Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1987, т.110

УДК 621.8.79.629

РАЦИОНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ

А.А.КУЛЕШОВ, С.Н.РЕЗНИКОВ

Рост единичной мощности и стоимости погрузочного и транспортного оборудования требует существенного увеличения эффективности их эксплуатации, установления рационального уровня надежности машин различных типов и в целом транспортной системы карьеров.

Надежность системы целесообразно оценивать коэффициентом готовности. При этом учитывается число элементов каждого звена, число звеньев, структура взаимосвязей погрузочного и транспортного оборудования, транспортных коммуникаций и приемных пунктов. Все это определяет надежность функционирования транспортной системы и вероятность выполнения производственной программы предприятия.

Транспортные системы подразделяются на простые и сложные. Простые системы состоят из простых экскаваторно-автомобильных комплексов с жестким прикреплением автосамосвалов к базовому элементу - экскаватору. Сложные системы характеризуются отсутствием жесткой связи между экскаваторами и автосамосвалами. Кроме того, транспортные системы могут быть с усреднением и без усреднения руд; с независимыми грузопотоками руды и вскрыши и со смешанными. Те и другие образуют монотранспортную систему или входят в состав комбинированной или параллельной транспортной системы. Для описания их надежности предлагается использовать биномиальный закон распределения, который основан на том, что каждый элемент любого звена может иметь два состояния: нормальное функционирование и состояние отказа, т.е. подчиняется распределению Бернулли. Следовательно, состояние всего звена, состоящего из нескольких параллельно работающих и независимых элементов, описывается биномиальным законом распределения. В результате перемножения вероятностей состояния каждого звена получена вероятность общего состояния системы, которая при определенных условиях подчиняется биномиальному закону распределения:

$$P = C_{N_a}^{n'} P_K^{n'} (1-P_K)^{N_a-n'}, \qquad (I)$$

где N_a -- общее число автосамосвалов в транспортной системе; n - число рабочих автосамосвалов; P_K - вероятность того, что случайно выбранный автосамосвал исправен и находится в работающей системе.

Параметр распределения P_K учитывает надежность элементов каждого звена, а также структурную схему транспортной системы. Для простой транспортной системы

$$P_К = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{k_i} - (n-1)\right]^{-1} k_{г.а}\,, \qquad (2)$$

где k_i – коэффициент готовности i-го последовательного элемента простого экскаваторно-автомобильного комплекса, входящего в состав простой транспортной системы; n – число последовательных элементов; $k_{г.а}$ – коэффициент готовности автосамосвала.

Для сложной транспортной системы

$$P_К = \sum_{n'_э=0}^{N_э} \left[c_{N_э}^{n'_э} k_{г.э}^{n'_э} \left(1-k_{г.э}\right)^{N_э - n'_э} \sum_{n'_а=0}^{N_а/h'_э} c_{N_а}^{n'_а} k_{г.а}^{n'_а} \left(1-k_{г.а}^{N_а - n'_а}\right) \right], \qquad (3)$$

где $N_э$ – общее число экскаваторов в сложной транспортной системе; $k_{г.э}$ – коэффициент готовности экскаватора; $n_э$ – число рабочих экскаваторов в системе.

На большинстве карьеров имеется несколько приемных пунктов и главных откаточных автодорог, которые объединяют грузопотоки. В результате усреднения руд устанавливается смешанная технологическая связь пунктов погрузки с пунктами приема горной массы, вводится ограничение по производительности некоторых экскаваторов. В этом случае при определении производительности простого комплекса используется выражение, учитывающее резерв машин:

$$M\left[Q_с\right] = k_с Q_а \left[\sum_{n'=0}^{n_н} p(n')\, n' + n_н \sum_{n'=n_н+1}^{N_а} p(n')\right], \qquad (4)$$

где $k_с$ – коэффициент готовности последовательных элементов простого экскаваторно-автомобильного комплекса; $p(n')$ – вероятность того, что из $N_а$ в транспортном звене будет исправно ровно n'; $Q_а$ – производительность одного автосамосвала; $n_н$ – число автосамосвалов, насыщающих экскаваторно-автомобильный комплекс.

Общая вероятность того, что транспортная система со смешанными грузопотоками и усреднением руд будет иметь производительность, соответствующую n', определяется по формуле

$$P_{см}(n') = k_с p(n') \sum_{n_т=n'_т}^{N_т} p(n_т) \sum_{n_п=n'_п}^{N_п} p(n_п)\,, \qquad (5)$$

где $\sum_i p(n_т)$ – вероятность того, что в произвольный момент времени в звене, состоящем из $N_т$ автодорог, окажутся исправными $n'_т$ и более элементов, определяется по биномиальному закону распределения; $\sum_i p(n_п)$ – вероятность того, что в произвольный момент времени в звене, состоящем из $N_п$ приемных пунктов, окажутся исправными $n'_п$ и более элементов, определяется по биномиальному закону распределения.

Тогда

$$P_К = k_с\, k_а \sum_{n_т=n'_т}^{N_т} p(n_т) \sum_{n_п=n'_п}^{N_п} p(n_п)\,. \qquad (6)$$

Для комбинированных транспортных систем с использованием автомобильного транспорта в качестве забойного требуется установление закона распре-

деления производительности смежного вида транспорта, а также емкости перегрузочных пунктов. Если в качестве смежного транспорта применяется дискретный с производительностью каждой единицы Q_g, то производительность всей системы определяется по формуле

$$M\left\{Q_{\text{ком}}\right\}=Q_a \sum_{n'=1}^{N_a}\left[n' p(n') \sum_{n_g=n'm}^{N_g} p(n_g)\right]+Q_g \sum_{n_g=1}^{N_g}\left[n_g p(n_g) \sum_{n'=n_g/m}^{N_a} p(n')\right], \quad (7)$$

где N_g, n_g - списочное и рабочее число дискретных единиц смежного транспорта; $p(n_g)$ - вероятность того, что в смежной транспортной системе будет исправно n_g дискретных единиц; m - количественное отношение производительности транспортных единиц комбинированной транспортной системы с учетом аккумулирующей емкости V.

На основе полученных зависимостей разработана математическая модель расчета надежности транспортных систем различных структур. В качестве показателя надежности принята вероятность того, что случайно выбранный автосамосвал исправен и находится в работающей системе. На рис.I показано ее изменение от коэффициента готовности экскаватора при различном числе погрузочных средств в экскаваторно-автомобильном комплексе. Полученные кривые показывают, что с увеличением числа экскаваторов в комплексе надежность системы растет, однако при $N_э \geqslant 5$ это увеличение показателя надежности P_K несущественно (менее I %), причем это характерно для интервала, где $k_{г.э}$= 0,8-0,9, а при большем значении $k_{г.э}$ надежность любой системы приближается к надежности простых транспортных систем.

При рассмотрении системы с усреднением руд (когда вводится ограничение по производительности некоторых экскаваторов) и системы со смешанными грузопотоками руды и вскрыши отмечено, что они имеют существенное отличие по надежности при коэффициенте готовности экскаватора менее 0,8 (рис.2). При этом сложная система с усреднением руд становится менее надежной, чем система, состоящая из простых экскаваторно-автомобильных комплексов. В том случае, когда система имеет разветвленную сеть автомобильных дорог, обеспечивающих бесперебойную работу транспорта на вскрыше и руде, ее надежность в среднем увеличивается на IO-I2 %. Однако увеличение коэффициента готовности экскаваторов от 0,9 и более уменьшает это различие, и при $k_{г.э}$ = I надежность всех систем становится одинаковой.

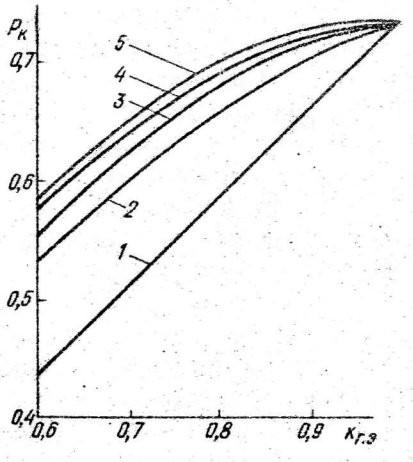


Рис.1. Изменение надежности простой (1) и сложных (2-5) систем в зависимости от коэффициента готовности экскаватора: 1 - $N_э$= 1; 2 - $N_э$ = 3; 3 - $N_э$ = 5; 4 - $N_э$ = 8; 5 - $N_э$= 10

Изменение надежности автосамосвалов имеет решающее значение в повышении эффективности эксплуатации таких систем. На рис.3 показано изменение вероятнос-

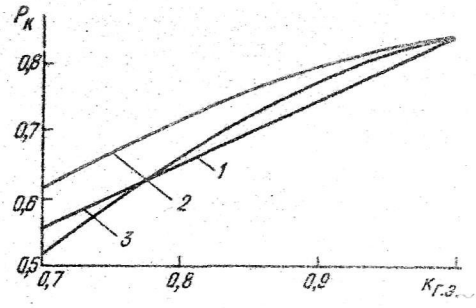


Рис.2. Изменение надежности различных систем: 1 – простая; 2 – сложная со смешанными грузопотоками; 3 – сложная с усреднением руд

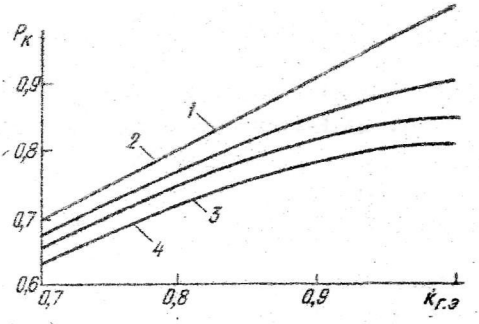


Рис.3. Изменение надежности сложных систем в зависимости от коэффициента готовности экскаватора: 1 – $k_{г.а} = 1,0$; 2 – $k_{г.а} = 0,9$; 3 – $k_{г.а} = 0,85$; 4 – $k_{г.а} = 0,8$

ти $P_к$ для четырех систем, имеющих различный коэффициент готовности автосамосвалов. При увеличении $k_{г.а}$ резко изменяется наклон кривых, особенно при $k_{г.э} > 0,8$, а при $k_{г.а} = 1$ зависимость надежности системы от коэффициента готовности экскаватора становится линейной.

Для действующих предприятий увеличение надежности транспортной системы можно получить за счет увеличения резерва парка автосамосвалов. Как видно из рис.4, максимальное увеличение надежности системы достигается при коэффициенте резерва, равном 1,2–1,3, дальнейшее увеличение парка машин не приводит к существенным изменениям надежности, так как в этом случае вероятность $P_к$ изменяется менее, чем на 5 %.

Для того, чтобы оценить возможность увеличения надежности автосамосвалов или резерва парка машин, проведены расчеты суммарных удельных приведенных затрат в целом по горно-транспортному комплексу и с учетом непроизводственной сферы предприятия по экономико-математической модели при различном коэффициенте готовности машин. При этом капитальные затраты на приобретение одного автосамосвала принимались без изменения. По величине снижения суммарных затрат на 1 т добытой горной массы определялся экономический эффект от применения более надежных машин, который в конечном итоге мог быть направлен на это повышение.

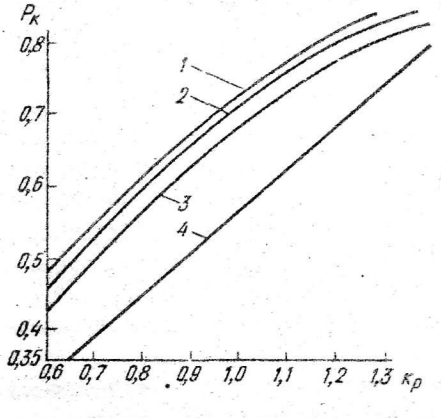


Рис.4. Изменение надежности транспортной системы в зависимости от коэффициента резерва парка автосамосвалов: 1 – $N_э = 10$; 2 – $N_э = 6$; 3 – $N_э = 3$; 4 – $N_э = 1$

Расчеты выполнены при изменении коэффициента готовности автосамосвалов от 0,75 до 0,95 с определением оптимальных комплексов для различных горно-технических условий при изменении годовой производительности карьера по горной массе от 20 до 100 млн.т (см. таблицу).

Результаты расчета экономического эффекта от повышения надежности автосамосвалов

Грузоподъемность автосамосвалов, т	Задаваемый коэффициент готовности $k_г$	Рациональный коэффициент готовности	Экономический эффект, приходящийся на 1 автосамосвал, тыс.руб/год	
			при задаваемом $k_г$	при рациональном $k_г$
75	0,80	До 0,84	4,0	5,5
110	0,81	До 0,85	8,0	11,1
180	0,83	До 0,87	18,0	36,0
250	0,83	До 0,88	53,8	83,1
300	0,85	До 0,89	72,8	133,3
500	0,87	До 0,90	164,4	257,1

Рациональное значение коэффициента готовности соответствует максимальному значению экономического эффекта в данных условиях. Из таблицы видно, что полученный экономический эффект от увеличения надежности машин имеет большое значение для автосамосвалов большей грузоподъемности, поэтому для их создания и эксплуатации могут быть использованы дополнительные вложения, которые позволят существенно повысить эффективность их применения.

Выводы

I. Разработанная математическая модель надежности транспортной системы основана на применении биномиального закона распределения числа рабочих элементов каждого звена. Параметром этого распределения является коэффициент готовности одного элемента. В модели учтена структурная взаимосвязь элементов погрузочного звена, автосамосвалов, звена транспортных коммуникаций и приемных пунктов.

2. Результаты расчетов показали, что при существующем уровне надежности применяемого погрузочного и транспортного оборудования сложная транспортная система является более надежной, чем простая. Коэффициент готовности системы для условий карьера Ждановского рудника ГМК „Печенганикель" составляет 0,63. В сложный экскаваторно-автомобильный комплекс должно входить не менее пяти экскаваторов.

3. Наличие двух и более автодорог, объединяющих грузопотоки руды и вскрыши, позволяет повысить надежность всей системы на I0-I2 %.

4. При усреднении руд надежность транспортной системы снижается на 5-7 %.

5. Для транспортного звена установлено требуемое значение коэффициента резерва парка автосамосвалов $k_р$ = I,2-I,3.

6. Увеличение надежности автосамосвалов имеет решающее значение в повышении эффективности эксплуатации транспортных систем карьеров. С увеличением грузоподъемности автосамосвалов рациональный уровень коэффициента готовности должен увеличиваться.