

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТОИМОСТИ

**Авторы:** Казакова Е.И., Каплюхин А.А., Билъдей Е.Е.

**Источник:** «Экономика и управление» / Материалы конференции: часть I - г.Москва- 2006.

Все способы повышения надежности отображаются в определенной степени в затрате средств на изделие (комбайн, конвейер и др.), стоимости изделия повышенной надежности. Поэтому, абстрагируясь от конкретных способов повышения надежности, рассмотрим математическую модель стоимости.

Целесообразно, чтобы для системы забойного оборудования модель стоимости учитывала повышение надежности не только за счет безотказности (увеличения наработки на отказ  $\bar{t}_p$ ), но и вследствие восстанавливаемости (уменьшения средней

длительности простоя  $\bar{t}_n$ ), а также за счет одновременного изменения этих параметров.

Тогда математическая модель стоимости в зависимости от параметров надежности выразится следующим образом:

$$C = C_0 \left( \frac{K_{n.o}}{K_n} \right)^\alpha = C_0 \left( \frac{\bar{t}_{n.o} (\bar{t}_p + \bar{t}_n)}{\bar{t}_n (\bar{t}_{p.o} + \bar{t}_{n.o})} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где  $\bar{t}_{n.o}, K_{n.o}$  - средняя продолжительность и коэффициент простоя системы с существующим уровнем надежности;  $\bar{t}_n$ ),  $K_n$  - то же для системы повышенной надежности;  $\alpha$  - коэффициент, характеризующий уровень разработки и производства угольного машиностроения.

Экономическим критерием выбора пути повышения надежности является оптимальная надежность, при которой все затраты, связанные с разработкой, производством и эксплуатацией забойного оборудования будут наименьшими.

Суммарные затраты  $C$ , минимум которых соответствует максимальному

экономическому эффекту, могут быть представлены суммой двух составляющих:

$$C = C_n + C_э, \quad (2)$$

где  $C_n$  - затраты на разработку и изготовление оборудования повышенной надежности, грн.;  $C_э$  - затраты на эксплуатацию оборудования, грн.

Первая составляющая возрастает в связи с дополнительными затратами на мероприятия по повышению надежности при разработке и производстве оборудования. Вторая с повышением надежности оборудования имеет тенденцию к снижению, т.к. ремонт и эксплуатация надежной аппаратуры требует меньших затрат. При таком характере изменения составляющих общая стоимость  $C$  имеет минимум, которому соответствует оптимальное значение надежности. Расходы на эксплуатацию  $C_э$  горно-шахтного оборудования в течение периода его использования  $t$

$$C_э = C_{о.ис} + C_{о.пр} + C_{отк}, \quad (3)$$

где  $C_{о.ис}$  - стоимость обслуживания исправного оборудования за время  $t$ , грн.;  $C_{о.пр}$  - стоимость профилактического обслуживания, определяемая стоимостью собственно профилактических работ, грн.;  $C_{отк}$  - стоимость отказов оборудования, возникших и устраненных за время работы, грн.

Стоимость отказов оборудования включает в себя стоимость запасных частей, израсходованных на восстановление работоспособности машин и механизмов, зарплату ремонтным рабочим и стоимость ущерба, вызванного отказами оборудования.

Первые два слагаемых эксплуатационных затрат можно считать не зависящими от надежности системы и поэтому при оптимизации уровня надежности забойного оборудования не учитывать. Стоимость отказов оборудования за время  $t_{сум}$

$$C_{отк} = C_{y.o} \cdot n_t, \quad (4)$$

где  $C_{y.o}$  - средняя стоимость устранения одного отказа в процессе эксплуатации оборудования, грн.;  $n_t$  - количество отказов в течении рабочих  $t_{сум}$ .

Количество отказов оборудования за  $t_{сум}$ :

для гидрофицированной крепи М-87 и конвейера лавы СПМ-87

$$n_t = \frac{t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n} (V_n, m, K_{m.в}, l)) l}{\left( \bar{t}_p + \bar{t}_n \cdot \sqrt{1,5m^{-1}} \right)_n}; \quad (5)$$

для выемочного комбайна 2К-52

$$n_t = \frac{t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n} (V_n, m, K_{m.в}, l))}{\bar{t}_p + \bar{t}_n \sqrt{1,5m^{-1}}}; \quad (6)$$

для штрекового конвейера типа СП-63

$$n_t = \frac{t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n} (V_n, m, K_{m.в}, l))}{\bar{t}_p + \bar{t}_n}, \quad (7)$$

где  $K_{m.n}$  - коэффициент технологических перерывов для лав, оборудованных гидрофицированными комплексами,

$$\begin{aligned} K_{m.n} (V_n, K_{m.в}, m, l) &= 0,83 + 0,149V_n + 1,6K_{m.в} + 0,039m + 0,012l - \\ &- 0,017V_n^2 - 2,76K_{m.в}^2 - 0,107m^2 - 0,000038l^2; \\ R &= 0,55; \mu = 8,13, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $V_n$  - скорость подачи комбайна, м/мин;  $K_{m.в}$  - коэффициент использования машинного времени;  $m$  - мощность разрабатываемого пласта, м;  $l, l_H$  - длина и нормативная длина лавы, м;

Стоимость устранения одного отказа

$$C_{y.o} = C_{p.n} + C_{з.ч} + C_y, \quad (9)$$

где  $C_{p.n}, C_{з.ч}, C_y$  - затраты на содержание ремонтного персонала, запасных частей и стоимость ущерба, вызванного отказом оборудования в процессе эксплуатации, грн.

Стоимость содержания ремонтного персонала рассчитывается из средней трудоемкости ремонтных работ по комплексно-механизированным лавам:

$$C_{p.n} = T_{p.p} C_m K_{\text{дон}} t_{\text{сум}} n_t^{-1}, \quad (10)$$

где  $T_{p.p}$  - средняя трудоемкость ремонтных работ, чел/ч;  $C_m$  - тарифная ставка

рабочего по ремонту механического оборудования лавы, грн.;  $K_{дон}$  - коэффициент доплат к тарифной ставке;  $t_{сут}$  - длительность работы комплекса в течение суток, ч. Стоимость запасных частей, отнесенная к одному отказу,

$$C_{з.ч} = C_{з.ч}^M M^{-1} h_t^{-1}, \quad (\text{II})$$

где  $C_{з.ч}^M$  - стоимость содержания запасных частей в течении месяца, грн.;  $M$  - количество рабочих дней в месяце.

Стоимость ущерба, вызванного отказом машин

$$C_y = C_{y.n} Q_m t_{m,i} (1 - K_{m,n}(V_n, m, K_{m,n}, l)) \quad (i=1,2,3), \quad (12)$$

где  $C_{y.n}$  - условно - постоянная часть затрат в пределах лавы (панели), грн/т;  $Q_m$  - фактическая средняя минутная производительность выемочной машины, т/мин;  $i$  - составляющие элементы комплекса (комбайн, конвейер, крепь, маслостанция и т.д).

Приведенные затраты на 1 т добытого угля по производственным процессам шахты, по сравнению с другими видами показателей, позволяют оценить действительные затраты на технологические процессы, поскольку помимо эксплуатационных издержек они учитывают эффективность использования основных фондов. Фактическая производительность выемочной машины

$$Q_m = V_n m \gamma c \gamma_3 \quad (13)$$

где  $\gamma$  - плотность угля, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_3$  - глубина захвата комбайна, м;  $c$  - коэффициент извлечения угля из забоя.

Отношение средней стоимости устранения одного отказа в процессе эксплуатации к средней продолжительности простоя характеризует стоимость единицы времени простоя машины:

$$C_n = C_{y.o} \bar{t}_n^{-1}. \quad (14)$$

Таким образом, общие затраты на разработку, производство и эксплуатацию оборудования повышенной надежности выразятся следующим образом: для гидрофицированной крепи и забойного конвейера

$$C = C_0 \beta \cdot 10^{-2} \cdot K_{n.o}^\alpha K_n^{-\alpha} l_n^{-1} + C_n K_n t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n}) \quad (15)$$

для выемочного комбайна и штрекового конвейера

$$C = C_0 \beta \cdot 10^{-2} K_{n.o}^\alpha K_n^{-\alpha} + C_n K_n t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n}), \quad (16)$$

где  $\beta$ - процент амортизационных отчислений на восстановление и капитальный ремонт оборудования в сутки. Дифференцируя (15), (16) по  $K_{II}$  и приравнявая производную нулю, найдем оптимальный коэффициент простоя: для гидрофицированной крепи М-87 и конвейера СПМ-87

$$K_{II.opt} = \left( \frac{\alpha C_0 \beta l}{C_n t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n}) \cdot 100 l_n} \right)^{1/(\alpha+1)} K_{n.o}^{\alpha/(\alpha+1)},$$

для выемочного комбайна 2К-52 и штрекового конвейера СП-63

$$K_{II.opt} = \left( \frac{\alpha C_0 \beta}{C_n t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n}) \cdot 100} \right)^{1/(\alpha+1)} K_{n.o}^{\alpha/(\alpha+1)}.$$

Оптимальный коэффициент готовности найдем из соотношения  $K_{Г.opt} = 1 - k_{II.opt}$

Стоимость оборудования, приходящаяся на единицу времени работы:

для гидрофицированной крепи и лавного конвейера

$$C'_0 = \frac{C_0 \beta l}{100 l_n t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n})};$$

для выемочной машины и штрекового конвейера

$$C'_0 = \frac{C_0 \beta}{100 t_{\text{сум}} (1 - K_{m.n})}.$$

Введем в рассмотрение коэффициент экономической важности элемента (системы)

$$K_{n.o} = (C_n - C'_0) C_n^{-1}. \quad (17)$$

Теперь  $K_{II.opt}$  и  $K_{Г.opt}$  можно выразить через коэффициент экономической важности:

(18)

$$K_{II.opt} = \alpha^{1/(\alpha+1)} (1 - K_{e.o})^{1/(\alpha+1)} K_{n.o}^{\alpha/(\alpha+1)},$$

(19)

$$K_{Г.opt} = 1 - \alpha^{1/(\alpha+1)} (1 - K_{e.o})^{1/(\alpha+1)} (1 - K_{z.o})^{\alpha/(\alpha+1)}.$$

Уравнения (8) и (19) позволяют построить зависимости  $K_{II.opt} = fI(\alpha)$  и  $K_{Г.opt} = fI(\alpha)$  при  $K_{e.o} = \text{const}$  в различных значениях  $K_{z.o} = 1 - K_{n.o}$  с учетом влияния горнотехнических факторов: скорости подачи комбайна, мощности разрабатываемого пласта, длины лавы и коэффициента использования машинного времени.

Из уравнения (17) следует, что  $K_{II.opt} \rightarrow 0$  при  $\alpha \rightarrow 0$ ;  $K_{II.opt} \rightarrow K_{n.o}$  при  $\alpha \rightarrow \infty$ . Значения  $K_{II.opt}$  меньше  $K_{n.o}$  характеризуют повышение надежности машины и получение при этом максимального экономического эффекта.

Значения  $\alpha$ , при которых  $K_{II.opt} = K_{n.o}$ , т.е. надежность машины остается прежней и ожидаемый экономический эффект равен 0, называется критическим. Из уравнения

$$K_{n.o} = \alpha_{кр}^{1/(\alpha_{кр}+1)} (1 - K_{e.o})^{1/(\alpha_{кр}+1)} K_{n.o}^{\alpha_{кр}/(\alpha_{кр}+1)}$$

величина

$$\alpha_{кр} = \frac{K_{n.o}}{1 - K_{e.o}} = \frac{1 - K_{z.o}}{1 - K_{e.o}}. \quad (20)$$

Из (18) при  $\alpha < \alpha_{кр}$  получается  $K_{II.opt} < K_{z.o}$ , и повышение надежности горношахтного оборудования экономически выгодно. Из (20) следует, что  $\alpha_{кр} = 1$  при  $K_{e.o} = K_{z.o}$ . Если  $K_{e.o} > K_{z.o}$ , то  $\alpha_{кр} > 1$ ; если  $K_{e.o} < K_{z.o}$ , то  $\alpha_{кр} < 1$ . При  $\alpha > \alpha_{кр}$  повышение надежности экономически невыгодно. Срок окупаемости затрат на повышение надежности

$$T_{ок} = \frac{C - C_o}{C_{z.o} - C_s}, \quad (21)$$

где  $C_s$ ,  $C_{z.o}$  - расходы на эксплуатацию оборудования, соответственно, нового и старого образца, грн.

Учитывая (1) - (19), получим

$$T_{ок} = \frac{C_o [(K_{n.o}^\alpha K_{II.opt}^{-\alpha}) - 1]}{C_n T (1 - K_{m.n}) (K_{n.o} - K_{II.opt})},$$

где  $T$ - годовой ресурс работы машины, мин.

Таким образом, порядок определения целесообразности повышения надежности горно-шахтного оборудования следующий:

по формуле (17) определяется  $K_{в.о}$ ; для  $\alpha = 1$ , если  $K_{г.о} > K_{в.о}$ , повышать надежность оборудования экономически невыгодно, если  $K_{г.о} < K_{в.о}$ , следует повышать коэффициент готовности оборудования до тех пор, пока новые значения коэффициентов не станут равными:  $K_{г.о}^{opt} = K_{в.о}$ ;

по коэффициентам  $K_{в.о}$  и  $K_{г.о}$  определяются  $a_{кр}$  по (20); если  $a_1 \gg a_{кр}$ , коэффициент  $K_{г.о}$  увеличивать не следует, т.к. экономический эффект будет равен нулю или отрицательным; если  $a_1 < a_{кр}$ , то надо  $K_{г.о}$  увеличивать до  $K_{г.о}^{opt}$ ;

по формуле (19) определяется  $K_{г.о}^{opt}$ ; находится новая стоимость системы  $C_1$  по (1);

определяются затраты на повышение надежности:  $C_1 - C_0$ ; устанавливаются новые и старые затраты на эксплуатацию системы (оборудования) и экономию, получающуюся при этом  $C_{э.о} - C_{э.1}$ ; подсчитывается по (21) срок окупаемости затрат на повышение надежности забойного оборудования.