

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСНЫХ МЭС

Людмила Титова, Иван Роговский

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Разработаны модели обеспечения заданных показателей безотказности, экономичности и долговечности функционирующего дизеля лесного МЭС, как функций нагрузки, наработки. Дано теоретическое обоснование оценки (назначение) межремонтных периодов эксплуатации в пределах времени типичного периода использования, типичного эксплуатационного цикла, полного расчетного срока службы к списанию.

Ключевые слова: эффективность, техническая эксплуатация, безотказность, долговечность, техническое обслуживание.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

С 1 июля 2012 года введены в действие требования Международного кодекса относительно управления безопасной эксплуатацией мобильных энергетических средств в лесном хозяйстве и предотвращения загрязнения для всех лесных МЭС независимо от назначения.

Согласно данному документу, каждое лесохозяйственное предприятие Украины должен разработать и реализовать систему управления безопасной эксплуатацией и предотвращение загрязнения и систему управления безопасной эксплуатацией и предотвращение загрязнения для каждого МЭС компании.

В основу разработки каждой системы в условиях ограниченного финансирования лесохозяйственных предприятий Украины, относятся задачи нахождения, разработки и реализации новых экономически эффективных методов технического использования, технического обслуживания и ремонтов двигателей МЭС.

Поэтому проблема повышения эффективности технической эксплуатации дизелей лесных МЭС есть актуальной.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе исследуются показатели безотказности, экономичности и долговечности функционирующего дизеля лесного МЭС, как функций нагрузки, наработки [1-8]. Подчеркнем, что к настоящему времени в этом направлении были получены отдельные разрозненные результаты [9-17].

В связи с этим возникает задача о выборе такой модели технической эксплуатации лесного МЭС, которая достаточно точно описывала реальную систему периодичности технического обслуживания [18-25].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является повышения эффективности технической эксплуатации дизелей лесных МЭС с учетом экологических требований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является процесс изменения технического состояния дизельного двигателя в реальных режимах и условиях эксплуатации.

Предметом исследования является безотказность, долговечность и ремонтпригодность отдельных элементов двигателя и двигателя в целом.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались основные положения математической статистики и теории надежности сложных технических систем в эксплуатации.

Подконтрольными двигателями избраны двадцать двигателей лесных МЭС.

Разработанная имитационная модель требований двигателей и их отдельных элементов к показателям безопасности (вероят-

ности безотказной работы), экологичности (вредным выбросам) и экономической эффективности элементов МЭС.

Математическая модель обеспечения заданных показателей безотказности, долговечности, экономичности и экологичности в рамках времени типичного периода использования (ресурса непрерывной работы, R_{ϕ}) функционирующего элемента дизеля и его элементов во время эксплуатации за оптимальной СТО как функция нагрузки (Pe) и наработки (t) имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_e \text{ в пределах } P_{emin}^{(H)} \leq P_e \leq P_{emax}^{(H)}, \\ n \text{ в пределах } n_{min}^{(H)} \leq n \leq n_{max}^{(H)}, \\ P^i(t) = f(Pe, t) \text{ при } P_{min}^{i(H)}(t) \leq P^i(t) \leq P_{max}^{i(H)}(t), \\ I^i = f(Pe, t) \text{ в пределах } I^i \leq I_{max}^i, \\ b = f(Pe, t) \text{ в пределах } b \leq b_{max}^{(H)}, \\ c = f(Pe, t) \text{ в пределах } c \leq c_{max}^{(H)}, \\ B_{ol}^i = f(Pe, t) \text{ при } B_{olmin}^i(H) \leq B_{ol}^i \leq B_{olmax}^i(H), \\ e_n^i = f(Pe, t) \text{ в пределах } e_n^i \leq e_{max}^{i(H)}, \\ P^{\Gamma D}(t) = f(Pe, t) \text{ в пределах } P_{min}^{\Gamma D(H)} \leq P^{\Gamma D}(t), \end{array} \right. \quad (1)$$

где: Pe – типичная характеристика внешнего нагрузки – двигателя $Pe(t)$,
 t – фактический или планируемый наработка в пределах предназначенного ресурса непрерывной работы,
 n – частота обращения,
 $P^i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента дизеля,
 $P^{\Gamma D}(t)$ – вероятность безотказной работы дизеля вообще,
 I^i – износ i -го элемента дизеля,
 b – удельная затрата топлива,
 c – удельная затрата смазочного масла,
 B_{ol}^i – i -и браковочный показатель смазочного масла,
 e_n^i – i -и удельный вредный выброс,
 $P_{emin}^{\Gamma D(H)}$, $n_{min}^{(H)}$, $P_{min}^{i(H)}(t)$, $P_{min}^{i(H)}(t)$, $P_{min}^{\Gamma D(H)}$,
 $B_{olmin}^i(H)$ – минимальная оценка предназначенных границ исправного (безотказного), экономического и экологически чистого функционирования,
 $P_{emax}^{\Gamma D(H)}$, $n_{max}^{(H)}$, $P_{max}^{i(H)}(t)$, $P_{max}^{i(H)}(t)$, I_{max}^i , $c_{max}^{(H)}$,
 $b_{max}^{(H)}$, $e_{max}^{i(H)}$, $B_{olmax}^i(H)$ – максимальная оценка

предназначенных границ исправного (безотказного), экономического и экологически чистого функционирования.

Анализируя физическую сущность влияния приведенных выше параметров на обеспечение трудоспособности дизеля, можно сделать следующие выводы:

а) параметры функционирующего дизеля в заданных границах являются критериями исправности (безотказности) дизеля как функции нагрузки и наработки;

б) эти же параметры при выходе за установленные границы служат критериями отказы системы.

Осуществлена постановка задач исследований.

Паспортная характеристика, гистограмма и плотность распределения нагрузки дизеля представлены на рис. 1.

Разработанная диагностическая модель (ДМ) обеспечение заданных показателей безотказности и экономичности функционирующего дизеля (рис. 2).

Анализ модели показывает, что критериями отказы функционирующей системы есть технический стан системы и ее элементов, который косвенно характеризуется следующими параметрами:

а) температура наддувного воздух после охладителя, который косвенно характеризует технический стан тракта подачи воздуха для горения, °C:

$$t_{int} = f(Pe, t) \text{ в пределах } t_{intmin} \leq t_{int} \leq t_{intmax};$$

t_{intmin} и t_{intmax} отвечают минимуму и максимуму предназначенных границ безотказного (исправного) функционирования;

б) температура выпускных газов на выходе из цилиндра, который косвенно характеризует тепловое состояние деталей цилиндра-поршневой группы, °C:

$$tg = f(Pe, t) \text{ в пределах } tg_{min} \leq tg \leq tg_{max},$$

в) вероятность безотказной работы топливной аппаратуры (форсунок), $P^{\phi}(Pe, t)$:

$$P^{\phi}(t) = f(Pe, t) \text{ в пределах } P^{\phi}(t) \geq P^{\phi}(t)_{min},$$

г) удельная затрата топлива, $z/(кВт \cdot ч)$

$$b = f(Pe, t) \text{ в пределах } b \leq b_{max}.$$

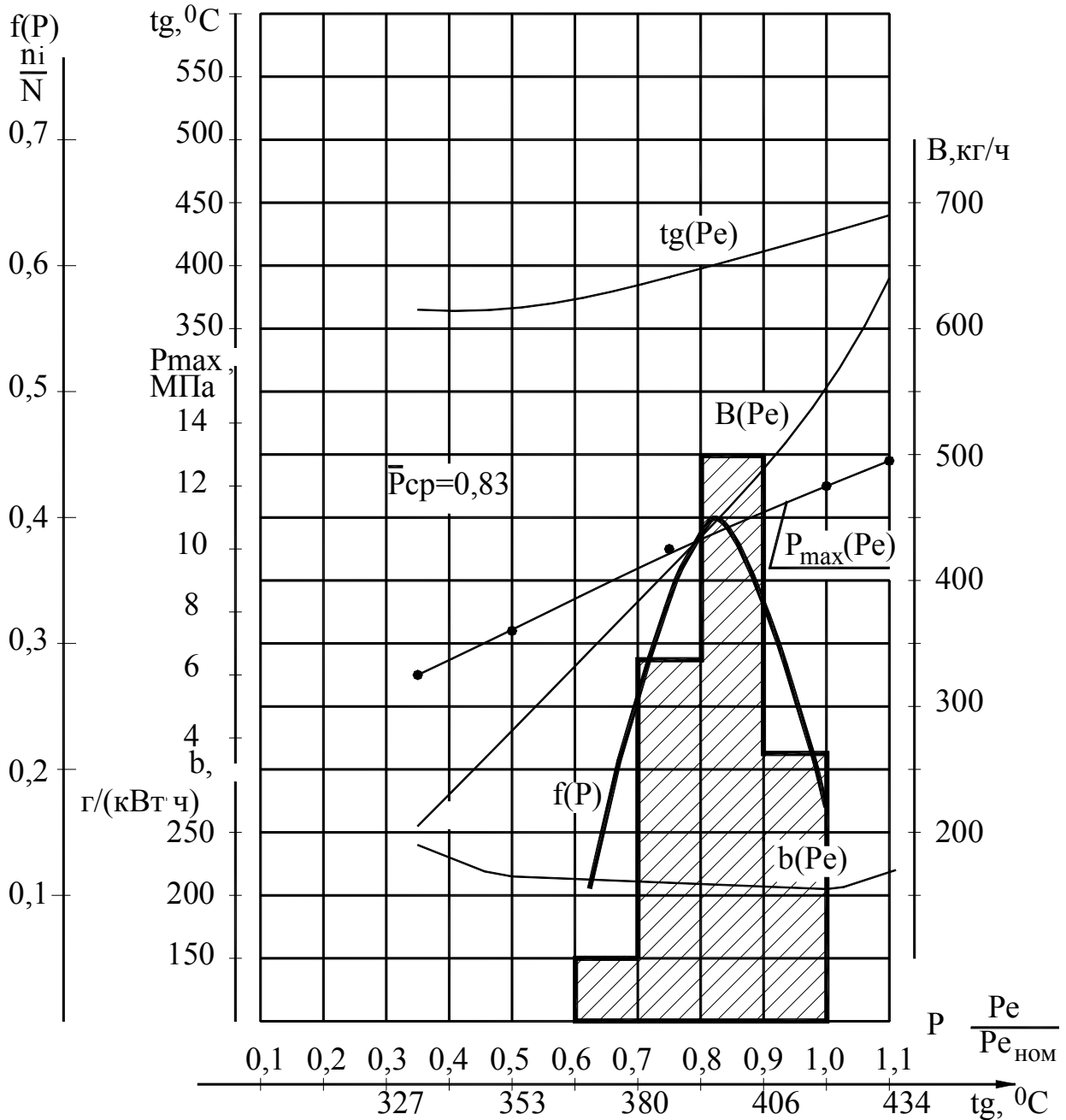


Рис. 1. Паспортная характеристика, гистограмма и плотность распределения нагрузки дизеля
Fig. 1. Passport characteristic, histogram and density of distribution of loading of diesel engine

Главным критерием назначения ресурса непрерывной работы (R_{δ}), а также формирование оптимальной, применено к реальным режимам и условиям эксплуатации, системы ТО принятый комплексный показатель надежности – коэффициент готовности, $\bar{K}_z^{R_{\delta}}$. Статистическая оценка коэффициента готовности в эксплуатации определяется по формуле:

$$\bar{K}_z^{R_{\delta}} = \frac{\sum R_{\delta i}}{\sum R_{\delta i} + \sum_{i=1}^n (\tau_{\delta i \delta i})}, \quad (2)$$

где: n – количество типичных i -х элементов системы; $\tau_{\delta i \delta i}$ – расчетное время восстановления работоспособности системы во время i -го отказа; $\sum R_{\delta i}$ – статистическая оценка суммарного времени использования дизеля по назначению; $\sum_{i=1}^n (\tau_{\delta i \delta i})$ – статистическая оценка суммарного времени восстановления работоспособности дизеля во время i -х отказов.

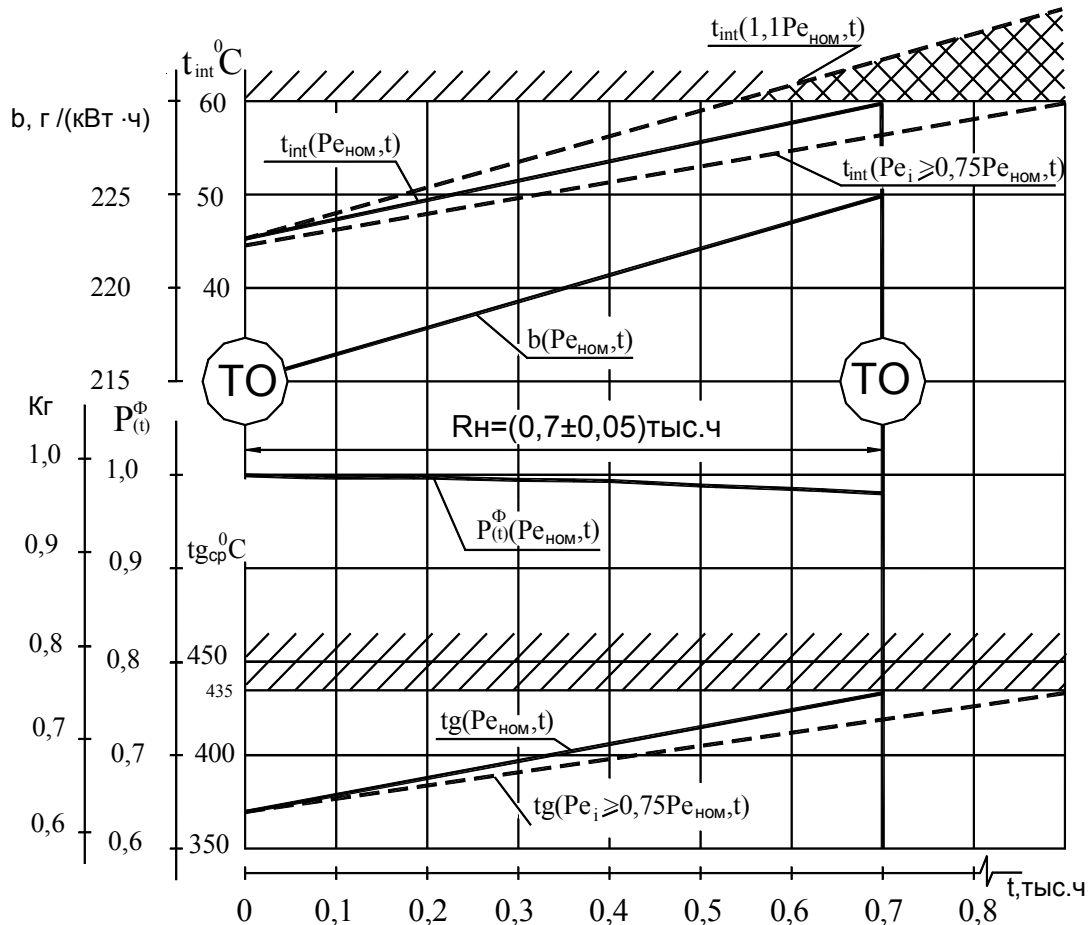


Рис. 3. Диагностическая модель оценки и обеспечения заданных показателей надежности функционирующего дизеля

Fig. 3. Diagnostic model of estimation and maintenance of set indicators of reliability of functioning diesel engine

Предназначенный ресурс непрерывной работы за ДМ $R_6 = (0,7 \pm 0,05) \cdot 10^3 \text{ год}$. Даная ДМ определяет оптимальную, относительно к реальным режимам и условиям эксплуатации, систему технического обслуживания (СТО). Расчетная оценка коэффициента готовности при порядке обслуживания, который предусматривает немедленное начало восстановления работоспособности объекта, который отказал $K_z \geq 0,997$. Хронометрирование деталей и сборочных единиц дизеля проводились микрометрическим образом. Для выявления невидимых дефектов применялись следующие методы дефектоскопии: масляная, цветная, ультразвуковая, капиллярная. Средний размер срабатывания отдельных деталей рассчитывался за формулой:

$$\bar{I}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (3)$$

где: m_i – число измерений величины срабатывания, которые попадают в заданный интервал; n – количество заданных интервалов.

Расчетная скорость срабатывания исследуемой детали дизеля:

$$V_p = V_p(Pe, t) = \bar{V}_{cp} \left(1 + \Delta \bar{V}_{max} \right), \quad (4)$$

где: \bar{V}_{cp} – среднее значение скорости срабатывания в рассмотренной выборке (N):

$$\bar{V}_{cp} = I_B / T_{cp}; \quad (5)$$

где: I_B – верхняя доверительная граница средней величины срабатывания, определяется согласно подобранным теоретическим законам распределений при доверительной вероятности β (заданная $\beta = 0,95$).

$\Delta \bar{V}_{max}$ – математическое ожидание неравномерности скорости срабатывания:

$$\Delta \bar{V}_{max} = \sum_{i=1}^n \Delta V_{imax} / N_i . \quad (6)$$

Определение расчетной величины долговечности (ресурсной характеристики) отдельного элемента технической системы за срабатыванием осуществляется за формулой

$$R_{пред} = I_{пред}^i / V_p^i , \quad (7)$$

где $I_{пред}^i$ – предельно допустимое срабатывание детали согласно инструкции завода-изготовителя дизеля.

Гамма-процентные ресурсы рассчитывались согласно подобранным законам, которым подчиняются распределения срабатывания. В процессе обработки статистических данных получены следующие результаты.

Втулка цилиндровая (ВЦ). Самое большое срабатывание ВЦ находится в плоскости обращения шатуна и приходится на район расположения первого поршневого кольца при положении поршня в верхней мертвой точке. С учетом хонингования рабочей поверхности втулки во время заминания полного комплекта поршневых колец ($R_{П2}$) для получения оптимальной жесткости сопряжения деталей: зеркала втулки цилиндров, поршневых колец, поршня, гамма-процентный ресурс $R_{95}^{ВЦ} \geq 12$ тыс. ч.

Первое поршневое кольцо (ПК). Главным критерием, который характеризует долговечность первого поршневого кольца во

время эксплуатации за оптимальной СТО, есть процесс срабатывания соединений “первая поршневая канавка - первое поршневое кольцо” – изменение зазора по высоте и увеличение зазора в стыке поршневого кольца. Гамма-процентный ресурс $R_{95}^{ПК} \geq 15$ тыс. ч.

Головка поршня. Основным критерием долговечности головки поршня есть срабатывания канавки под первое ПК по высоте. Гамма-процентный ресурс к переходу на первый ремонтный размер – $R_{80}^{порш} \geq 14$ тыс. ч.

Рубашка цилиндра. Установлено, что критерием долговечности рубашек цилиндров есть вероятность безотказной работы данного элемента как функция нагрузки и наработки. За исследуемый период (15000 ч) зарегистрировано девятнадцать отказов вследствие развития трещин в зоне технологического паза посадочного бурт - района отверстия для прохода шпильки крышки цилиндра. Результаты математической обработки статистических данных относительно отказов рубашек цилиндров представлены на рис. 3: $\bar{P}(t)$ – статистическая оценка вероятности безотказной работы; $P(t)$, $\mu(t)$, $\lambda(t)$ – расчетные оценки количественных характеристик надежности согласно усеченному нормальному закону. Гамма-процентный ресурс $R_{80}^{ПК} \geq 14$ тыс. ч.

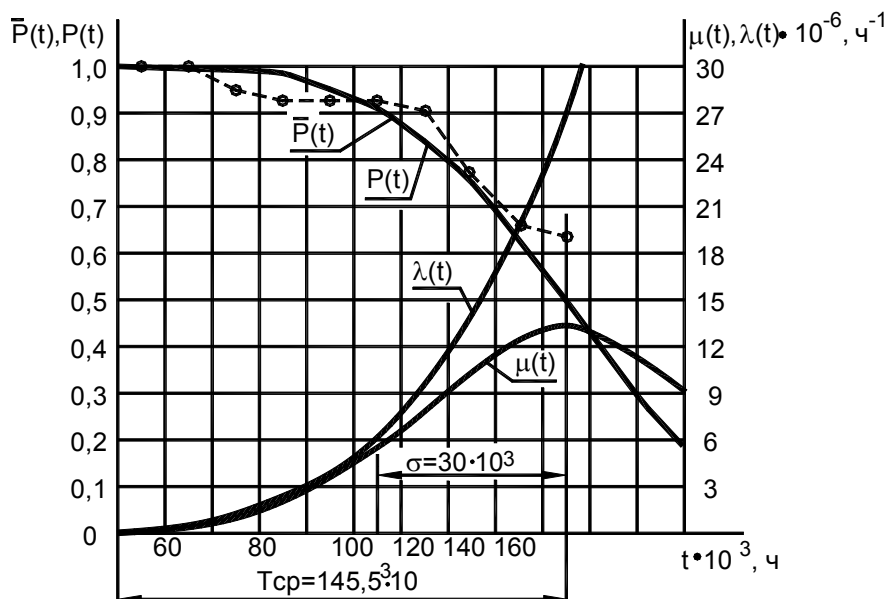


Рис. 3. Распределение единичных показателей безотказности и долговечность рубашек цилиндров дизелей

Fig. 3. Distribution of individual indicators of non-failure operation and durability of shirts of cylinders of diesel engines

Клапаны впускные и выпускные. Критерием долговечности клапанов есть процесс срабатывания соединения “нижняя направляющая втулка - шток клапана”.

Необходимо отметить, что соединение впускных клапанов обрабатываются немного интенсивнее, чем выпускных. Гамма-процентный ресурс втулок клапанов $R_{80}^{KL} \geq 45$ тыс. ч.

Коленчатый вал. В периоды ремонтов контроль стана коленчатого вала ведется по шейкам. Гамма-процентный ресурс $R_{80}^{KB} \geq 140$ тыс. ч.

На двигателях исследуемой марки имеет место срабатывания соединения опорных поверхностей и рубашки цилиндра. Гамма-процентный ресурс к первому растачиванию опорной поверхности – $R_{90}^{остов} \geq 60$ тыс. ч.

Анализ показывает, что главным критерием, который определяет предназначенный ресурс к первому перебираню, есть процесс срабатывания первого поршневого кольца в стыке. Необходимая разборка двигателя для его замены. За данной ДМ предназначенный ресурс к первому перебираню $R_{II} = (12 \pm 3)$ тыс. ч.

Главными критериями, которые определяют ресурс к второму перебираню есть процесс срабатывания поршневых колец, а также требования инструкции завода-изготовителя к техническому стану вкладышей. За данной ДМ предназначенный ресурс к второму перебираню $R_{II2} = (30 \pm 3)$ тыс. ч.

Данная последовательность СТО и перебирание двигателя определяет оптимальную, относительно к реальным режимам и условиям эксплуатации, систему технического обслуживания (СТО).

Критерием оценки оптимальности СТО принят коэффициент технического использования в пределах времени, которое определяется эффективность технической эксплуатации.

Формула расчетов затраты и снабжения сменных и запасных частей обменного фонда отдельных j -х элементов сложной технической системы (лесного МЭС) на i -й календарный год заказа имеет следующий вид:

$$N_{\text{витр}}^j = \frac{\sum_{j=1}^n (T_{\text{витр}} - T_{\text{уст}}) \cdot t_{\text{ре}}^{(j)}}{R_{\text{повн}}^j}, \quad (8)$$

где: n – количество j -х элементов;

$t_{\text{ре}}^{(j)}$ – планированное среднее наработка j -го элемента системы за типичный год эксплуатации, тыс. ч;

$R_{\text{повн}}^j$ – полный ресурс j -го элемента системы к списанию, тыс. ч;

$T_{\text{витр}}$ – планированный календарный год снабжения заказа j -го элемента системы, год;

$T_{\text{уст}}$ – календарный год установки (начала эксплуатации) j -го элемента на МЭС, год.

Стоимость заказа на снабжение j -х элементов на i -и год эксплуатации лесного МЭС, которое планируется:

$$C_{\text{витр}} = \sum_{j=1}^N C^j, \quad (10)$$

где: C^j – стоимость j -го элемента системы по состоянию на момент заказа, долл.

Установлено расчетные нормы затраты и снабжения сборочных единиц и деталей дизеля на все рассмотренные виды ТО.

Сопоставление имитационной модели требований с полученными данными исследований по проблеме, которая решается, во время типичного периода использования лесного МЭС $R_6 = (12 \pm 3)$ месяцев, типичного эксплуатационного цикла (ЭЦ) $R_{ЭЦ} = [(12 \pm 3) \cdot 5]$ месяцев и полного срока службы к списанию ≥ 12 лет (табл. 1).

При этом условный годовой экономический эффект разработки – 6,4 тыс. долл. на одно лесное МЭС.

Плановый срок окупаемости затрат на разработку диагностических моделей оптимальной системы технического обслуживания и их реализация в системе управления безопасностью типичных лесохозяйственных предприятий составляет 0,62 года.

ВЫВОД

Разработана и выведена диагностическая модель обеспечения заданных показателей безотказности и экономичности функционирующего дизеля лесного МЭС. За данной моделью уточнен ресурс бесперебойной работы дизеля, разработан регламент и определенные объемы обязательных работ относительно проведения технического обслуживания.

Таблица 1. Имитационная модель требований к показателям надежности, экономичности, экологичности лесного МЭС, отдельных элементов и вопрос ее реализации
Table 1. Imitating model of requirements to indicators of reliability, profitability, ecological compatibility wood MES separate elements and a question of its realisation

| Показатель, который контролируется (ISO серии 9000 1-4) | Размерность | Свойство | Требования | Решаемая проблема по ТО | | |
|--|-------------|---|-----------------------|--|---|----------------------|
| | | | | Эксплуатация за исходными инструкциями | Эксплуатация за диагностической моделью | Изменение показателя |
| Предназначенный ресурс непрерывной работы, R_b | тыс. ч. | долговечность | $\leq (12 \pm 3)$ мес | $1 \pm 0,05$ | $0,7 \pm 0,05$ | -0,3 |
| Коэффициент готовности, K_G | — | безотказность + долговечность + ремонтпригодность | ≥ 1 | 0,987 | 0,997 | +0,01 |
| Удельная затрата топлива, $b_{(Pe,t)}$ | г/(кВт·ч) | экономичность | $\geq b_{min}$ | 225 | 220 | -0,05 |
| Удельная затрата смазочного масла, $c_{(Pe,t)}$ | г/(кВт·ч) | экономичность | $\geq c_{min}$ | 1,9 | 1,9 | — |
| Вредный выброс с выпускными газами, по оксидах азота, $e_n(Nox)^*$ | г/(кВт·ч) | экологичность | $\leq 12,88$ | 12,88 | 12,2 | -0,4 |
| Коэффициент технического использования, $K_{ТВ}$ | — | долговечность + ремонтпригодность | $K_{ТВ}$ расчёт | 0,8 | $\geq 0,85$ | +0,05 |
| Полный ресурс к списанию, R_C | тыс. ч. | долговечность | ≥ 12 лет | 100 | $\geq (120 \pm 6)$ | +20 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Galiullin P.P. 2009: Povyshenie effektivnykh pokazatelej traktornykh dizelej elektronnyim upravleniem toplivopodachi: Diss. dokt. tekhn. nauk. – Sankt-Peterburg-Pushkin. – 600.
2. Dvigun 2004: Dviguni vnutrshnego sgoraniya: serya pdruchnikv u 6 tomakh. T. 3. Komp'yutern sistemi keruvannya DVZ / Za red. prof. A.P. Marchenka ta zasl. dyacha nauki ukrani prof. A.f. Shekhovtsova. – Kharkv: Prapor. – 344.
3. Olesov I.Y. 2005: Povyshenie ekonomicheskikh, effektivnykh i ekologicheskikh kachestv avtotraktornogo dizelya ispolzovaniem metoda otklyucheniya-vklyucheniya tsilindrov i tsiklov: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – M. – 201.
4. Krushedolskij O.G. 2007: Modelyuvannya robochikh protsesv transportnykh dizelv na ekspluatatsijnikh rezhimakh [Tekst]: Navch. posbnik / O.G. Krushedolskij; Ukranska derzhavna akademya zalzничного transportu. – Kh.: Ukrdazt. – 218.
5. Pojda A.N. 2007: Model monitoringa zagruzki avtotraktornykh dizelej v ekspluatatsii // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – №2. – 126-131.
6. Beshun O.A., Gumennij S.S. 2012: Analz rezhimv roboti zavantazhenost dvigunv samokhdnikh lsovikh mashin // Zbrnik naukovikh prats / Visnik magistraturi Tekhnchnogo NHI Natsionalnogo unversitetu biopeycpiv i prirodokoristuvannya Ukrani. – K., – Vip. 2. – 58-63.
7. Golovchuk A.F. 2012: Uluchshenie toplivnoj ekonomichnosti i snizheniya dymnosti traktornykh dizelej putem sovershenstvovaniya sistemi avtomaticheskogo regulirovaniya: Monografiya / A.F. Golovchuk – Kharkov: KNADU. – 472.
8. Tyrnov Y.A. 2001: Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya mashinno-traktornykh agregatov sovershenstvovaniem sistem kontrolya rezhimov ikh raboty: Dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.20.01, 05.20.03. – Tambov. – 333.
9. Vodyanik I.I. 1994: Ekspluatatsijn vlastivost traktorv avtomoblv. – K.: Urozhaj. – 222.
10. Luschtskij Y.V. 1985: Ekspluatatsionnyj raskhod topliva i metod ego opredeleniya / Luschtskij Y.V., Kosulin A.G. // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – Kh. – Vyp. 41. – 96-104.
11. Traktory 1981: Traktory. Ch. III. Konstruirovaniye i rascht: [Ucheb. posobie dlya vtuzov po spets. "Avtomobili i traktory" / V.V. Guskov, I.P. Ksenevich, Y.E. Atamanov, A.S. Solonskij]; Pod obsch. red. V.V. Guskova. – Mn.: Vysh. shkola. – 383.
12. Flppov A. 2001: Pro mozhlivst regulyvannya potuzhnost bagatotsilndrovikh dizelnikh dvigunv metodom vdklyuchennya okremikh robochikh tsiklv / Flppov A., Beshun O., Krasowski E. // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Natsionalnij agrarnij unversitet, Kyiv, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie. – Lublin. – T. 1. – C. 33-37.
13. Flppov A.Z. 2005: Matematichna model dinamiki bagatotsilndrovogo dizelnogo dviguna z regulyvannyam potuzhnost vdklyuchennyam okremikh robochikh tsiklv (drts) / A.Z. Flppov, O.A. Beshun, S.I. Topchj // Naukovij vsnik Nats. agrarn. un-tu. – Kyiv. – Vip. 80. – 317-325.
14. Filippov A. 2005: Dinamika dizelnogo DRTS (Dvigatelya s regulirovaniem moschnosti otklyucheniem otdelnykh robochikh tsiklov) / A. Filippov, A. Beshun, Y. Gerasimchuk, O. Gluhovska, L. Evchenko // MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – T.7. – C. 83–91.
15. Flppov A.Z. 2009: Sistema regulyvannya potuzhnost bagatotsilndrovogo dizelya vidklyuchennyam robochikh tsiklv z sinkhronnim pripinennyam protsesv gazoobminu / Flppov A.Z., Beshun O.A. // Sakon'09: Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojednych: Zarzadzanie i marketing w motoryzacji. – Rzeszov. – T. XX. – 127-131.
16. Peters G. 2007: Cylinder deactivation on 4 cylinder engines: A torsional vibration analysis [text] / Gilbert Peters // Eindhoven University of Technology (TU/e), DCT 2007-11. February 15, 2007. – 83.
17. Howard G. 1983: 2, 4, 6, 8. Which cylinder shall we operate // Motor (L), 1983, – 25 VI. – №4207. – 52-53.
18. Boltyanskaya Natalya. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosposobnosti yeye produktsii / Natalya Boltyanskaya // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 14, No 3. – 164-176.
19. Watanabe E. 1982: Cylinder Cut-off of 4-stroke Cycle Engines at Part-Load and Idle / Watanabe E., Fueutani I. // SAE Technical Paper 820156. – 9.

20. Linnik A.V. 1983: Povyshenie ekspluatatsionnoj toplivnoj ekonomichnosti transportnykh dizelej putm avtomaticheskogo regulirovaniya chisla rabotayuschikh tsilindrov: Dis... kand. tekhn. nauk.: 05.04.02. – Kh. – 134.
21. Gennadiy Golub, Oleg Marus. 2011: Optimizatsiya parametriv mashin ta obladnannya Motrol Motoryzacja i energetyka rolnictwa Tom 13 B Lublin 15–17.
22. Balabin V.N. 2007: Regulirovanie transportnykh dvigatelej otklyucheniem chasti tsilindrov. Monografiya. – M.: GOU "Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte. – 143.
23. Medvedv A.N. 2008: Povyshenie toplivnoj ekonomichnosti avtomobilnykh dizelej otklyucheniem chasti tsilindrov: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – Chelyabinsk. – 138.
24. Khusainov V.N. 2011: Obosnovanie metodiki i razrabotka tekhnicheskikh sredstv dlya issledovaniya effektivnosti konvertatsii dizelej na regulirovanie rezhimov raboty propuskom rabochikh khodov porshnem: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – Sankt-Peterburg-Pushkin. – 116.
25. Strashnov S.V. 2012: Regulirovanie dizelya 6CH11/12,5 izmeneniem chisla rabotayuschikh tsilindrov ili tsiklov: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – M. – 18.

EFFECTIVENESS OF TECHNICAL MANUAL FOREST MES

Summary. Models of maintenance of set indicators of non-failure operation, profitability and durability of functioning diesel engine wood MES, as functions of loading, an operating time are developed. The theoretical substantiation estimations of between-repairs periods of operation within time of typical period of use, typical operational cycle full of settlement service life to write-off is given.

Key words: efficiency, technical operation, non-failure operation, durability, maintenance service.