

*В.П. Истомин, к.т.н., доц., Н.В. Розенфельд, ст. викл. (ХНАДУ),
С.И. Овсянников, к.т.н., доц. (ХНТУСХ), В.С. Бей, студент (ХНАДУ)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ АВТОГРЕЙДЕРА ДЗК-250

Наведено науково-обґрунтовану методику визначення показників надійності окремих вузлів і агрегатів (систем) автогрейдерів сімейства ДЗК-250.

Ключові слова: надійність, автогрейдер, відмова.

Приведена научно-обоснованная методика определения показателей надежности отдельных узлов и агрегатов (систем) автогрейдеров семейства ДЗК-250.

Ключевые слова: надежность, автогрейдер, отказ.

The scientifically-proved technique of the definition the indicators of separate knots's reliability and motor graders's units (systems) of the family DZK-250 is resulted.

Key words: reliability, motor grader, failure.

Постановка проблеми. Известно, что понятие “надежность” продукции входит в понятие “качество” ее.

В системе свойства машин, проявляющихся при использовании и подверженных изменению с течением времени, особое место (и при этом одно из наиболее важных) занимают свойства надежности.

Для поддержания качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции, в том числе и машиностроительной, заводам-изготовителям необходимо постоянно знать уровень ее надежности. Представляется, что очень часто и на заводах-изготовителях дорожно-строительной техники оценка качества и надежности машин и их узлов ведется эпизодически, интуитивно, “на ощупь”, без глубокого научного анализа, а связь заводов с эксплуатирующими машины организациями слабая.

Анализ последних исследований и публикаций. Известны многие научные работы, посвященные надежности дорожно-строительных машин, исследованию влияния на нее отдельных факторов и режимов нагружения машин. Однако, службы заводов-изготовителей не всегда владеют научно-обоснованной методикой определения показателей надежности машин в реальных условиях эксплуатации.

Показатели надежности машин, узлов, деталей носят статистический характер. Эти показатели достоверно можно получить на основе сбора информации в реальных условиях эксплуатации, поскольку в этих

условиях действуют все факторы, влияющие на износ и отказы машин, узлов.

На основе методов теории вероятностей и математической статистики успешно определяются показатели надежности машин, их отдельных узлов, агрегатов.

Формулирование целей статьи. Целью данной работы является научно-обоснованное определение этих показателей, например, для двигателя СМД-62 и некоторых его систем, как наиболее подверженных отказам при эксплуатации автогрейдеров семейства ДЗК-250.

Изложение основного материала.

Надежность двигателя СМД-62 и его узлов.

Кафедра ПТ СДМО ХНАДУ провела обследование 25 автогрейдеров семейства ДЗК-250, эксплуатирующихся в Харьковской и соседних с ней областях Украины. При этом была уточнена и использована информация самих эксплуатирующих технику организаций и хозяйства, данные завода-изготовителя (Крюковский вагоностроительный завод) по отказам автогрейдеров и др. информация. Все машины статистической выборки (25 штук) имели на начало обследования примерно одинаковую наработку с начала эксплуатации 1900-2000 моточасов.

Данные обследований и другая информация по отказам автогрейдеров были систематизированы, обработаны и явились основой оценки надежности отдельных узлов и агрегатов машин.

Расчет количественных показателей надежности проводится по схеме ремонтируемого изделия с учетом того, что процесс приработки завершен, технические обслуживания и ремонты производятся в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации, отказавшие детали и узлы заменяются новыми или отремонтированными.

При этих условиях поток отказов будет простейшим и постоянным во времени, а вероятность безотказной работы определяется уравнением:

$$P(t) = e^{-\omega t}, \quad (1)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы узла, детали;

ω – параметр потока отказов 1/тыс. час;

t – наработка машины (узла) в тыс. час.

Методика расчета

1. Определяется среднее количество отказов, приходящихся на одну машину (узел)

$$n = \frac{\sum n_j}{N_o}, \quad (2)$$

где $\sum n_j$ – общее количество отказов;

N_o – выборочная совокупность машин (узлов) поставленных под наблюдение.

2. Определяется средняя наработка на отказ (один из важнейших показателей надежности) по формуле:

$$\bar{t} = \frac{\sum \bar{t}_i}{\sum \bar{n}_i}, \quad (3)$$

где $\sum \bar{t}_i$ – средняя суммарная наработка одной машины (узла) за наблюдаемый период времени.

3. Определяется средний параметр потока отказов

$$\bar{\omega} = \frac{1}{\bar{t}}, \text{ 1/тыс. час.} \quad (4)$$

4. Определяется среднее квадратичное отклонение среднего параметра потока отказов

$$\sigma_{\bar{\omega}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\omega_i - \bar{\omega})^2}{\sum i_n}}, \quad (5)$$

где ω_i – параметр потока отказов за определенный интервал наработки.

Если данные наблюдений не группируются (в нашем случае не группируются), то $\sigma_{\bar{\omega}}$ – принимается приблизительно равным $\bar{\omega}$.

5. Определяется среднее квадратичное отклонение выборочного параметра потока отказов по формуле:

$$\sigma_{\sigma_{\bar{\omega}}} = \frac{\sigma_{\bar{\omega}}}{\sqrt{N_0 - 1}}, \quad (6)$$

где $\sigma_{\sigma_{\bar{\omega}}}$ – показывает, в каких пределах изменяются параметры потока отказов отдельных машин от среднего.

6. Определяется коэффициент гарантии для определения гарантированной вероятности, с которой вычислен средний параметр потока отказов (t_{Γ})

$$t_{\Gamma} = \frac{\sigma_{\bar{\lambda}}}{\sigma_{\sigma_{\bar{\lambda}}}} \sqrt{N_0 - 1}. \quad (7)$$

Если $t_{\Gamma} > 3$, то параметр потока отказов вычислен с гарантированной вероятностью $P_{\Gamma} > 0,997$, при $t_{\Gamma} > 1,96$, $P_{\Gamma} > 0,955$.

7. На основе t_{Γ} определяется верхнее нижнее гарантированное отклонение параметра потока отказов

$$\bar{\omega} - t_{\Gamma} \sigma_{\sigma_{\bar{\omega}}} < \bar{\omega} < \bar{\omega} + \sigma_{\sigma_{\bar{\omega}}}, \quad (8)$$

где $\bar{\omega} - t_{\Gamma} \sigma_{\sigma_{\bar{\omega}}}$ – гарантированное нижнее значение среднего параметра отказов генеральной совокупности;

$\bar{\omega} + t_{\Gamma} \sigma_{\sigma_{\bar{\omega}}}$ – гарантированное верхнее значение среднего параметра потока отказов генеральной совокупности.

8. Определяется коэффициент отказа деталей (элементов) машины (узла)

$$K_{от.д} = \frac{\sum n_d}{\sum n_i}, \quad (9)$$

где $\sum n_d$ – сумма отказов узла, детали;

$\sum n_i$ – сумма отказов исследуемой машины (узла).

9. Определяются частные параметры потока отказов

$$\bar{\omega}_d = \bar{\omega} \cdot K_{от.д}. \quad (10)$$

10. Определяется наработка на отказ узла или детали

$$t_d = \frac{1}{\bar{\omega}_d}. \quad (11)$$

На основе данных таблицы 1 можно определить частные параметры потоков отказов ω и наработки на отказ для отдельных деталей (групп, элементов и т. п.). Например, средний параметр потока отказов поршневой группы:

$$\omega_4 = 1,94 \cdot 0,216 = 0,419 \text{ - 1/тыс.час; тогда}$$

– средняя наработка на отказ поршневой группы

$$t_{п.г} = \frac{1}{0,419} = 2,387 \text{ тыс. час.};$$

– для систем питания (топливная аппаратура и т. п.) коэффициент отказа

$$K_5 = 0,25;$$

тогда

$$\omega_5 = 1,94 \cdot 0,25 = 0,485;$$

– средняя наработка на отказ системы питания

$$\bar{t}_5^n = \frac{1}{0,485} = 2,06 \text{ тыс. час.};$$

– средняя наработка на отказ двигателя

$$\bar{t}_{дв} = \frac{1}{1,94} = 0,515 \text{ тыс. час};$$

– среднее квадратичное отклонение среднего параметра потока отказов дизеля (данных из таблицы 1)

$$\sigma_{\bar{\omega}} = \sqrt{\frac{13,363}{10}} = 1,15 \text{ 1/тыс.час.};$$

– среднее квадратичное отклонение выборочного параметра потока отказов

$$\sigma_{\sigma\bar{\omega}} = \frac{1,15}{\sqrt{25-1}} = \frac{1,15}{4,894} = 0,23 \text{ 1/тыс.час.};$$

– коэффициент гарантированной вероятности параметра потока отказов

$$\bar{t}_T = \frac{1,15}{0,23} \cdot \sqrt{25-1} = 24,5.$$

Таблица 1 – Нарботка до отказа основных элементов систем

№ п/п	Наименование основных отказавших элементов систем (узлов) и расчетные величины	Интервал наработки, тыс.час.										$\sum n$	K_i
		0-0,2 (0,1)	0,2-0,4 (0,3)	0,4-0,6 (0,5)	0,6-0,8 (0,7)	0,8-1,0 (0,9)	1,0-1,2 (1,1)	1,2-1,4 (1,3)	1,4-1,6 (1,5)	1,6-1,8 (1,7)	1,8-2,0 (1,9)		
1	Головка блока, газораспределительный механизм		1		2		2		3	2	3	13	0,134
2	Блок цилиндров						1			1		2	0,0206
3	Кривошипно-шатунный механизм			1		1		2		2	2	8	0,082
4	Поршневая группа						2	3	5	5	6	21	0,216
5	Система питания основания	2	1	2	2	3	2	3	3	3	3	24	0,25
6	Система смазки		1			1			2		2	6	0,062
7	Система охлаждения						1		1		1	3	0,031
8	Система пуска (пуск. двиг., стартер зажиг. и т. п.)			1		1		1	2		1	6	0,062
9	Сист. питания воздухом (турбо-компрессор, воздухоочиститель, впуск. тракт и т. п.)			1		1	2			2		6	0,062
10	Система подогрева дизеля				1			1		1		3	0,031

Ниже представлены показатели безотказности для двигателя СМД-62 автогрейдера ДЗК - 250, отдельных его узлов (систем).

Показатели безотказности двигателя СМД - 62:

1. Среднее число отказов дизеля n за назначенный ресурс – 3,88
2. Нарботка на отказ дизеля $T_{отк}$ тыс. час. – 0,515
3. Параметр потока отказов co , 1/тыс. час. – 1,94
4. Выборочное среднее квадратичное отклонение параметра отказов $\sigma_{\sigma\bar{o}}$, 1/тыс. час. – 0,23
5. Коэффициент гарантированной вероятности параметра потока отказов $\bar{t}_T$, – 24,5
6. Коэффициент отказа системы питания дизеля K_n – 0,25
7. Нарботка на отказ системы питания дизеля $T_{отк.п.}$ тыс. час. – 2,06
8. Коэффициент отказа по поршневой группе дизеля $K_{n.г}$ – 0,216
9. Нарботка на отказ по поршневой группе дизеля $\Gamma_{отк.п.г.}$ тыс. час. – 2,387

На рисунках 1-4, приведены графики, составленные по результатам расчета безотказной работы дизеля СМД - 62 в целом, а также системы питания его и поршневой группы. Эти графики дают наглядную картину по показателям надежности дизеля и его отдельных элементов (систем) за определенный промежуток времени, что позволяет наметить ряд мероприятий: установление межремонтного периода, периодичность технического обслуживания, выявить наиболее слабые узлы и системы, наметить мероприятия для повышения надежности.

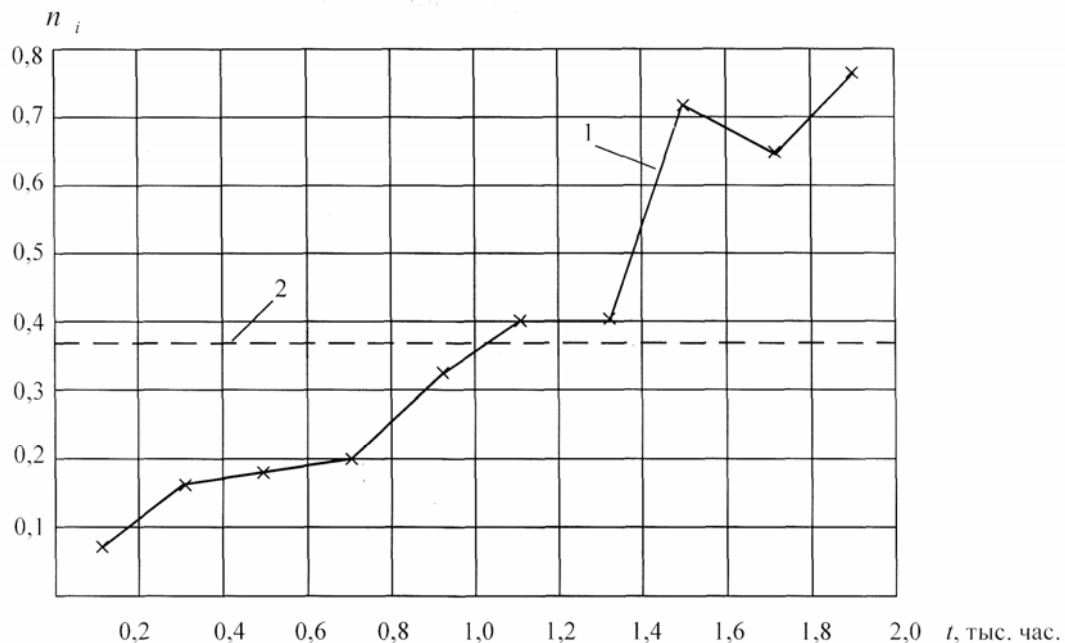


Рисунок 1 – Полигон распределения отказов двигателя СМД - 62:

1 – электрический полигон распределения отказов; 2 – интегральная прямая распределения отказов

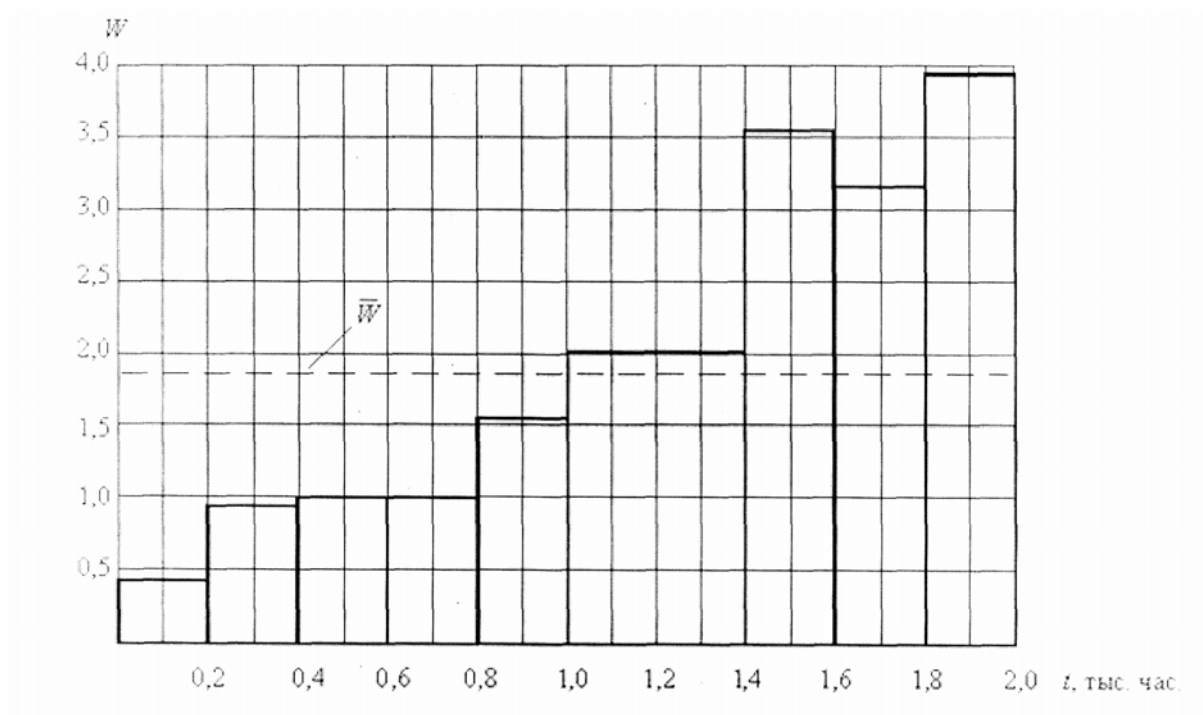


Рисунок 2 – Гистограмма параметров потока отказов двигателя СМД – 62

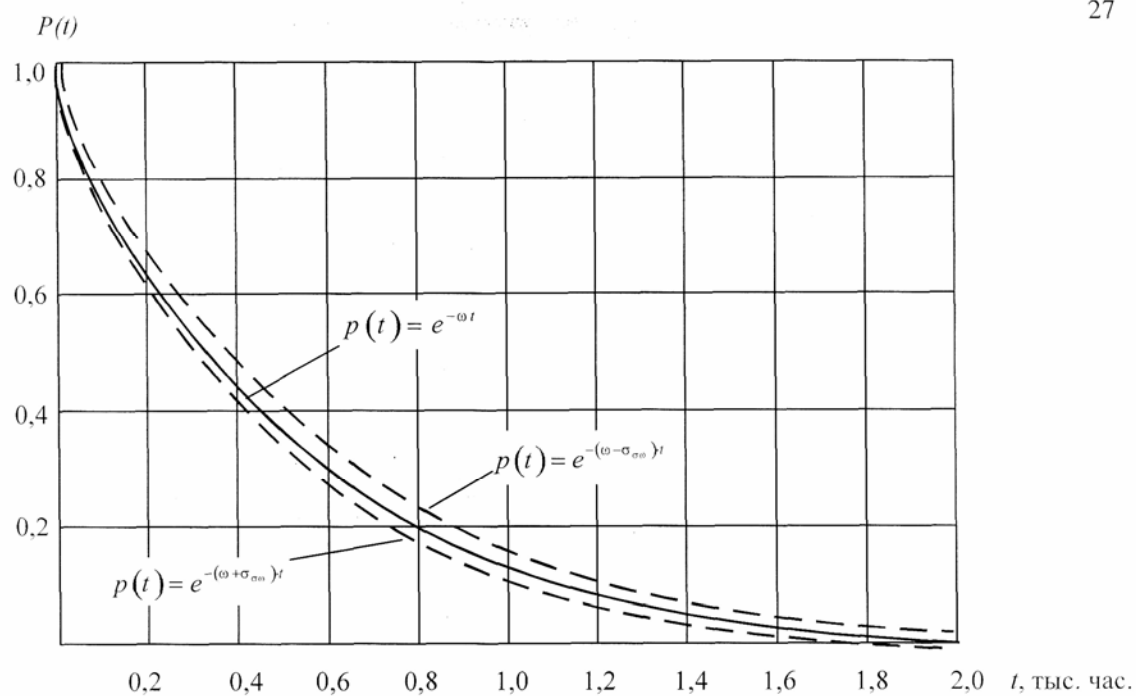


Рисунок 3 – Кривая вероятности безотказной работы двигателя СМД – 62

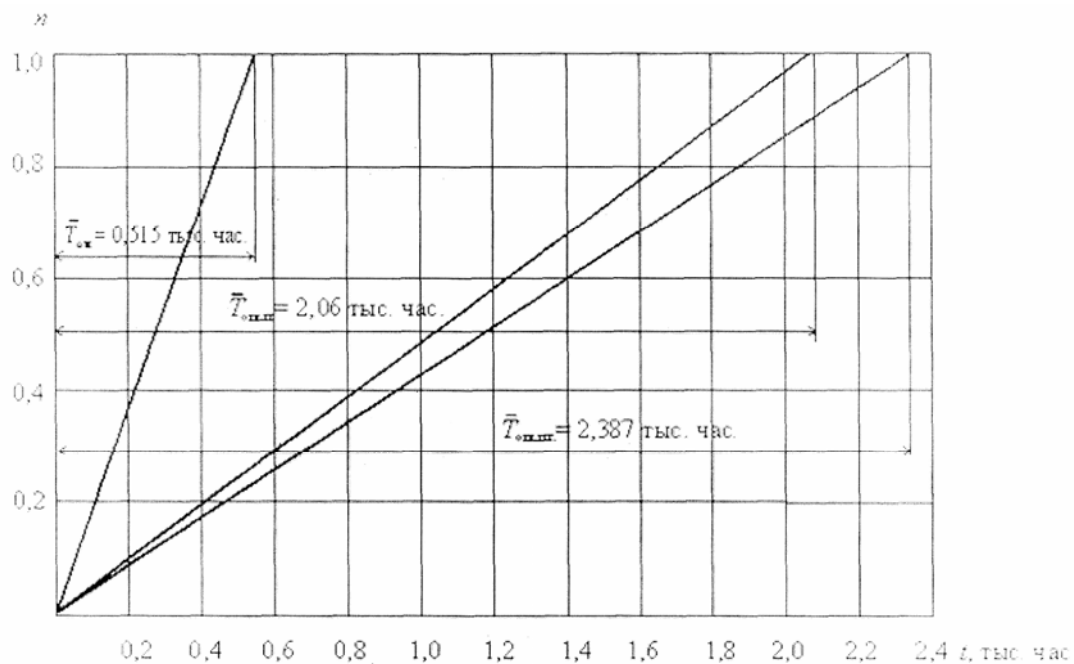


Рисунок 4 – Нарботка на отказ:

$T_{отк}$ – наработка на отказ двигателя; $T_{отк.п}$ – наработка на отказ системы питания;
 $T_{отк.п.г}$ – наработка на отказ поршневой группы.

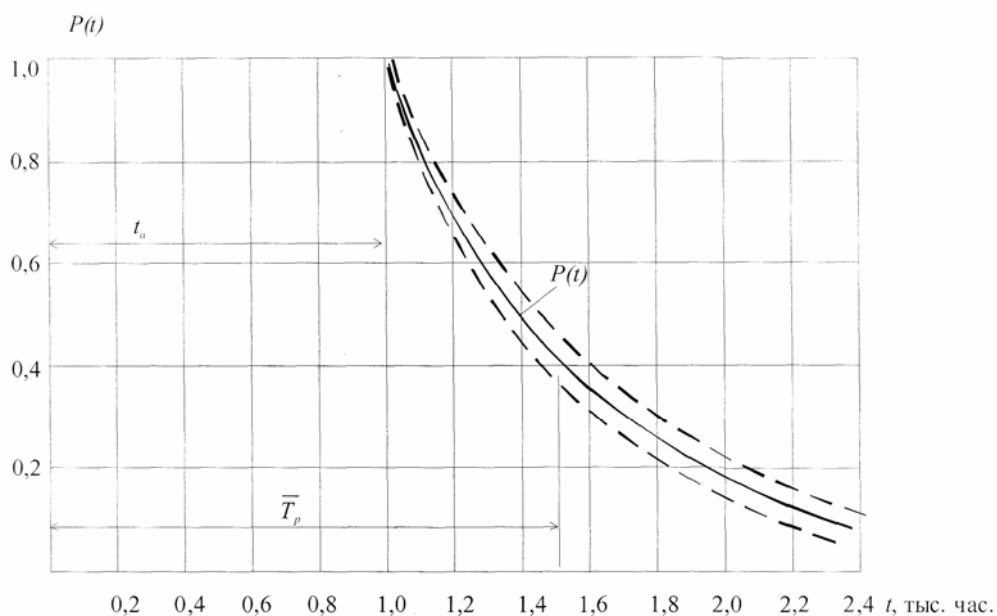


Рисунок 5 – Оценка технического уровня поршневой группы двигателя СМД – 62

Таблица 2 – Основные показатели долговечности поршневой группы двигателя СМД–62

Показатель	Интервалы, тыс. час.					Примечание
	1-1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,8	1,8-2,0	
n_i	2	3	5	5	6	$\sum n_i = 21$
N_o	25	25	25	25	25	
$P_i(t) = \frac{N_o - \sum n_i}{N_o}$	0,92	0,8	0,6	0,4	0,16	
$\bar{N}_i = \frac{N_i + (N_i - \sum n_i)}{2}$	24	21,5	17,5	12,5	7	
$\frac{n_i}{\bar{N}_i}$	0,0833	0,1395	0,286	0,4	0,857	
$\lambda_i = \frac{n_i}{N_i \cdot H}$	0,417	0,698	1,429	2,0	4,29	$\sum \lambda_i = 8,8$
$\bar{\lambda} = \frac{\sum \lambda_i}{i_H}$	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	
$\lambda_i - \bar{\lambda}$	-1,353	-1,072	-0,341	0,23	2,52	
$(\lambda_i - \bar{\lambda})^2$	1,83	1,149	0,116	0,053	6,35	
$\lambda(\bar{t} - t_a)$	0,177	0,531	0,885	1,239	1,593	
$P_i(t) = e^{-\lambda(\bar{t} - t_a)}$	0,838	0,588	0,4125	0,2892	0,203	

Расчет показателей долговечности поршневой группы СМД-62.

Расчет количественных показателей долговечности поршневой группы двигателя приводится по схеме неремонтируемых изделий, когда узлы и детали принимаются условно как невосстанавливаемые.

Средний технический ресурс определяется по формуле:

$$\bar{T}_p = t_a + \frac{1}{\bar{\lambda}}, \quad (12)$$

где t_a – наработка до первого отказа детали или узла выборочной совокупности, тыс. час;

$\bar{\lambda}$ – интенсивность отказов, вычисленная после наработки t_a , 1/тыс. час;

$\bar{T}_p$ – средний технический ресурс.

На рисунке 5 приводится оценка технического уровня поршневой группы двигателя.

$\bar{T}_p = 1,565$ тыс. час. Расчетные формулы, последовательность расчета и их результаты приводятся в таблице 2.

Показатели долговечности для поршневой группы двигателя СМД–62

1. Выборочная совокупность N_0 , ед.	– 25
2. Назначенный ресурс T_n , тыс.час.	– 2,0
3. Число отказов $\sum n_i$ ед.	– 21
4. Нарботка до первого отказа t , тыс. час.	– 1,0
5. Средняя интенсивность отказов λ , 1/тыс.час	– 1,77
6. Средний ресурс, T_p тыс.час.	– 1,565
7. Гамма - процентный ресурс T_{py} , тыс.час.	– 1,370

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. По количеству и весомости отказов в работе и в общей их массе по автогрейдером ДЗК-250 основные агрегаты, узлы (системы) можно расположить в таком порядке:

- двигатель СМД-62;
- гидрооборудование (включая гидроруль, эл. управление гидро-распределителя и др.);
- коробка перемены передач (КПП);
- задний мост (главная передача);
- передний мост;
- электрооборудование;
- другие узлы

2. Проведенные в первом приближении расчеты показателей надежности некоторых узлов и агрегатов автогрейдеров свидетельствуют о невысоком уровне надежности двигателя.

3. Значительная доля отказов (65-70%) при эксплуатации автогрейдеров происходит по поставляемым заводу-изготовителю узлам, агрегатам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейнин А.М. Эксплуатация дорожных машин / А.М. Шейнин и [др.]. – М.: Машиностроение, 1980.
2. Крившин А.П. Эксплуатационные свойства и эффективность землеройно-транспортных машин / А.П. Крившин. – М.: Транспорт, 1975.
3. Нічке В.В. Сучасні тенденції розвитку дорожньої техніки / В.В. Нічке, В.Ф. Демішкан, О.А. Єрмакова // Вісник ХНАДУ. Вип. 38. – Х., 2007. – С. 17–28.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969.

5. Истомин В.П. Оценка влияния режима автоколебаний на надежность землеройно-транспортных машин / В.П. Истомин, Ю.В. Дехнич. // Сборник научных трудов ХГАДУ. Вып. 5. Серия: совершенствование машин для земляных работ. – Х., 2000.
6. Каменская Е.А. Теоретические и экспериментальные исследования основных эксплуатационных параметров погрузчиков / Е.А. Каменская // Труды МИИТа. Вып. 234. – М.: Транспорт, 1969.
7. Экспериментальные исследования нагруженности рамы и трансмиссии автогрейдера ДЗ-99 в транспортном режиме / Л.В. Назаров [и др.] // Вестник ХНАДУ. Вып. 27. – Х., 2004.
8. Ничке В.В. Надежность прицепного и навесного оборудования тракторов / В.В. Ничке. – Х.: Высшая школа, 1985.