

Оценка затрат и прибыли при обеспечении технологических перевозок на руднике

В статье представлен методологический подход к определению оптимального периода использования рабочих в технологической системе горного предприятия, в основе которого лежит сравнение удельных затрат и средней удельной прибыли в разных вариантах отсутствия или наличия информации о внеплановых прекращении работ или невыходе на работу исполнителей. Этим обосновывается необходимость учета характеристик надежности работы исполнителей при управлении и подтверждается возможность повышения прибыли предприятия.

Работа предприятий, входящих в горно-металлургический комплекс, связана с проблемой бесперебойного осуществления перевозок технологических грузов. Обеспечение перевозок осуществляют исполнители, имеющие, как показали исследования, периодические отказы.

Задача состоит в необходимости определения оптимального периода t_0 анализа состояния исполнителей по предприятию, минимизирующего расходы на оплату больничных листов и другие социальные затраты $c(t)$ при внеплановых невыходах на работу и других отказах. Одновременно при оптимальных значениях t_0 возрастает прибыль $S(t)$, которую имеет предприятие, рационально использующее состав исполнителей основного технологического цикла.

Исследованиями на руднике «Медвежий ручей» ОАО ГМК «Норильский никель» установлено:

1. Функция распределения времени t работы сменного коллектива до появления первого отказа исполнителя $\bar{F}(t) = \exp[-(0,01t)]$;
2. Плотность распределения времени работы $f(t) = 0,01 \exp[-(0,01t)]$;
3. Интенсивность отказа исполнителей $l(t) = 0,001 \text{ ч}^{-1}$;
4. Среднее время безотказной работы исполнителя $M_x = 10,0 \text{ ч}$;
5. Среднее время явочного анализа выхода исполнителя на текущую смену и подготовка на следующую $M_{\text{янн}} = 2,0 \text{ ч}$;
6. Средняя длительность явочного анализа за три смены работы (суточный интервал), включающего непредвиденные отказы $M_{\text{ган}} = 3,0 \text{ ч}$;
7. Оперативное время работы в смене с учетом подготовительно-заключительного периода $t = 10 \text{ ч}$;
8. Прибыль за время безотказной работы коллектива $C_0(t) = C_0 \cdot t$, где $C_0 = 3,09$ тыс. руб.;
9. Затраты на периоде регенерации в смене одного маршрута технологических перевозок по отказу исполнителей $C_{\text{ан}}(t) = C_{\text{ан}} \cdot t$,

где аварийная $C_{an} = 187$ тыс. руб. и плановая $C_{nn} = 0,98$ тыс. руб.

Первоначально рассмотрим решение, когда в системе управления не фиксируются официально отказы исполнителей.

Показатели надежности работы исполнителей были определены теоретически [1]. Ведущей характеристикой при экономико-математическом моделировании надежности работы коллектива является коэффициент готовности исполнителей смены, описываемый уравнением, приведенным в [1] и в частности:

$$K_r(t) = M_{gmn} / (M_{gan} - M_{gmn}) = \int_0^t x dF(x) / [(M_{gan} - M_{gmn}) \cdot \bar{F}(t)]. \quad (1)$$

Далее уравнение приводится к виду:

$$M_{gmn} = 1/l (\exp(l \cdot t) - 1) - t. \quad (2)$$

Обозначим

$$B(l \cdot t) = (\exp(x) - 1) - x. \quad (3)$$

Корень уравнения можно найти, используя численные методы и, в частности, для отмеченных исходных данных имеем $l \cdot t_0 = 0,575$ и $t_0 = 584$.

Данному периоду контроля и анализа отказов состава исполнителей соответствует величина коэффициента готовности:

$$K_r(t) = \bar{F}(t_0) / [1 + (M_{gan}) \cdot f(t_0)] = 0,53. \quad (4)$$

При расчете коэффициента оперативной готовности $R_{t_0}(t)$ с учетом экспоненциального распределения вероятности безотказной работы исполнителей следует учесть эквивалентность периода оптимальности t_0 для этой величины и для $K_r(t)$.

Следовательно, применяя исходные соотношения, находим:

$$R_{t_0}(t) = K_r(t_0) \cdot \exp(-l \cdot t) = 0,98. \quad (5)$$

Далее, используя уравнение $C(t_0) = l(t_0)(C_{an} \cdot M_{gmn} - C_{nn} \cdot M_{gmn})$, для оптимизации t_0 оцениваем средние удельные затраты. Преобразуем исходные выражения с учетом функции распределения $\bar{F}(t)$:

$$\frac{C_{nn}}{C_n} \cdot M_{gmn} = \frac{1}{l} (\exp(l \cdot t) - 1) - t. \quad (6)$$

Соотношение можно привести к виду $l M_{gmn} \cdot \frac{C_{nn}}{C_n} = b(l \cdot t)$. Для заданных исходных параметров частное значение $b(l \cdot t) = 0,1$, которому соответствует $l = 0,42$ и оптимальный период анализа состояния состава исполнителей $t_0 = 0,42/l = 42$ ч. Минимум затрат в связи с отказами исполнителей составит:

$$\begin{aligned} C(t) &= C_n \frac{\int_0^t C_n(t_0 - x) dF(x)}{\bar{F}(t_0)} + l(t_0) \cdot (C_{an} - C_{nn}) = \\ &= 2(1 - \exp(-0,42)) / \exp(-0,42) + 0,01(2,30 - 1,20) = 1,44 \text{ тыс. руб./ч.} \end{aligned} \quad (7)$$

Для расчета средней удельной прибыли оцениваем период t_0 и преобразуем исходные уравнения к виду:

$$\frac{(M_{gan}(C_0 - C_{nn}) + l \cdot M_{gan} \cdot M_{gmn}(C_n - C_{nn}))}{\frac{C_0 + C_{nn}}{l} + (C_n - C_{nn}) \cdot M_{gan}} = b(l \cdot t). \quad (8)$$

С учетом исходных данных $b(l \cdot t) \approx 0,15$, корень уравнения составит величину $l t_0 = 0,49$ и определит оптимальный t_0 , максимизирующий S при $t_0 = 0,49/l = 49$ ч.

Максимальная средняя удельная прибыль оценивается соотношением:

$$S(t) = \frac{\bar{F}(t_0) \cdot C_0(t_0) - \int_0^t C_n(t_0 - x) \cdot dF(x) - (\bar{C}_{an} - \bar{C}_{nn}) \cdot f(t_0)}{1 + (M_{gan} - M_{gmn}) \cdot f(t)} =$$

$$\frac{3 \exp(-0,49) - 2(1 - \exp(-0,49)) - (3,30 - 1,20) \cdot 0,01 \exp(-0,49)}{1 + (3,0 - 2,8) \exp(-0,49) \cdot 0,01} = 0,771 \text{ тыс. руб./ч.} \quad (9)$$

В данном примере рассмотрена система управления производственным коллективом, в которой центральная диспетчерская служба предприятия не имеет полных сведений об отказах исполнителей по подразделениям. Если осуществить централизованный сбор такой информации, то фиксация отказов повышает коэффициенты готовности и оперативной готовности.

Для расчета оптимального t_0 для оценки коэффициента готовности используем уравнения, приведенные в [1], и в этом случае:

$$\frac{M_{gmn}}{M_{gan} - M_{gmn}} = 2;$$

$$A(t) = -1 + \exp(-0,01t) + 0,01t \int_0^t \exp(-0,01t) dt = 1,0. \quad (10)$$

Уравнение имеет единственный корень, составляющий период оптимального $t_0 = 180$ ч. Коэффициент готовности исполнителей:

$$K_r(t) = [1 + l(t_0) \cdot (M_{gan} - M_{gmn})]^{-1} \approx 0,99 \quad (11)$$

Если в системе кадрового обеспечения предприятия контрольно-организационных мероприятий не осуществлять ($t \rightarrow \infty$), то коэффициент готовности составит $K_r(t) = 0,2$.

Коэффициент оперативной готовности рассчитывается по формуле:

$$A(t) = -1 + \exp(-0,01t) + 0,01t \int_0^t \exp(-0,01t) dt = 1,18;$$

оптимальный период контрольных мероприятий составит $t_0 = 156$ ч.

Соответственно

$$R_{t_0}(z_0) = \int_0^{t_0} \exp(-0,001(z+1)^2) dz \bigg/ \int_0^{t_0} \exp(-0,001z^2) dz + 2 +$$

$$+ (30 - 2)(1 - \exp(-0,001(156)^2)) \approx 0,816, \quad (12)$$

где $z \approx 5$ ч. – оперативное время выполнения сменного задания на технологических перевозках.

Если мероприятия в оптимальный период времени не проводятся, то $R_{t_0}(z) = 0,79$.

Аналогичными расчетами определены периоды оптимальных мероприятий, минимизирующие средние удельные затраты и определяющие максимум средней удельной прибыли.

Уравнение для определения затрат имеет вид:

$$A(lt) = \exp(-0,01t) + 0,01t \int_0^t \exp(-0,01z) dz = 0,17, \quad (13)$$

которому соответствует $t_0 = 28$ ч.

Максимальную прибыль обеспечивает оптимальный t_0 , величина которого находится из уравнения:

$$A(lt) = 1 + \exp(-0,01t) + 0,01 \int_0^t \exp(-0,01z) dz + 0,00070 \approx 0,25 \quad (14)$$

Соответственно, оптимальный период составит $t_0 = 34$ ч. Этим значениям соответствуют расходы:

$$C(t_0) = (C_{an} - M_{gan} - C_{nn} \cdot M_{gmn}) \cdot l(t_0) = 0,056 \text{ тыс. руб./ч.}, \quad (15)$$

а прибыль

$$S(t_0) = \frac{C_0 - (C_{an} \cdot M_{gan} - C_{nn} \cdot M_{gmn}) \cdot l(t_0)}{1 + l(t_0) \cdot (M_{gan} - M_{gmn})} = 2,98 \text{ тыс. руб./ч.}$$

Если подсистема не контролируется в установленные интервалы времени, то расходы и прибыль имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} C &= C_{an} \cdot M_{gmn} / M_x = 0,6 \text{ тыс. руб./ч.}; \\ S &= \frac{C_0 \cdot M_x - C_{an} \cdot M_{gan}}{M_x - M_{gan}} = 1,08 \text{ тыс. руб./ч.} \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, получаем, что в подсистеме исполнителей предприятия планируемый в оптимальный период анализ отказов водителей позволяет сократить расходы и повысить прибыль по сравнению с системой управления, не выполняющей такие установки.

Расчетами установлено, что корректировка базы данных исполнителей при трехсменной перевозке технологических грузов должна осуществляться с периодичностью до 28 часов при суточном планировании экипажей машин, если система сбора учетной информации обладает необходимой полнотой. В этом случае обеспечивается экстремум функций затрат и прибыли. Максимум коэффициента готовности и вероятности выполнения производственного задания смены достигается при еженедельном анализе показателей надежности и эффективности работы исполнителей после очередной корректировки данных.

При ограниченной информации в подсистеме исполнителей об их отказах использование этих данных оптимально через двухсуточный интервал. Такая периодичность целесообразна для следующего уровня диспетчерской иерархии при контрольных операциях. Расчетами установлено, что управление составом исполнителей предприятия без использования базы данных о надежности их работы ($t \rightarrow \infty$) резко снижает коэффициент готовности исполнителей и вероятность выполнения сменного задания, сокращая прибыль

и увеличивая затраты предприятия.

Список литературы

1. Владимиров В.Н., Носов С. В., Магеря Л.Ф. Методика определения надежности водителя на перевозках горной массы // Горный журнал. Известия Вузов. – 1992. №5. С. 67-72