

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ГИДРОСТОЕК МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ

Скляров Н.А., канд. техн. наук, доц.,
Донецкий государственный технический университет

Приведены схемы зависимостей зазора в сопряжении "цилиндр-плунжер" гидростоек от длительности их эксплуатации, получены оценки математического ожидания и дисперсии изнашивания сопряжения, определены необходимые и достаточные условия прогнозирования среднего ресурса гидростоек.

The schemes of relations of a backlash in coupling "barrel - plunger" of hydraulic props from duration of their exploitation are adduced, the estimations of mathematical expectation and dispersion of deterioration of coupling are obtained, the indispensable and sufficient conditions of forecasting of mean resource of hydraulic props are certain

Исследованиями установлено, что долговечность секций механизированных крепей определяется, в основном, работоспособностью гидростоек, которая, в свою очередь, зависит от величины определяющего параметра гидростойки – диаметрального зазора (δ) в сопряжении "цилиндр-плунжер (поршень)".

Отказы гидростоек в результате износа связаны со случайными постепенными изменениями определяющего параметра (δ) и происходят при достижении этим параметром критического значения (δ_{\max}), когда в результате перетоков рабочей жидкости из поршневой в штоковую полости теряется несущая способность гидростойки (рис.1).

Если определяющим параметром является величина линейного или объемного износа элемента, то процесс изменения параметра является монотонно возрастающей или убывающей случайной функцией времени [1].

Анализ реализации процесса изнашивания внутреннего диаметра цилиндра и внешнего диаметра плунжера (поршня) гидростоек показал, что в качестве моделей процессов изнашивания могут быть приняты линейные случайные процессы с сильным перемешиванием. Для этих процессов скорость изнашивания (ξ) является стационарной

функции времени (наработки), а распределение определяющего параметра $f[\delta(t)]$ подчиняется нормальному закону [1, 4].

Зная численную величину начальных зазоров в сопряжении «цилиндр – плунжер» гидростоек секции крепи и скорость изнашивания поверхностей сопряжения, можно найти среднюю величину ожидаемого ресурса (T_{cp}) гидростойки [4]:

$$T_{cp} = \frac{\delta_{max} - \delta_0}{m_{\xi}}, \quad (1)$$

где δ_0, δ_{max} – соответственно, величина начального и максимально допустимого зазоров в сопряжении «цилиндр – плунжер» гидростойки, мм;

m_{ξ} – математическое ожидание скорости изнашивания, мм/ч.

Плотность вероятности распределения наработки крепи от величины диаметральных зазоров в сопряжении «цилиндр – плунжер» гидростоек крепи выражается формулой [4]:

$$f(t) = \frac{1}{V_{\xi} \sqrt{\frac{2\pi}{m_{\xi}} (\delta_{max} - \delta_0)}} \exp \left\{ -\frac{(t \cdot m_{\xi} - \delta_{max} + \delta_0)^2}{2m_{\xi} V_{\xi}^2 (\delta_{max} - \delta_0)} \right\} \quad (2)$$

где $V_{\xi} = \sqrt{D_{\xi} / m_{\xi}}$ – коэффициент вариации скорости изнашивания;

D_{ξ} – дисперсия скорости изнашивания, (мм/ч)²;

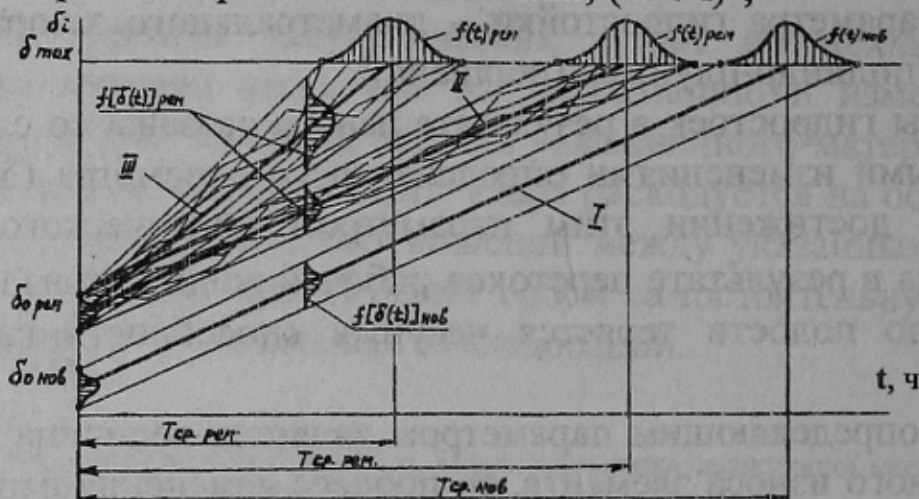


Рисунок 1 – Схема зависимостей зазоров гидростоек новых и отремонтированных механизированных крепей угледобывающих комплексов от длительности их эксплуатации

Начальные диаметральные зазоры гидростоек (δ_0) новых и отремонтированных крепей, как правило, не равны между собой. При

одинаковых технологических процессах изготовления и восстановления поверхностей однотипных деталей скорости изменения зазоров новых и отремонтированных стоек равны между собой (углы наклона прямых износа I и II на рис. 1 одинаковые).

При снижении твердости поверхностей отремонтированных плунжеров и (или) цилиндров скорость изменения зазоров увеличивается и стойки достигают значения (δ_{\max}) за меньший срок эксплуатации (прямая износа III).

Проектируя на ось абсцисс точки пересечения прямых износа I, II и III с линией, соответствующей (δ_{\max}), получим ожидаемые (прогнозируемые) средние ресурсы для новых ($T_{\text{ср.нов.}}$) и отремонтированных ($T_{\text{ср.рем.}}$) стоек механизированных крепей.

Для установления зависимостей определяющего параметра (δ) гидростоек от длительности их эксплуатации были проведены контрольные замеры зазоров в сопряжении «цилиндр-плунжер» 20-ти гидростоек каждой из механизированных крепей М87УМ и «Донбасс» (диаметр цилиндра 160Н8, диаметр плунжера 160 f8), изготовленных Дружковским машзаводам и капитально отремонтированных соответственно Рутченковским и Горловским рудоремзаводами производственного объединения "Донецкуглеремонт" сразу после изготовления (ремонта) и выборочно через 6, 12 месяцев эксплуатации и при поступлении их в капитальный ремонт.

Согласно [2] при обработке информации о надежности при небольших её объемах (не более 20) в качестве математического ожидания (\tilde{m}_δ) применяется среднее арифметическое (n) наблюдений над случайной величиной (δ):

$$\tilde{m}_\delta = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{n} \quad (3)$$

Состоятельной несмещенной оценкой дисперсии при малых выборках является оценка:

$$\tilde{D}_\delta = \sum_{i=1}^n \frac{(\delta_i - \tilde{m}_\delta)^2}{n-1} \quad (4)$$

При известных \tilde{m}_δ и \tilde{D}_δ коэффициент вариации случайной величины (V_δ) определяется из выражения :

$$V_\delta = \frac{\sqrt{\tilde{D}_\delta}}{\tilde{m}_\delta} \equiv \frac{\sigma_\delta}{\tilde{m}_\delta} \quad (5)$$

где σ_{δ} – среднее квадратическое отклонение случайной величины (δ).

Числовые характеристики случайных величин зазоров в сопряжении «цилиндр-плунжер» и коэффициенты вариации величин зазоров приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики случайных величин зазоров

Наработка крепей, ч	Средняя величина зазора, m_{δ} , мм	Дисперсия, D_{δ} , мм ²	Среднее квадратическое отклонение σ_{δ} , мм	Коэффициент вариации, V_{δ}
Крепь М87УМ (новая)				
$t = 0$	0,163	0,0012	0,034	0,21
$t_1=4380$ (6мес)	0,205	0,0021	0,046	0,22
$t_2=8760$ (12мес)	0,261	0,0041	0,063	0,24
$t_3=20230$ (при поступлении в капремонт)	0,375	0,0077	0,099	0,26
Крепь М87УМ (после I-го капремонта)				
$t = 0$	0,187	0,0015	0,039	0,21
$t_1=4380$ (6мес)	0,245	0,0030	0,055	0,22
$t_2=8760$ (12мес)	0,306	0,0067	0,088	0,26
$t_3=17360$ (при поступлении во 2-й капремонт)	0,362	0,0089	0,094	0,26
Крепь «Донбасс» (новая)				
$t = 0$	0,140	0,00087	0,0295	0,21
$t_1=4380$ (6 мес)	0,185	0,00186	0,043	0,23
$t_2=8760$ (12мес)	0,245	0,0049	0,070	0,28
$t_3=21315$ (при поступлении в капремонт)	0,383	0,0107	0,103	0,27
Крепь «Донбасс» (после I-го капремонта)				
$t = 0$	0,163	0,0017	0,041	0,25
$t_1=4380$ (6 мес)	0,208	0,0028	0,053	0,25
$t_2=8760$ (12 мес)	0,271	0,0043	0,066	0,29
$t_3=16470$ (при поступлении во 2-й капремонт)	0,350	0,0122	0,011	0,31

На основании данных табл.1 получены оценки числовых характеристик: математического ожидания (m_{ξ}) и дисперсии (D_{ξ}) скорости изнашивания сопряжений «цилиндр – плунжер» гидростоек крепей (табл.2).

Таблица 2 - Оценки числовых характеристик m_ξ и D_ξ .

Числовые ха- рактеристики	Оценки m_ξ и D_ξ			
	Крепль М87УМ		Крепль «Донбасс»	
	Новая	После 1-го капремонта	Новая	После 1-го ка- премонта
m_ξ , мм/ч	$9,8 \cdot 10^{-6}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-6}$
D_ξ , (мм/ч) ²	$0,20 \cdot 10^{-6}$	$0,21 \cdot 10^{-6}$	$0,19 \cdot 10^{-6}$	$0,20 \cdot 10^{-6}$

Определение величин m_ξ и D_ξ производилось по формуле:

$$m_\xi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{m_{\delta i} - m_{\delta 0}}{t_i} \quad (6)$$

$$D_\xi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{D_{\delta i}}{t_0 + t_i} \quad (7)$$

где $m_{\delta 0}$ и $m_{\delta i}$ – математическое ожидание величины зазора соответственно при наработках крепи $t = 0$ и $t = t_i$; $D_{\delta i}$ – дисперсия величины зазора при $t = t_i$; n – число сечений реализаций случайного процесса $\delta(t)$, соответствующих значениям времени $t = t_i$; t_0 – абсцисса фиктивного полюса реализации $\delta(t)$, для которого дисперсия определяющего параметра $D_\delta = 0$.

$$t_0 = \frac{1}{C_n^{(2)}} \sum_{i=1}^n \frac{D_{\delta i} t_{i+1} - D_{\delta i+1} t_i}{D_{\delta i} - D_{\delta i+1}} \quad (8)$$

где $C_n^{(2)}$ – число сочетаний из n по 2.

При известных значениях m_ξ и D_ξ могут быть определены средние значения $T_{ср}$ и коэффициенты вариации ресурса V_T гидростоек новых и прошедших капитальный ремонт механизированных крепей.

Средний ресурс до 1-го капремонта ($T_{ср.нов}$) и средний ресурс между капремонтами ($T_{ср.рем}$) определяются по формуле (1). При критическом значении ($\delta_{max} = 0,35$ мм) средние значения ресурсов составили: для крепи М87УМ – $T_{ср.нов} = 19080$ ч; $T_{ср.рем} = 16470$ ч; для крепи «Донбасс» – $T_{ср.нов} = 19270$ ч; $T_{ср.рем} = 16700$ ч.

Коэффициенты вариации ресурсов (V_T) определялись из выражения [4]:

$$V_T = \frac{\sqrt{(\delta_{max} - \delta_0) D_\xi}}{(\delta_{max} - \delta_0) \sqrt{m_\xi}} \quad (9)$$

Коэффициенты вариации составили: для крепи М87УМ – $V_{T.нов} = 0,33$; $V_{T.рем} = 0,36$; для крепи «Донбасс» – $V_{T.нов} = 0,25$; $V_{T.рем} = 0,28$.

Зависимости износов сопряжений «цилиндр-плунжер» гидростоек от длительности эксплуатации представлены на рис.2, из которого видно, что ресурсы отремонтированных крепей ($T_{\text{ср.рем.}}$) ниже ресурсов новых крепей ($T_{\text{ср.нов.}}$) при достижении сопряжением гидростоек δ_{max} .

Это объясняется, главным образом, различными величинами начальных диаметральных зазоров ($\delta_{0 \text{ нов}}$) и ($\delta_{0 \text{ рем.}}$). Скорости износа сопряжений «цилиндр – плунжер» гидростоек новых и отремонтированных крепей, как это видно из табл.2, практически одинаковы.

Сопряжения «цилиндр – плунжер» гидростоек крепи «Донбасс» имело скорость износа на 11 – 13% выше, чем у крепи М87УМ, однако благодаря последующей селективной сборке гидростоек крепи «Донбасс» на 15 – 16% снижена величина начальных диаметральных зазоров (δ_0). Это позволило в конечном счете получить ресурс до капитального ремонта и между капитальными ремонтами даже несколько больше, чем у крепи М87УМ.

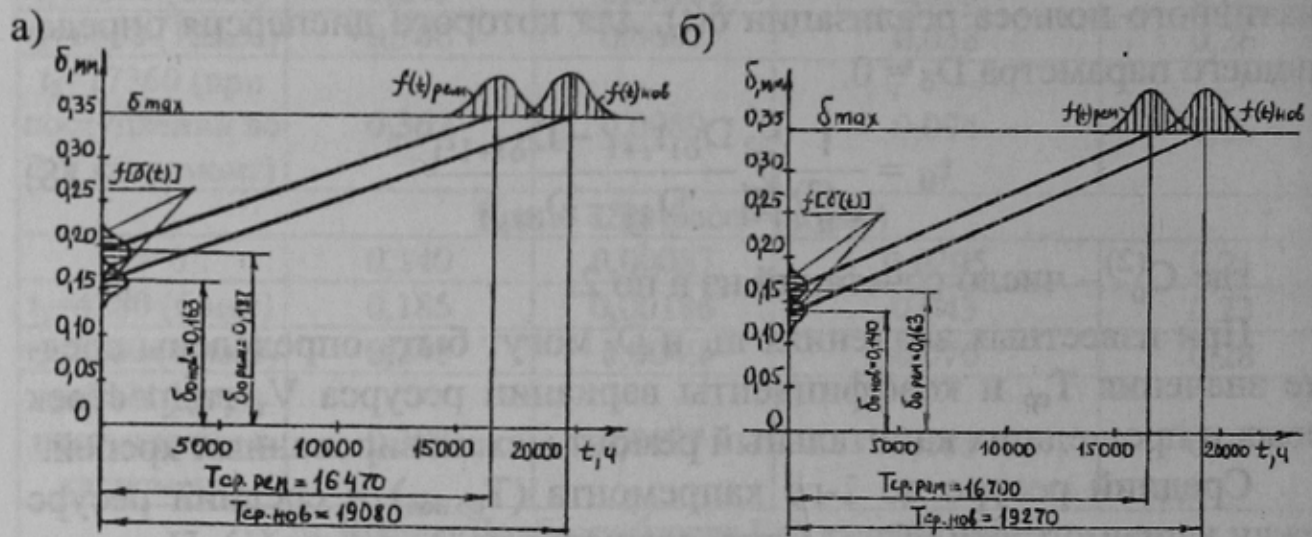


Рисунок 2 – Зависимости износов сопряжения «цилиндр-плунжер» гидростоек механизированных крепей:
а – М87УМ; б – «Донбасс»

При селективной сборке гидростоек снижается также дисперсия их ресурсов, что благоприятно сказывается на увеличении гамма – процентного ресурса (γ).

Так, например, при $\gamma = 80\%$ ресурс, вырабатываемый 80-ю процентами гидростоек крепи t_{80} составит:

$$t_{80\%} = T_{\text{ср}} - Z \cdot V_t \cdot T_{\text{ср}} \quad (10)$$

где $T_{\text{ср}}$ – средний ресурс до 1-го капремонта или между капремонтами, ч; V_t – коэффициент вариации;

$$Z = \frac{T_{\text{cp}} - t_{80\%}}{V_t \cdot T_{\text{cp}}}$$

Для нормального закона распределения вероятность того, что фактический ресурс будет больше t , определяется из выражения:

$$P(t) = 0,5 + \Phi(z), \quad (11)$$

где $\Phi(z)$ – интеграл вероятности Лапласа – Гаусса (табулированная величина).

$P(t) = 0,8$ при $\Phi(z) = 0,3$. Из таблицы для $\Phi(z)$, приведенной, например, в [3], находим, что для $\Phi(z) = 0,3$ $z = 0,57$. Тогда при обычной сборке гидростоек при капитальном ремонте $V_t = 0,36$.

$$t_{80\%} = T_{\text{cp}}(1 - 0,57 \cdot 0,36) = 0,765 T_{\text{cp}}.$$

При селективной сборке гидростоек $V_t = 0,28$, тогда

$$t_{80\%} = T_{\text{cp}}(1 - 0,57 \cdot 0,28) = 0,840 T_{\text{cp}}.$$

Таким образом, при селективной сборке гидростоек в процессе капитального ремонта их γ -процентный ресурс (для $\gamma=80\%$) возрастет на 9,8% или, примерно, на 980 часов.

Уровни качества отремонтированных механизированных крепей ($K = T_{\text{cp.рем.}} / T_{\text{cp.нов.}}$), рассчитанные на основании прогнозирования ресурса их гидростоек составили:

$$K_{\text{М87УМ}} = 16470 / 19080 = 0,864;$$

$$K_{\text{Донбасс}} = 16700 / 19270 = 0,867$$

Выполненные исследования свидетельствуют о том, что необходимыми и достаточными условиями прогнозирования среднего ресурса гидростоек механизированных крепей является величина среднего значения начального зазора (δ_0) сопряжения «цилиндр-плунжер» и математического ожидания скорости изнашивания сопряжения (m_ξ). Для характеристики рассеивания ресурса, необходимо знать дисперсию зазоров (D_δ) и дисперсию скорости изнашивания (D_ξ).

Список источников

1. Гетопанов В.Н. Теоретические и экспериментальные исследования надёжности выемочных комплексов и агрегатов. Дисс. на соискание ученой степени доктора техн. наук. – М.: МГИ, 1973. – 452с.
2. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Шпильберг П.Л. Надёжность горных машин и комплексов. – М.: МГИ, 1972. – 198с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятности. – М.: Наука, 1969. – 576с.
4. Скляр Н.А. Оценка и повышение качества капитально ремонтируемых механизированных крепей угледобывающих комплексов.- Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук.- М.: МГИ, 1982. – 16 с.