

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕМОНТА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Будишевский В.А., Скляр Н.А., Шавлак В.Ф., к-ты техн. наук, доц.  
Донецкий государственный технический университет

*Произведены выбор и обоснование функционального и единичных критериев отремонтированных крепей, приведена методика и результаты оценки их обобщенного уровня качества.*

*Are made choice and substantiation functional and single criteria repaired solidifying, the technique and outcomes of an evaluation of their generalized degree of quality is indicated.*

Повышение эффективности работы горнодобывающей техники зависит от многих организационно-технических факторов и в том числе от совершенства методов оценки её качества, надежности и долговечности. Правильно выбранные методы дают возможность оценивать качество продукции на различных этапах её создания, эксплуатации и ремонта.

В настоящее время разработан целый ряд методик по оценке качества: промышленной продукции, изделий угольного машиностроения, горнодобывающих машин, шахтных скребковых конвейеров, механизированных крепей и др.

Эти методики предназначены для оценки изделий на стадиях проектирования и их изготовления. В них не затрагивается такая важная и наиболее продолжительная стадия – стадия капитального ремонта и послеремонтного обслуживания. Кроме того, большинству перечисленных методик присущи недостатки, заключающиеся в использовании экспертных методов оценки показателей качества, зависящих от различного уровня подготовки специалистов – экспертов и, следовательно, от субъективности оценок. В этих же методиках не учитывается функциональное назначение изделия, не оцениваются количественно выполняемые изделием функции.

Применительно к отремонтированным крепям угледобывающих комплексов методика оценки уровня качества должна отвечать следующим основным требованиям: иметь функциональный подход к оценке уровня качества; позволять оценивать уровень качества крепей различных типоразмеров, типов и конструктивных исполнений.

Это позволит производить выбор наиболее перспективных и лучших базовых критериев качества из рассматриваемой совокупности крепей, исключить субъективность при оценке уровня качества, допускать изменение количества критериев качества. Многокритериальная методика оценки уровня качества должна иметь динамичный эталон с прогрессивными базовыми критериями, что будет способствовать достижению высоких показателей в различных крепях и на различных ремонтных предприятиях; должна позволять прогнозировать уровень качества ремонтируемых крепей по начальным значениям определяющих параметров крепи.

Функциональный подход к оценке качества механизированных крепей позволяет определить уровни качества механизированных крепей как непосредственно на ремонтном предприятии сразу после ремонта, так и после отработки крепью межремонтного срока службы по собранным данным об эксплуатационно-технических критериях крепи.

Основной целью оценки уровня качества капитально отремонтированной крепи является установление степени реализации в ней организационно-технических мероприятий конкретного ремонтного предприятия. Эти мероприятия должны быть направлены на обеспечение запланированного уровня качества с целью приближения уровня качества отремонтированной крепи к эталонному или к уровню качества изготовленных машзаводом крепей того же исполнения по показателям, полученным при их эксплуатации до первого капитального ремонта.

Качество капитально отремонтированной крепи в соответствии с понятием о качестве продукции (согласно ГОСТ 15467-70[1]) – это совокупность свойств крепи, обеспечивающих её способность выполнять заданные функции по поддержанию и управлению кровлей в конкретных условиях эксплуатации, которые соответствуют горно-технологическим условиям её использования. Следовательно, количественной характеристикой качества отремонтированной крепи является «обобщенный уровень качества» - интегральная характеристика качества крепи.

При оценке уровня качества капитально отремонтированных крепей одним из важнейших вопросов является обоснование и выбор основного технического параметра и критериев качества отремонтированных крепей.

В методике [2] в качестве основного технического параметра рекомендуется принимать функциональный критерий, характеризующий функциональное назначение машины (для новых механизированных крепей – это мощность крепления, кНм/ч).

По нашему мнению, механизированная крепь, прошедшая капитальный ремонт, не изменяет своего функционального назначения по сравнению с новой. Изменяются, в основном, показатели долговечности и ремонтпригодности, которые характеризуют способность отремонтированной крепи долговременно выполнять свои функции. Чем выше ресурс отремонтированной крепи, тем больше её функциональный критерий.

В качестве функционального критерия отремонтированной крепи целесообразно принять параметр ( $\lambda_p$ ) [5]:

$$\lambda_p = Q \cdot p \cdot t_p, \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (1)$$

где  $Q$  – теоретическая производительность крепи по креплению выработанного пространства вслед за движением комбайна, м<sup>3</sup>/ч;  $p$  – удельная нагрузка на крепь, кН/м<sup>2</sup>;  $t_p$  – наработка (ресурс) отремонтированной крепи между капитальными ремонтами, ч.

$$Q = 60mLV_k, \quad (2)$$

где  $m$  – мощность пласта, м;  $L$  – длина крепи, м;  $V_k$  – скорость перемещения крепи вслед за движением комбайна, м/мин.

$$V_k = \frac{b}{T \cdot n_{\text{ц}}}; \quad (3)$$

где  $b$  – шаг передвижки крепи на забой, м;  $T$  – время передвижения всех секций крепи на забой за один цикл обработки забоя, м;  $n_{\text{ц}}$  – количество циклов передвижения крепи по частям на шаге передвижки.

Анализ формулы (1) показывает, что функциональный критерий  $\lambda_p$  имеет размерность работы. В дальнейшем  $\lambda_p$  – «функциональная работа» крепи.

Для обоснования минимально необходимого количества критериев качества капитально отремонтированной крепи логическим путем отобраны из действующих государственных и отраслевых стандартов, технических условий, методик оценки качества и надежности следующие критерии: наработка на отказ  $T_0$ ; среднее время восстановления  $T_6$ ; коэффициент готовности  $K_2$ ; средний ресурс между ка-

питательными ремонтами  $R$ ; коэффициент неисправности  $K_n$ ; параметр потока отказов  $\Lambda$ ; удельная трудоемкость устранения отказов  $A_{y.отк.}$ ; трудоемкость ежесуточного технического обслуживания; приходящаяся на 1000т. добычи  $A_{y.обсл.}$  и предложены ранее не использовавшиеся критерии: объединенная удельная трудоемкость текущего и капитального ремонта  $A_{y.p.m.k.}$ ; коэффициент соблюдения нормативов текущих ремонтов крепи  $K_m$ ; удельная стоимость текущего ремонта секции крепи  $C_{y.p.m.}$ ; удельная стоимость капитального ремонта секции 2-х стоечной крепи  $C_{y.p.k.}$ ; коэффициент дефектности отремонтированной крепи  $K_d$ .

Каждый критерий выбирался так, чтобы с уменьшением его значения качество крепи повышалось. Если с уменьшением значения критерия качество крепи снижается, выбиралась обратная величина. Это условие значительно упрощает методику оценки качества механизированных крепей.

Для статистического анализа качества механизированных крепей, отремонтированных на Антрацитовском, Горловском, Рутченковском, Свердловском рудоремзаводах и Нововольнском РМЗ, были использованы подпрограммы «Статистика» из «Пакета научных программ».

Сущность анализа заключалась в исследовании статистических связей между функциональным критерием  $\lambda_p$  и единичными критериями качества  $\Pi_{ij}$ . Определены коэффициенты парной корреляции между каждыми двумя рассматриваемыми единичными критериями, а также между единичными критериями качества и функциональным критерием по формуле:

$$r_{\Pi_j; \Pi_{j+1}} = \frac{\sum_{i=1}^m (\Pi_{ij} - \bar{\Pi}_j)(\Pi_{i;j+1} - \bar{\Pi}_{j+1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (\Pi_{ij} - \bar{\Pi}_j)^2 \sum_{i=1}^n (\Pi_{i;j+1} - \bar{\Pi}_{j+1})^2}}; \quad (4)$$

где  $i$  – номер рассматриваемого типа крепей;  $j$  – номер единичного критерия;  $m$  – количество одновременно рассматриваемых крепей с учетом их ремонта на различных ремонтных предприятиях;

$\bar{\Pi}_j; \bar{\Pi}_{j+1}$  – среднее значение критериев качества  $\Pi_j$  и  $\Pi_{j+1}$ .



Между единичными критериями  $\frac{1}{T_o}$ ;  $\frac{1}{K_G}$ ;  $K_H$ ;  $A_{y.отк.}$ ;  $A_{y.обсл.}$ ;  $A_{y.рмк.}$ ;  $C_{y.рм}$ ;  $C_{y.рк}$  и  $K_{\partial}$  и функциональным критерием  $\lambda_p$  существует статистически линейная связь. Наличие этой связи, а также отсутствие между единичными критериями корреляции, близкой к функциональной, свидетельствует о том, что эти критерии могут быть выбраны для оценки обобщенного уровня качества отремонтированной крепи. Однако критерий  $K_H$  – коэффициент неисправности можно не применять, так как он рассчитывается для отдельных узлов секции крепи.

Произведена оценка степени влияния единичных критериев качества на функциональный критерий и построена многофакторная регрессионная модель, на основании которой получена зависимость:

$$\lambda_p = -188257 + 4641\Pi_1 + 232954\Pi_3 + 3277\Pi_5 + 15761\Pi_7 + 119181\Pi_8 + 19510\Pi_9 + 148551\Pi_{11} + 136078\Pi_{12} + 24048\Pi_{13} \quad (5)$$

Коэффициент множественной корреляции равен 0,97, что свидетельствует о представительности данной модели. Знак «минус» свободного члена уравнения регрессии показывает, что для получения некоторого значения «функциональной работы» необходимо за определенный промежуток времени довести параметры крепи (нагрузку на крепь и др.) до номинальных значений, то есть создать определенную готовность крепи к выполнению своего функционального назначения. При дальнейшем увеличении критериев  $\Pi_1 - \Pi_{13}$  «функциональная работа»  $\lambda_p$  получит положительное значение. Увеличение указанных критериев лишь на 0,01 приводит к росту функционального критерия, например,  $\Pi_3$  на 2329 кН·м

Для оценки обобщенного уровня качества выбраны следующие критерии:

$$\Pi_1 = \frac{1}{T_o} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{\sum_{i=1}^N t_{pi}}; \quad (6)$$

где  $T_o$  – наработка крепи на отказ, ч;  $n_i$  – количество отказов  $i$ -й крепи (группы секций крепи) за период наблюдения;  $N$  – общее коли-

чество наблюдаемых крепей (групп секций крепей);  $t_{pi}$  – наработка  $i$ -й крепи (группы секций крепи), ч.

$$\Pi_3 = \frac{1}{K_{\Gamma}} = \frac{T_o + T_v}{T_o}; \quad (7)$$

где  $K_{\Gamma}$  – коэффициент готовности крепи;  $T_v$  – среднее время восстановления, мин.

$$\Pi_7 = A_{y.отк.} = \frac{\sum_{i=1}^N A_{отк.i}}{\sum_{i=1}^N t_{pi}}; \quad (8)$$

где  $A_{отк.i}$  – трудоемкость работ по устранению отказов  $i$ -ой крепи (группы секций крепи), чел.-ч;  $A_{y.отк.}$  – удельная трудоемкость устранения отказов, (чел.-ч)/ч;

$$\Pi_8 = A_{y.обсл.} = \frac{\sum_{i=q}^N A_{обсл.i}}{\sum_{i=1}^N t_{pi}}; \quad (9)$$

где  $A_{y.обсл.}$  – удельная трудоемкость ежесуточного технического обслуживания,  $\frac{\text{чел.} - \text{ч}}{1000\text{т}}$ ;  $A_{обсл.i}$  – трудоемкость работ по профилактическому ежесуточному обслуживанию  $i$ -ой крепи (группы секций крепи), чел.-ч.

$$\Pi_9 = A_{y.p.m.k.} = \frac{\sum_{i=1}^N m_{pi} n_{ci} T_{p.ti} + \sum_{i=1}^N n_{ci} T_{p.ki} \frac{2}{z_{cm}}}{\sum_{i=1}^N t_{pi}}; \quad (10)$$

где  $A_{y.p.m.k.}$  – объединенная удельная трудоемкость текущего и капитального ремонта секции крепи, (чел.-ч)/ч;  $m_{pi}$  – количество текущих ремонтов крепи (группы секции крепи), ч;  $n_{ci}$  – количество секции крепи в лавокомплекте (в группе секций крепи);  $T_{p.ti}$  – трудоемкость текущего ремонта секции  $i$ -ой крепи, чел.-ч;  $T_{p.ki}$  – трудоемкость капитального ремонта секции  $i$ -ой крепи, чел.-ч;  $z_{cm}$  – количество стоек в секции  $i$ -ой крепи.

Трудоемкость капитального ремонта секции крепи определяется:

$$T_{p.k} = T_{разб.} + T_{вос.} + T_m + T_{сб.} + T_{из.д} \quad (11)$$

где  $T_{разб.}$  – трудоемкость разборки крепи, чел.-ч;  $T_m$  – трудоемкость мойки деталей и сборных единиц крепи, чел.-ч;  $T_{вос.}$  – трудоемкость восстановления деталей крепи, чел.-ч;  $T_{сб.}$  – трудоемкость сборки отремонтированной крепи, чел.-ч;  $T_{из.д}$  – трудоемкость изготовления новых деталей, используемых в качестве запасных частей при ремонте крепи, чел.-ч.

$$\Pi_{11} = C_{y.p.m} = \frac{\sum_{i=1}^N m_{pi} n_{ci} C_{p.mi}}{\sum_{i=1}^N t_{pi}}, \quad (12)$$

где  $C_{y.p.m}$  – удельная стоимость текущего ремонта секции крепи, грн/ч;  $C_{p.mi}$  – себестоимость текущего ремонта секции  $i$ -ой крепи, грн.

$$\Pi_{12} = C_{y.p.k} = \frac{\sum_{i=1}^N n_{ci} C_{p.k.i} \frac{2}{z_{cm}}}{\sum_{i=1}^N t_{pi}}, \quad (13)$$

где  $C_{y.p.k}$  – удельная стоимость капитального ремонта 2х стоечной секции крепи, чел.-ч;  $C_{p.k.i}$  – себестоимость капитального ремонта секции  $i$ -ой крепи, грн.

Определяется трудоемкость и себестоимость капитального ремонта 2-х стоечной секции, так как в отличие от текущего ремонта секции крепи, при капитальном ремонте основные затраты связаны с ремонтом гидростоек, при текущем ремонте стойки не ремонтируются, а заменяются исправными.

$$\Pi_{13} = K_{\partial} = \frac{N_{\partial}}{N_o}, \quad (14)$$

где  $K_{\partial}$  – коэффициент дефективности секции крепи;  $N_{\partial}$  – количество деталей с отступлениями от требований ремонтной документации;  $N_o$  – общее количество деталей в секции крепи.



Определение обобщенного уровня качества отремонтированной крепи принято согласно рекомендации [2] и заключается в следующем.

Вычисляются удельные критерии качества отремонтированных крепей  $x_{ij}$ , представляющие собой отношение величины единичного показателя качества  $\Pi_{ij}$  к функциональному критерию  $\lambda_i$ .

$$x_{ij} = \frac{\Pi_{ij}}{\lambda_i} = \left\{ \frac{1}{T_{oi}\lambda_i}; \frac{1}{K_{\Gamma i}\lambda_i}; \frac{A_{y.отк.}}{\lambda_i}; \frac{A_{y.отк.i}}{\lambda_i}; \dots; \frac{K_{\partial i}}{\lambda_i} \right\}; \quad (15)$$

Удельные критерии качества позволяют определить наилучшую реализацию всех факторов, влияющих на уровень качества отремонтированных крепей. Из двух отремонтированных крепей более высокий уровень качества по единичному фактору будет у той крепи, где его удельное значение будет меньше.

Вычисленные по формуле (15) значения  $x_{ij}$  представлены в виде:

$$\{x_{ij}\} := \left\{ \begin{array}{cccc} \frac{1}{T_{o1}\lambda_1}; & \frac{1}{K_{\Gamma 1}\lambda_1}; & \frac{A_{y.отк.1}}{\lambda_1}; & \dots; & \frac{K_{\partial 1}}{\lambda_1} \\ \frac{1}{T_{o2}\lambda_2}; & \frac{1}{K_{\Gamma 2}\lambda_2}; & \frac{A_{y.отк.2}}{\lambda_2}; & \dots; & \frac{K_{\partial 2}}{\lambda_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{T_{om}\lambda_m}; & \frac{1}{K_{\Gamma m}\lambda_n}; & \frac{A_{y.отк.m}}{\lambda_m}; & \dots; & \frac{K_{\partial m}}{\lambda_m} \end{array} \right\}; \quad (16)$$

где  $m$  – количество крепей в рассматриваемой совокупности.

Каждая строка принадлежит одной крепи, а каждый столбец показывает удельные величины определенного критерия по различным крепям.

В качестве базовых критериев эталона принимается совокупность минимальных значений удельных критериев  $x_{ij}$ , выбираемых из каждого из  $j$ -тых столбцов:

$$(x_{i,j})_{min} = \{x_{\delta j}\} := \left\{ \left( \frac{1}{T_o} \right)_{\delta}; \left( \frac{1}{K_{\Gamma}} \right)_{\delta}; \dots; \left( \frac{K_{\partial}}{\lambda} \right)_{\delta} \right\}; \quad (17)$$

Совокупность  $\{x_{\delta j}\}$  представляет фиктивную модель крепи, которая обладает наиболее высокими свойствами, уже достигнутыми в различных моделях новых или капитально отремонтированных механизированных крепях.

Совокупность  $\{x_{\delta j}\}$  может принадлежать и одной новой или отремонтированной крепи, которая будет являться реальной моделью эталона.

Дальнейшая оценка качества ведется в сравнении с фиктивным эталоном.

Определяются уровни качества крепи по единичным критериям ( $q_{ij}$ ):

$$q_{ij} = \frac{x_{\delta j}}{x_{ij}} < 1; \quad (18)$$

Уровни качества по единичным критериям для эталона:

$$q_{\delta j} = \frac{\alpha_{\delta j}}{\alpha_{\delta j}} = 1; \quad (19)$$

По комплексу уровней качества по единичным критериям определяется доля участия  $a_{ij}$  каждого уровня качества по единичному критерию в их общей сумме для  $i$ -той крепи:

$$a_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sum_{i=1}^n q_{ij}}; \quad (20)$$

где  $n$  – количество критериев, принятых для оценки уровня качества крепи.

Для крепи – эталона  $a_{\delta j}$  определяется:

$$a_{ij} = \frac{q_{\delta j}}{\sum_{i=1}^n q_{\delta j}} = \frac{1}{n}. \quad (21)$$

Для исключения влияния количества принятых для оценки единичных критериев на обобщенный уровень качества определяются коэффициенты участия уровней качества по каждому единичному критерию в значении обобщенного уровня качества:

$$y_{ij} = \frac{1 - a_{\delta j}}{1 - a_{ij}}; \quad (22)$$

Для крепи – эталона  $y_{\delta j}$  определяется как:

$$y_{\delta j} = \frac{1 - a_{\delta j}}{1 - a_{\delta j}} = 1; \quad (23)$$

Определяется суммарное значение уровней качества по единичным критериям  $i$ -той крепи  $\Psi_i$  по правилу векторного суммирования в  $n$ -мерном пространстве [4]:

$$\Psi_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_{ij} y_{ij})^2}. \quad (24)$$

Для крепи – эталона  $\Psi_{\delta}$  определяется так:

$$\Psi_{\delta} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_{\delta j} y_{\delta j})^2} = \sqrt{n} \quad (25)$$

Обобщенный уровень качества капитально отремонтированной крепи определяется:

$$K_i = \frac{\Psi_i}{\Psi_{\delta}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_{ij} y_{ij})^2} \quad (26)$$

С учетом формул (18, 20, 21 и 22) выражение (26) можно представить как:

$$K_i = \frac{1}{(n-1) \sum_{j=1}^n q_{ij}} \sqrt{n \sum_{j=1}^n \left[ q_{ij} \left( \sum_{j=1}^n q_{ij} - q_{ij} \right) \right]^2}, \quad j = \overline{1, K} \quad (27)$$

По выбранным критериям и методике произведена оценка обобщенного уровня качества механизированных крепей, отремонтированных на рудоремонтных заводах Минуглепрома Украины и аналогичных новых крепей (крепь М87, МК97К, Донбасс, 2КГД). Так, обобщенные уровни качества механизированных крепей М87, изготовленных Дружковским машзаводом и отремонтированных Рутченковским рудоремзаводом и рассчитанных по одним и тем же критериям, составили соответственно 0,91 и 0,78.

Приведенная методика позволяет проводить сопоставительный анализ качества горного оборудования и намечать пути его совершенствования. Практика показала её полезность.

Список источников

1. ГОСТ 15467-70. Качество продукции. Термины. – М.: Изд-во стандартов. – 25с.
2. Методика оценки качества горных машин /Солод Г.И., Сычев Л.С., Радкевич Я.М., Локтионов Б.И. - В сб. Научные основы создания высокопроизводительных комплексно-

- мезанизированных шахт с вычислительно-логическим управлением. Под ред. Солода В.И. – М.:МГИ, 1974, с.162-166.
3. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971-1972с.
  4. Солод Г.И., Сычев Л.С., Радкевич Я. М. Выбор метода суммирования при определении обобщенного показателя качества горных машин. – В сб. «Организация и механизация инженерного и управленческого труда». – М.: НИИ Информтяжмаш, 1975, №8, с.43-52.
  5. Складов Н.А. Оценка и повышение качества капитально ремонтируемых механизированных крепей угледобывающих комплексов. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГИ, 1982. – 16с.

УДК 624.138.22

## АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАШИН ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Будишевский В.А. к т н., доц., Манакин Е.А., аспирант,  
Донецкий государственный технический университет

*Проведен анализ эффективности применения уплотняющих машин в зависимости от свойств уплотняемого материала*

*There is analysed an effectiveness of using tamping machines depending on propertise of a material under packing*

Одна из важнейших операций при строительстве является уплотнение материалов. Наиболее важными объектами, на которых производится уплотнение, являются: автомобильные дороги, промышленные площадки, складские территории, балластные подушки, земляные и набросные плотины, водосборники, насыпи, штабели угля и другие объекты. Для осуществления операции – уплотнения находят применение уплотняющие машины различных типов.

Многообразие уплотняющих машин и их параметров обусловлено различными причинами и, прежде всего, условиями их применения. Различные условия работы и свойства уплотняемых материалов обуславливают разнообразные требования к уплотняющим машинам, трудно создать машину, отвечающую всем предъявляемым к ней требованиям. Наибольшее влияние на выбор уплотняемой машины оказывает тип уплотняемого материала и объем работ, которые могут существенно различаться для каждого конкретного случая. Поэтому существуют самые разнообразные уплотняющие машины, а также различные способы их применения [1, 2, 3, 4, 5].