
12. Трепененков И. И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов / И. И. Трепененков. – М.: Машгиз, 1983. – 27 с.
13. Пронников А. С. Основы надежности и долговечности машин / А. С. Пронников. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 275 с.
14. Николаенко А. В. Теория, конструкция и расчет автомобильных двигателей / А. В. Николаенко. – М.: Колос, 1982. – 414 с.
15. Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
16. Михлин В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В. М. Михлин. – М.: Колос, 1984. – 336 с.
17. Канарчук В. Є. Надійність машин / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. – К.: Либідь, 2003. – 424 с.
18. Надійність сільськогосподарської техніки / М. І. Черновол [та ін.] ; за ред. М. І. Черновола. – 2 вид., переробл. і допов. – Кіровоград : КОД, 2010. – 168 с.

References

1. Pohorelyy, L. V. (1990). Povyshenye ekspluatatsyonno-tekhnolohycheskoy efektyvnosty sel'skokhozyaystvennoy tekhniky [Improving operational and technological efficiency of agricultural machinery]. K.: Tekhnyka, 176.
2. Parsadanov, I. V. (2003). Povyshenye kachestva y konkurentosposobnosty dyzeley na osnovanyu kompleksnoho toplyvo-ekolohycheskoho kryteryaya [Improving the quality and competitiveness of diesel engines based on integrated fuel-ecological criteria]. X.: NTU «KhPY», 244.
3. Voytyuk, V., Demko, A., Yakymiv, R. (2007). Metodyka opredelenyya tekhnicheskoho sostoyanyya mashyn [The method of determining the technical condition of the machines]. Motrol, № 9A, 131–136.

4. Zhuravel', D. P. (2014). Osobennosti yspol'zovanyya masel byolohycheskoho proyskhozhdennyia dlya mobil'noy tekhniky [Features of use of oils of biological origin for mobile equipment]. Vestnyk Ukraynskoho otdelenyia Mezhdunarodnoy akademyy ahrarynoho obrazovanyia. Melytopol': Kopytsentr «Dokument-servys», 157–165.
5. Dydur, V. A., Nadykto, V. T., Zhuravel', D. P. (2009). Osobennosti ekspluatatsyy mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniky pry yspol'zovanyy byodyzel'noho toplyva [Features of operation of mobile agricultural equipment when using biodiesel fuel]. Tractors and farm machinery, № 3, 3–6.
6. Zhuravel', D. P. (2015). Metodolohyya obespechenyya nadezhnosti mobil'noy tekhniky pry yspol'zovanyy byolohycheskykh TSM [Methodology ensure the reliability of mobile equipment in the use of biological SCI]. Materyaly VI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsyy pamyaty I. I. Martynenko. Enerhoobespechenyya tekhnolohycheskykh protsessov v ahropromyshlennom komplekse Ukrainy. Melytopol', 8–9.
7. Kyurchev, V. M., Didur, V. A., Hrachova, L. I. (2012). Al'ternatyvne palyvo dlya enerhetyky APK [Alternative palivo for energy APK]. K.: Ahraryna osvita, 416.
8. Dydur, V. A., Efremov, V. Ya. (1986). Dyahnostyka y obespechenye nadezhnosti hydroprivodov sel'skokhozyaystvennykh mashyn [Diagnostics and reliability of hydraulic drives for agricultural machines]. K.: Tekhnika, 128.
9. Selyvanov, K. V. (2013). Povyshenye efektyvnosti ekspluatatsyy lesozahotovytel'nykh mashyn putem sovershenstvovanyia dyahnostyrovanyia dyzel'noy toplyvnoy apparatury [Improving the efficiency of exploitation of forest machines by improving the diagnosis of diesel fuel systems] : avtoref. dys. na soyskanye uchenoy stepeny kand. tekhn. nauk : spets. 05.21.01 «Tekhnolohyya y mashyny lesozahotovok y lesnoho khozyaystva». Moskov. hos. un-t lesa, M., 17.
10. Fanleyb, B. N. (1974). Toplyvnaya apparatura avtotraktornykh dyzeley [Fuel injection equipment automotive diesel engines]. M.: Mashynostroenye, 263.
11. Trubnykov, H. Y. (1975). Praktykum, po avtotraktornym dvyhatelyam [Workshop on automotive engines]. M.: Kolos, 192.
12. Trepnenkov, Y. Y. (1985). Ekspluatatsyonnye pokazately sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Performance of agricultural tractors]. M.: Mashhyz, 27.
13. Pronnykov, A. S. (1989). Osnovy nadezhnosti y dolhovechnosti mashyn [The basics of reliability and durability of machines]. M.: Yzdatel'stvo standartov, 275.
14. Nykolaenko, A. V. (1982). Teoryya, konstruktsyya y raschet avtomobil'nykh dvyhatel'nykh [Theory, design and calculation of automotive engines]. M.: Kolos, 414.
15. Kurchatkin, V. V. (2000). Nadezhnost' y remont mashyn [Reliability and repair of machines]. M.: Kolos, 776.
16. Mykhlyn, V. M. (1984). Upravlenye nadezhnost'yu sel'skokhozyaystvennoy tekhniky [Management of reliability of agricultural machinery]. M.: Kolos, 336.
17. Kanarchuk, V. Ye. Polyans'kyi, S. K., Dmytriiev, M. M. (2003). Nadiynist' mashyn [Reliability of machines] /. K.: Lybid', 424.
18. Chernovol, M. I. (2010). Nadiynist' sil's'kohospodars'koyi tekhniky [Reliability of agricultural machinery]. 2-he vyd., pererobl. i dopov. Kirovohrad: KOD, 168.

НАДІЙНІСТЬ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОЛОГІЧНИХ ПАЛИВО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В. А. Дідур, Д. П. Журавель

Анотація. *Енергетична незалежність України – це запорука подальшого соціально-економічного розвитку держави.*

Враховуючи те, що Україна забезпечує свої потреби нафти на 85-90% за рахунок імпорту, а ціна на світовому ринку на неї постійно зростає, це не могло не позначитися на критичному збільшенні собівартості сільськогосподарської продукції, зокрема продуктів харчування. Тому необхідність пошуку шляхів заміни нафтового сировини для виробництва паливо-мастильних матеріалів на сировину з поновлюваних джерел, є стратегічним завданням.

У статті розглянуто питання методології визначення показників надійності елементів функціональних систем мобільної техніки, що працюють як на нафтових, так і на біопаливо-мастильних матеріалах. Визначено закони розподілу параметричних відмов, за допомогою яких встановлені середні ресурси. Зіставлені значення середніх ресурсів елементів функціональних систем, що дозволило встановити ланки з найменшими показниками надійності. Розраховані показники надійності основних елементів систем і надійність мобільної техніки в цілому, що працює на різних видах паливо-мастильних матеріалів (ПММ). При роботі на біологічних паливо-мастильних матеріалах всі показники надійності нижче, ніж при роботі на нафтових, що пояснюється агресивним впливом метанолов біопалива і легких фракцій біомасла на конструкційні матеріали.

Ключові слова: мобільна сільськогосподарська техніка, функціональні системи, біопаливо-мастильні матеріали, надійність, біодизель, експлуатаційні витрати, ресурс

RELIABILITY OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINERY USE OF BIOLOGICAL FUEL AND LUBRICANTS

V. A. Didur, D. P. Zhuravel

Abstract. *Energy independence of Ukraine is the key condition to further economic and social development of the state.*

Ukraine meets its requirements in oil by 85-90% due to import. But the oil price in the world market is constantly growing. It could not but affected the dramatic increase of the cost of agricultural products especially foods. Therefore, the necessity of searching the ways to replace oil feedstock for the production of fuels and lubricants by renewable raw materials is a strategic objective.

The paper deals with the methodology for the determination of reliability indices for the elements of the functional systems of mobile machines which operate both on mineral (fossil) and organic fuels and oils. The laws of distribution of parametric failures have been determined. The laws have been used for the assessment of the average resorts. The average resorts values for the elements of functional systems were compared. This allowed to identify the parts with the

lowest reliability. The reliability indices for the main elements of the systems of mobile machinery have been calculated as well as the reliability of the mobile machines in whole. The research has established when working on the organic fuels and lubricants all the reliability characteristics are lower than when running on the petroleum-based fuels and lubricants. The fact may be explained by the aggressive influence of biofuel methanol and light ends of organic oils on the constructional materials.

Key words: *mobile agricultural machinery, functional systems, biofuels and organic oils, reliability, biodiesel, operating costs, resort*

УДК 631.354.2.026

РОБОЧИЙ ПРОЦЕС СТЕБЛОПІДІЙМАЧІВ ЖАТОК ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ЯК ОБ'ЄКТ МОДЕЛЮВАННЯ

**С. В. Смолінський, кандидат технічних наук
e-mail: s_smolinskyu@meta.ua**

Анотація. В статті наведено механіко-технологічні принципи моделювання робочого процесу стеблепідіймачів жатки зернозбирального комбайна при взаємодії з полеглим стеблостоем зернових культур та копіювання нерівностей поверхні поля, а також обґрунтовано модель ефективного стеблепідіймача. Для забезпечення високих показників якості збирання зернових культур на ділянках з наявним полеглим стеблостоем доцільно в конструкції жатки зернозбирального комбайна встановлювати стеблепідіймачі. Але існуючі конструкції стеблепідіймачів не завжди забезпечують якісне піднімання стебел, оскільки на ефективність роботи впливатимуть як внутрішні, так і зовнішні фактори. Це вимагає проведення системних досліджень. На основі проведеного аналізу обґрунтовано механіко-технологічні принципи моделювання робочого процесу стеблепідіймачів жаток зернозбирального комбайна внаслідок взаємодії пера з полеглим стеблостоем зернових культур та копіювання дном нерівностей поверхні поля, а також запропоновано модель стеблепідіймача, при застосуванні якого забезпечуватиметься висока надійність та ефективність виконання процесу.

Ключові слова: *полегли стебла, стеблепідіймач, піднімання, копіювання, моделювання*

© С. В. Смолінський, 2016