

622.27

М 48

**ИНСТИТУТ
ГОРНОГО
ДЕЛА**
ИМЕНИ
А.А.СКОЧИНСКОГО



Н. В. МЕЛЬНИКОВ,
М. Г. ПОТАПОВ,
А. Н. КОМРАКОВ

**МЕТОД
ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ
СХЕМ ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
НА КАРЬЕРАХ**

МОСКВА

1969

Количество предыдущих выдач _____	
22/Х/2612	
13/Х/II - 30	
21/IV - 12-80/	

[illegible]

77

2005

622.27

M48

Министерство угольной промышленности СССР
Академия наук СССР
Институт горного дела им. А. А. Скочинского

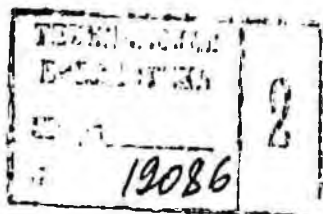
Лаборатория
карьерного транспорта

МЕТОД
ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ
СХЕМ ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
НА КАРЬЕРАХ

Краткий научный отчет

Научный руководитель -
академик Н.В. МЕЛЬНИКОВ

Ответственные исполнители:
канд. техн. наук М.Г. ПОТАПОВ,
инж. А.Н. КОМРАКОВ



Москва
1969

В кратком научном отчете обобщены материалы отчетов по темам: № 5 за 1963 г. (арх. № 5031); № 3, этапу 3, за 1965 г. (арх. № 7330); № 38, этапу 4, за 1966 г. (арх. № 8051); № 24, этапу 4, за 1967 г. (арх. № 8980), а также результаты исследований, проведенных в лаборатории карьерного транспорта в 1969 г.

Излагается метод оценки надежности схем поточной технологии с учетом структурной сложности систем для определения производительности и экономической эффективности каждой из них.

На основе анализа применяемых в СССР и за рубежом технологических систем с конвейерным транспортом предложена систематизация конвейерных схем по направлению грузопотока; определены основные структурные схемы конвейерного транспорта, позволяющие рассчитать вероятную долю времени исправной работы существующих и вновь создаваемых систем; вычислены количественные показатели надежности комплексов непрерывного действия, состоящих из конвейеров, роторных экскаваторов и отвалообразователей; установлены законы появления отказов и их устранения; проведено исследование по определению производительности ленточных конвейеров.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании карьеров возникает необходимость определения производительности технологических схем для оценки эффективности каждой из них.

Применяемые в настоящее время методы определения производительности машин и установок, используемых в карьерах, основываются на стабильных условиях их работы. Каждый параметр, оказывающий влияние на величину производительности, принимается как определенная величина, поэтому результат получается однозначным. Такой метод определения эффективного времени использования оборудования называется детерминистическим, а способность детерминистической модели давать определенный однозначный результат приводит к тому, что практические результаты далеко не всегда соответствуют принимаемой при проектировании и эксплуатации системе расчетов.

В реальных условиях неизбежны случайные отклонения от принимаемых нормативов времени, затрачиваемого на различные операции, поэтому практически при проектировании и эксплуатации производительность машин на каждой последующей стадии принимают с некоторым запасом.

Работающий в системе механизм может быть охарактеризован степенью его надежности, зависящей от условий работы, уровня конструктивного совершенства, технологии изготовления и других показателей. При работе системы, т.е. совокупности машин и механизмов, занятых на отдельных технологических процессах, вероятностные характеристики надежности отдельных машин распространяются на систему в целом или ее часть, в конечном итоге влияя на ее добывающую или транспортирующую способность. Поэтому если не учитывать случайные, незапланированные, простои, то невозможно

правильно предсказать ожидаемый объем выполнения работ и оценить экономическую эффективность той или иной технологической схемы.

Для решения задач подобного типа применяются методы математической статистики и теории вероятностей, изучающей случайные события.

В настоящей работе предложен метод оценки схем транспортирования с учетом показателей надежности оборудования и структурной сложности систем для определения производительности и оценки экономической эффективности каждой из них.

СХЕМЫ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Одним из основных направлений развития открытых разработок в СССР является создание крупных карьеров, где предусмотрено перемещение больших объемов горной массы конвейерным транспортом. Конвейеры имеют ряд преимуществ перед другими видами транспорта:

сравнительно небольшое количество обслуживающего персонала, благодаря чему достигается высокая производительность труда;

непрерывность транспортирования груза, что обеспечивает наиболее высокую производительность экскаватора;

непрерывность потока, способствующая наибольшей ритмичности работы всего горнотранспортного оборудования и облегчающая возможность комплексной автоматизации процессов;

способность транспортировать материал на подъем до 18° , благодаря чему значительно сокращаются протяженность транспортных коммуникаций, объем горнокапитальных работ и разнос бортов карьеров, а следовательно, и сроки их строительства, что особенно существенно при разработке карьеров глубоких или с малым сроком отработки;

относительно небольшие габариты конвейерных установок; допускающие их применение в стесненных условиях.

В настоящее время в СССР ленточные конвейеры применяются на открытых разработках Уральских угольных месторождений, угольных разрезах Восточной Сибири (Черемхово) и Средней Азии (Ангрен); роторные комплексы большой производительности эксплуатируются на Михайловском, Лебединском, Стойленском карьерах КМА и на марганцевых месторождениях Украины (Шевченковский, Грушевский, Запорожский карьеры). Выполнено большое число проектов, в которых преду-

смотрена конвейеризация транспортирования вскрыти и полезного ископаемого на новых угольных и железорудных карьерах Восточной Сибири, Кустанайской области, Курской магнитной аномалии, Украины и других районов страны.

Разнообразие горнотехнических условий месторождений, разрабатываемых открытым способом, предопределяет возможность применения различных схем конвейерного транспорта в карьерах. Схемой транспорта в карьере можно назвать направление грузопотоков и взаиморасположение транспортных коммуникаций, связывающих пункты погрузки горной массы с пунктами назначения ее транспортирования.

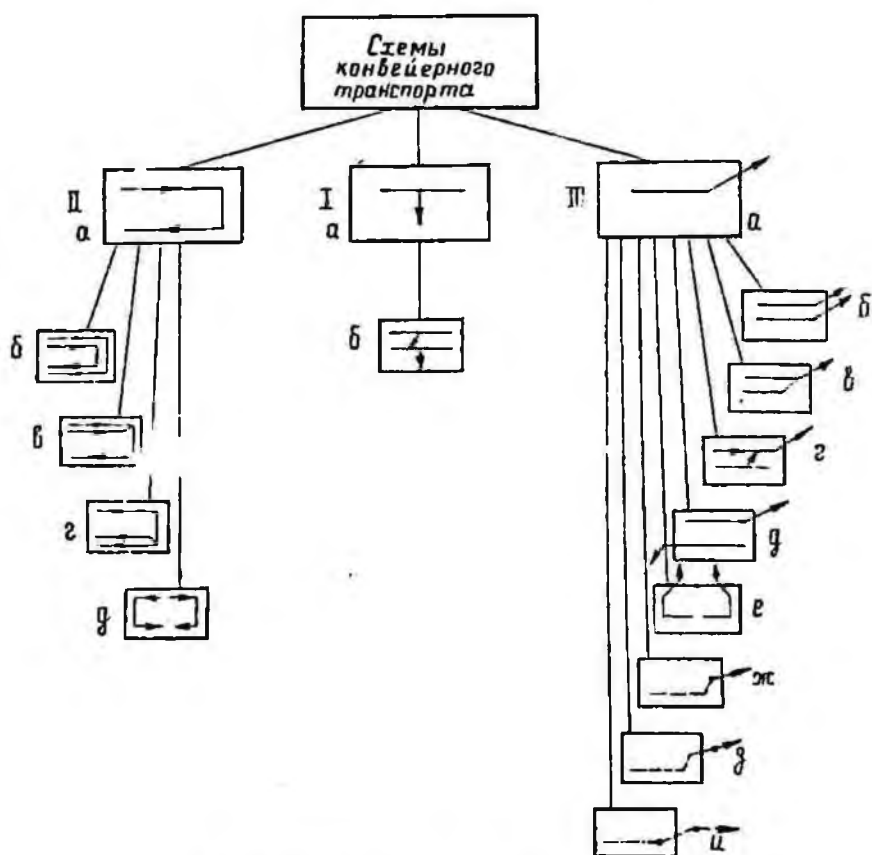


Рис. I. Схемы конвейерного транспорта

В систематизированном виде схемы конвейерного транспорта можно графически представить, как это показано на рис. I.

Схемы разделяются на три группы по направлению транспортирования горной массы:

I - в выработанное пространство кратчайшим путем поперек фронта карьера;

II - в выработанное пространство по периметру карьера;

III - за пределы карьера.

Для транспортирования вскрышных пород применимы схемы всех трех групп в зависимости от горнотехнических условий разработки месторождений; для перемещения полезного ископаемого за пределы карьера применимы схемы III группы; схемы I группы пригодны для транспортирования вскрышных пород и чаще применяются при разработке пород относительно небольшой мощности, покрывающих горизонтально залегающий пласт полезного ископаемого. В качестве транспортирующих агрегатов при этом используют ленточные отвалообразователи (схема I, а) или транспортно-отвальные мосты.

Транспортно-отвальная система разработки является высокоэкономичной благодаря перемещению горной массы по кратчайшему расстоянию и при разработке горизонтальных месторождений является предпочтительной.

При разработке вскрыши в несколько уступов, когда используются дополнительные транспортные средства для объединения грузопотоков двух или нескольких уступов, например ленточный перегружатель для передачи породы с верхнего (передового) уступа на транспортно-отвальный мост, возможно применение схемы I, б.

Схемы II группы используются, когда по горнотехническим условиям практически невозможно или неэкономично применение отвалообразователей и мостов. Схемы этой группы наиболее распространены благодаря своей универсальности, хотя по экономическим показателям, как правило, уступают схемам I группы.

При малой мощности вскрыши применима простейшая (рис. 2) из этой группы схема II, а (см. рис. I); с увеличением мощности вскрыши возникает необходимость разработки двумя или несколькими уступами с применением того же числа транспортных коммуникаций (схема II, б).

В зависимости от типа применяемого оборудования в забоях и на отвалах, а также от условий отсыпки внутреннего отвала возможны схемы с объединением или разделением грузопотоков, идущих с отдельных уступов и на отдельные отвалы (схемы II, в и II, 2).

При большой протяженности фронта работ, а также при необходимости заложения добычной траншеи посредине карьерного поля

применима схема П, 9, при которой можно поочередно вести разработку на одном из флангов вскрышных работ.

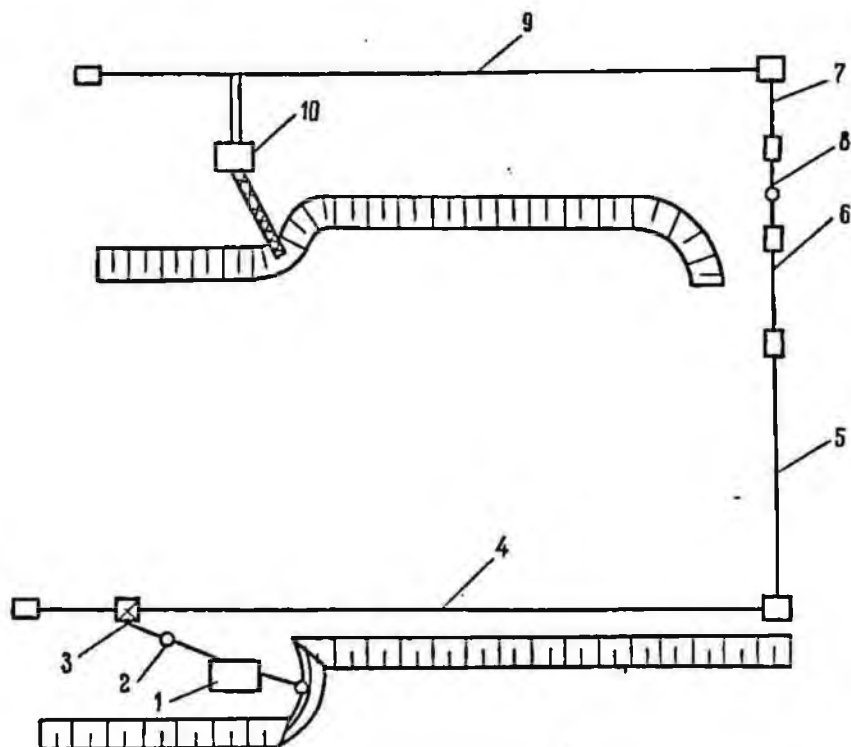


Рис. 2. Схема транспортирования вскрыши на Запорожском карьере комплексом "Оренштейн-Копшель":

1 - роторный экскаватор; 2 - перегрузатель; 3 - самоходный бункер; 4, 5, 6, 7, 9 - ленточные конвейеры; 8, 10 - отвалообразователи

Экономические показатели работы по схемам II группы несколько ниже, чем по схемам I группы. Обычно в проектах (по экономическим соображениям) предусматривается комбинация названных двух схем. Основной (нижний) вскрышной уступ разрабатывается по транспортно-отвальной системе, верхние же - по транспортной, с транспортированием породы в отвал по периметру карьера (Грушевский карьер). Общая стоимость вскрышных работ при этом снижается пропорционально доле участия транспортно-отвальной системы.

Схемы III группы применимы для транспортирования как вскрышных пород, так и полезного ископаемого.

Разработка одного уступа может осуществляться по схеме Ш,а; в случае двух или нескольких рабочих горизонтов и небольшого расстояния до пункта назначения возможно использовать схему Ш,б; при значительной длине транспортирования на поверхности становится целесообразным объединение грузопотоков (рис. 3), идущих от нескольких экскаваторов (схема Ш,г); в условиях значительной

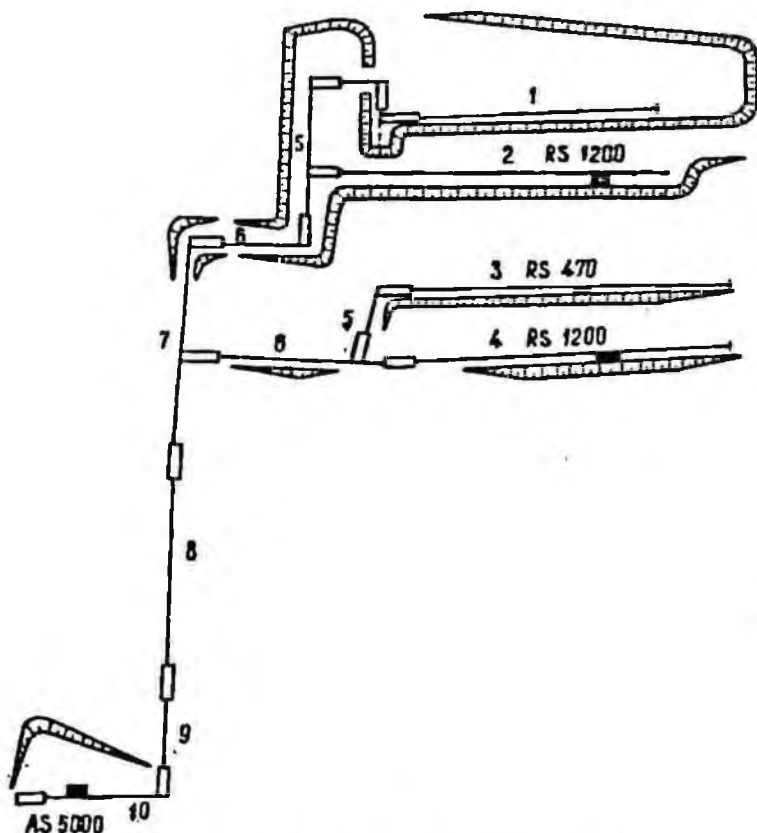


Рис. 3. Схема конвейерного транспорта на карьере "Трояново-3" (Болгария):

1,2,3,4 - ленточные конвейеры; 5 - передаточный конвейер;
6 - сортировочный конвейер; 7,8,9 - магистральные конвейеры;
10 - стальной конвейер

протяженности фронта работ объединение грузопотоков (схема Ш,г) можно осуществить передачей горной массы с уступа на уступ посредством ленточного перегружателя (рис. 4); в случае разработки месторождений с большим объемом горной массы может быть целесо-

нальным разделением общего грузопотока на части (схема Ш, г) с направлением их на различные отвалы (рис. 5).

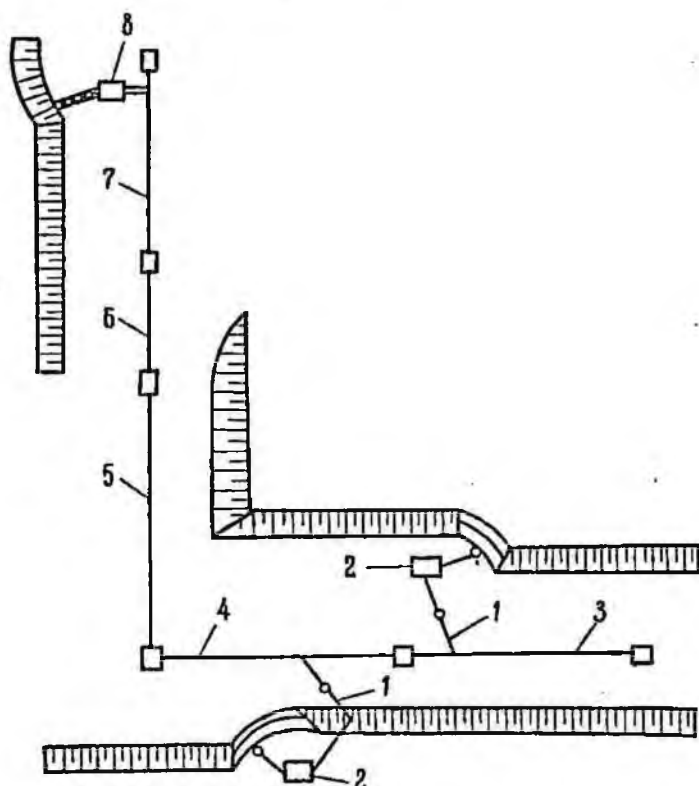


Рис. 4. Разработка вскрыши роторным комплексом "Лауххаммер" на Михайловском карьере ЮМА;

1 - перегрузатель; 2 - роторный экскаватор; 3, 4 - забойные конвейеры; 5 - магистральный конвейер; 6, 7 - отвальные конвейеры; 8 - отвалообразователь

При значительной протяженности карьерного поля возможно разделение коммуникаций для фланговой отработки уступов (схема Ш, е).

Для транспортирования вскрыши или полезного ископаемого комбинированным транспортом наиболее употребительны схемы Ш, ж, з, и. В схеме Ш, ж полезное ископаемое или вскрышная порода транспортируются в пределах карьера автомобильным или другим видом транспорта, а для подъема на поверхность и дальнейшего перемещения используется конвейерный транспорт.

В схеме Ш, з горная масса выдается из карьера, например, железнодорожным транспортом, а затем транспортируется в отвал кон-

вейерами. Такая схема работ на угольном карьере "Фортуна" (ФГ). В схеме Ш, Ц горная масса из забоя доставляется конвейерами на

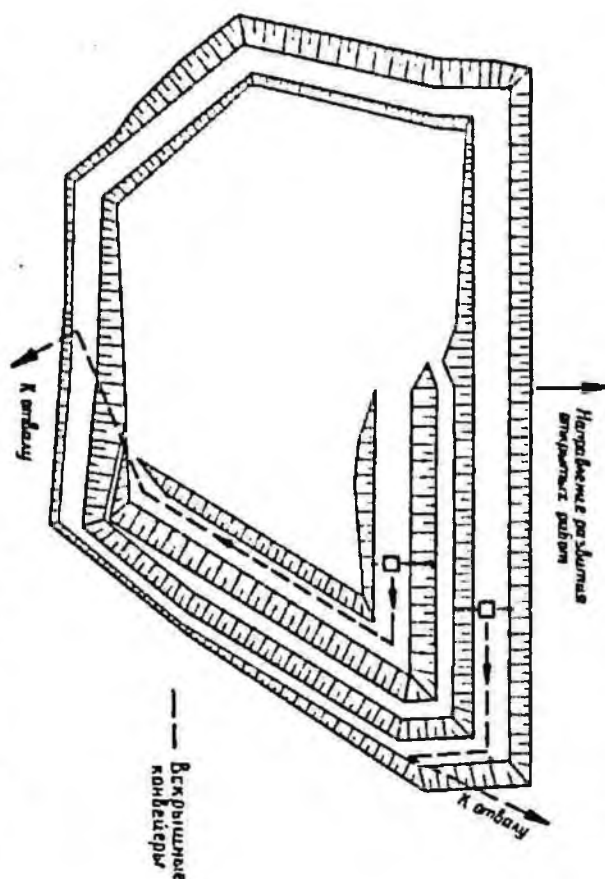


Рис. 5. Схема конвейерного транспорта с рассредоточением грузопотоков вскрыши на карьере "Санта-Барбара" (Италия)

борт карьера, а затем транспортируется железнодорожными, автомобильным или гидротранспортом (рис. 6).

Наконец, в определенных условиях применимо сочетание схем групп: I и Ш, II и Ш (карьер А.Запотоцкого в Польше), I, II и Ш (карьер "Вальцов-Зли" в ГДР). При этом главными соображениями при выборе схем являются сокращение расстояния транспортирования и повышение производительности транспорта.

Приведенные схемы транспортирования характеризуются практически различной трудоемкостью и энергоемкостью работ, поэтому естественно, приводит к необходимости выбора оптимального варианта. Это, в свою очередь, осуществимо лишь при обстоятельном учете различных многочисленных факторов, от которых зависят технические и экономические показатели применения различных технологических схем транспортирования. Основными из них являются: качество показателя надежности, время работы, производительность оборудования и структура схем транспортирования.

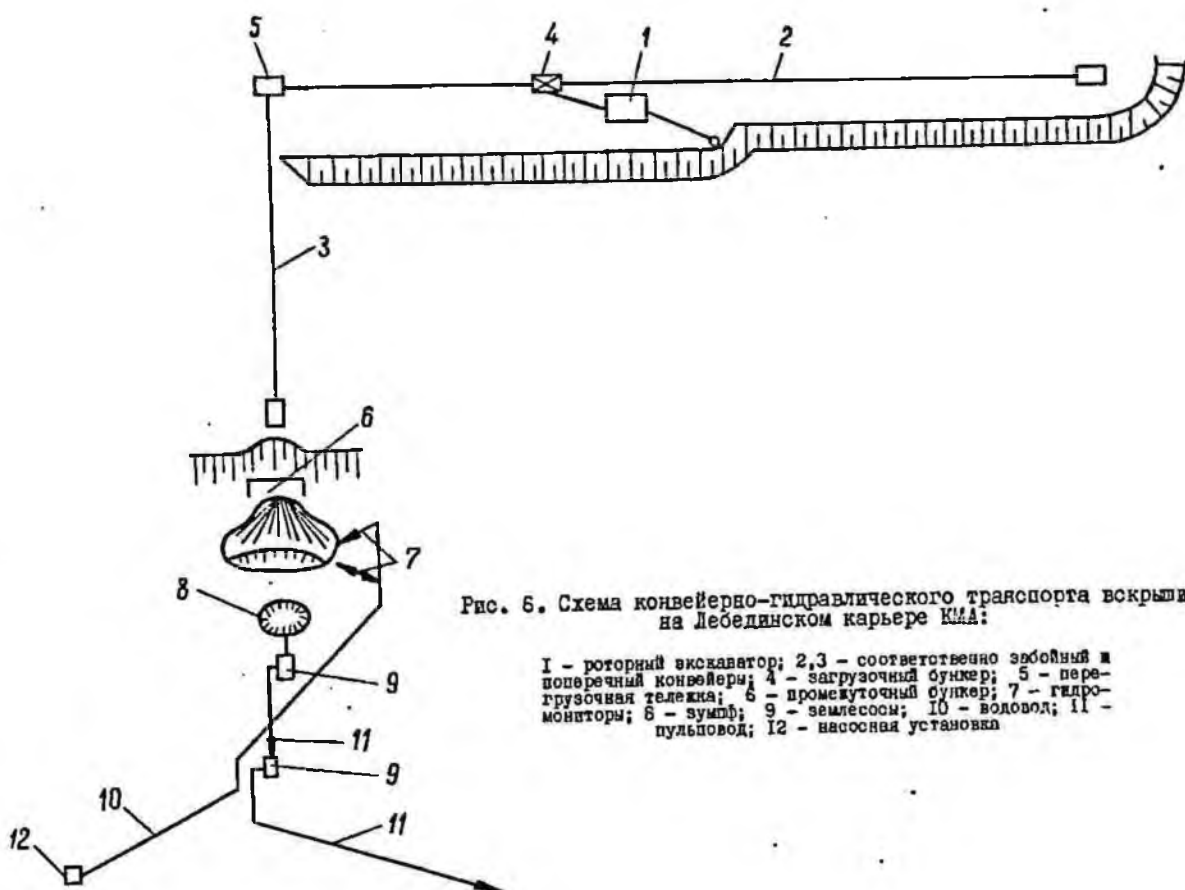


Рис. 6. Схема конвейерно-гидравлического транспорта вскрыши на Лебединском карьере КМА:

I - роторный экскаватор; 2, 3 - соответственно продольный и поперечный конвейеры; 4 - загрузочный бункер; 5 - перегрузочная тележка; 6 - промежуточный бункер; 7 - гидромонитор; 8 - насос; 9 - насос; 10 - насос; 11 - пульповод; 12 - насосная установка

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Следует различать эксплуатационное, рабочее и эффективное время работы экскаватора и любой другой горной машины и системы.

Для однотипного оборудования эксплуатационное время в одной климатической зоне должно быть одинаковым:

$$T_3 = T_k - t_{np} - t_n - t_{nc} \text{ ч.}$$

где T_3 - эксплуатационное время, ч;
 T_k - календарное время, ч;
 t_{np} - продолжительность годовых плановых ремонтов, ч;
 t_n - время праздников, ч;
 t_{nc} - продолжительность нерабочего сезона, ч.

Рабочее время зависит от принятого режима эксплуатации:

$$T_p = T_3 - t_{nnp} - t_b - t_{реж} - t_{nc} - t_r \text{ ч.}$$

где t_{nnp} - продолжительность текущих и месячных ремонтов, ч;
 t_b - время выходных дней, ч;
 $t_{реж}$ - потери времени, определяемые продолжительностью смен и их числом в сутки, ч;
 t_{nc} - время приема и сдачи смены, ч;
 t_r - время технологических простоев, ч.

В реальных проектах величина T_p для конвейерных систем различной сложности принимается одинаковой, т.е. практически не учитываются показатели надежности применяемого оборудования и влияние надежности отдельных машин на систему в целом.

С учетом аварийных (незапланированных) остановок машин время эффективной работы, когда система работает с заданной производительностью, можно представить в следующем виде:

$$T_{эф} = T_p \cdot \rho \text{ ч.}$$

где ρ - вероятность пребывания системы в исправном состоянии.

Зная время эффективной работы системы, можно определить ее добывающую (транспортирующую) способность, т.е. объем перевозок, который может быть выполнен с учетом аварийных остановок:

$$D = Q \cdot T_{эф} \cdot \rho \text{ м}^3 (\text{т}).$$

где Q - техническая производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Величина P зависит от показателей надежности применяемого оборудования и структуры технологических схем.

На примере комплексов непрерывного действия Новокраматорского машиностроительного завода, фирм "Дауххаммер" и "Оренштейн-Коппель" проведено исследование основных количественных показателей надежности ленточных конвейеров, роторных экскаваторов и отвалообразователей в условиях производства вскрышных работ на Михайловском железорудном карьере и карьерах треста Никополь-марганец.

При работе оборудования (в том числе непрерывного действия) имеют место простои, которые можно разделить на три группы:

детерминированные – прогнозируемые по времени возникновения и длительности, т.е. поддающиеся планированию и точному расчету;

вероятностные (стохастические) – прогнозируемые по частоте возникновения и длительности, т.е. подчиняющиеся определенному закону распределения;

случайные – не прогнозируемые ни по длительности, ни по времени возникновения.

Длительность вероятностных отказов соизмерима с временем плановых простоев, а иногда и превосходит его. В табл. 1 приведены сведения о работе комплексов непрерывного действия, которые показывают, насколько существенно вероятностные отказы влияют на работу технологической схемы. Доля случайных отказов в сумме вероятностных по длительности обычно не превышает 2-3%.

Вероятностные отказы при анализе конвейерных систем разделяются на две категории: поломочные (по неисправности механического, электрического оборудования и ленты) и неполомочные (ввиду схода или пробуксовки конвейерной ленты, завала перегрузочных пунктов, заштыбовки конвейеров). Такая система регистрации отказов позволяет анализировать работу оборудования по причинам выхода его из строя, выявлять слабые узлы конструкции, степень подверженности влиянию природных и климатических факторов. В табл. 2 приведена частота аварий конвейеров по названным причинам. Наблюдение за работой комплекса "Дауххаммер" проводилось в течение двух полных сезонов 1966 и 1967 гг., комплекса НКМЗ – в марте, апреле, августе и сентябре 1968 г.

По данным табл. 2 прослеживается влияние свойств грунта на частоту отказов ввиду заштыбовки и необходимости очистки конвейеров комплекса "Дауххаммер".

Т а б л и ц а I

Карьеры	Комплексы	Год	Общее время про- стоя, ч	Простой			
				детермини- рованные		вероятност- ные и слу- чайные	
				часы	%	часы	%
Михайловский	"Лауххаммер"	1965	2653	1333	50	1320	50
		1966	2304	1145	50	1159	50
		1967	2584	1209	47	1375	53
		1968	2591	1212	47	1379	53
Запорожский	"Оренштейн- Коппель"	1966	4975	2862	57	2113	43
		1967	4846	2331	48	2515	52
		1968	4429	2592	58	1806	42
Шевченковский	НКМЗ	1967	4811	1659	35	3152	65
		1968	4169	1396	34	2773	66

х) В общие и плановые простои входит только время простоев за вскрышной сезон.

На Михайловском карьере разрабатываемые породы представлены влажными суглинками, поэтому забойные конвейеры наиболее сильно подвержены аварийным остановкам из-за очистки пунктов перегрузки и затыбок (более 60%). По мере транспортирования от забоя до отвала грунт меняет свои свойства, становится менее липким, в результате частота остановок магистрального конвейера из-за очистки уменьшается до 23%, а отвального - до 17%.

На Шевченковском карьере разрабатываемая порода характеризуется меньшей влажностью, поэтому свойства транспортируемой породы на пути ее движения от забоя до отвала практически не влияют на частоту аварийных остановок конвейеров.

Основными показателями, позволяющими определить транспортную способность технологических схем, являются интенсивность возникновения отказов $\lambda = \frac{1}{t_{\text{ср}}}$ и интенсивность восстановления оборудования $\mu = \frac{1}{t_{\text{ав}}}$. Вероятностный характер показателей надежности λ и μ указывает на необходимость установления закона

распределения этих показателей или обратных им величин, т.е. наработки на отказ $\bar{t}_{\text{эф}}$ и среднего времени восстановления $\bar{t}_{\text{об}}$. Лишь в этом случае становится возможной оценка работы сложных систем при различных характеристиках надежности отдельных элементов. С этой целью был установлен закон распределения наработки на отказ $\bar{t}_{\text{об}}$ и времени восстановления $\bar{t}_{\text{об}}$ оборудования комплекса непрерывного действия.

Т а б л и ц а 2

Конвейеры	Частота отказов по не- исправности			Частота отказов ввиду		
	механи- ческого оборудо- вания	электро- оборудо- вания	ленты	схода ленты	пробук- совки ленты	очист- ки и зашты- бовки
	Конвейеры фирмы "Лауххаммер"					
Забойный $L = 500$ м	0,150	0,07	0,020	0,12	0,010	0,630
Магистральный $L = 1600$ м	0,220	0,19	0,070	0,23	0,060	0,230
Отвальный $L = 1080$ м	0,360	0,09	0,160	0,20	0,017	0,173
	Конвейеры НКМЗ					
Забойный $L = 800$ м	0,304	0,152	0,032	0,080	0,032	0,40
Магистральный $L = 800$ м	0,340	0,128	0,042	0,060	0,080	0,35
Отвальный $L = 600$ м	0,264	0,066	0,056	0,072	0,042	0,50

При анализе работы оборудования комплексов установлено, что в общей массе отказов преобладают простои небольшой длительности. Длительные отказы возникают весьма редко и составляют около 2% общей суммы простоев.

На рис. 7 приведена гистограмма времени аварийного ремонта отвального конвейера комплекса "Лауххаммер", работающего на Михайловском карьере. По виду кривой статистической плотности распределения φ времени аварийного ремонта можно предположить, что наиболее близко подходит к распределению $t_{\text{об}}$ сдвинутое экспоненциальное распределение с плотностью

$$\varphi_r(t_{\text{об}}) = \mu \cdot e^{-\mu(t-b)}, \quad (1)$$

где b — минимальная величина простоев, необходимая для приведения в действие системы оборудования (в нашем случае $b = 2,5$ мин).

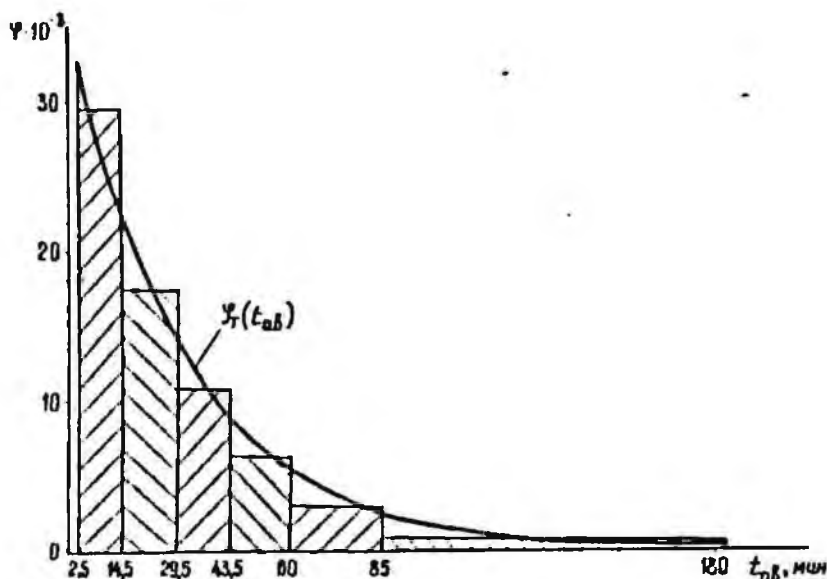


Рис. 7. Гистограмма и теоретическая функция $\varphi_r(t_{аб})$ плотности вероятности времени аварийного ремонта отвального конвейера

По результатам эксплуатации определена интенсивность устранения отказов

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{аб}} = \frac{1}{32} = 0,0312,$$

где $\bar{t}_{аб}$ — средняя длительность устранения одного отказа; $\bar{t}_{аб} = 32$ мин.

По формуле (1) определены значения теоретической функции $\varphi_r(t_{аб})$ на границах разрядов и построена кривая $\varphi_r(t_{аб})$. Степень согласованности статистического и теоретического распределений вычисляется с помощью критериев согласия χ^2 -квадрат Пирсона и критерия академика А.Н.Колмогорова.

Для оценки степени согласованности определяется мера расхождения χ^2 между теоретическими значениями частоты отказов и ее статистическими величинами:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^K \frac{(\omega_i - \omega_{ri})^2}{\omega_i},$$

где n — общее количество отказов;

K — количество разрядов (интервалов);

$$\omega_{ri} = \int_{t_{i-1}}^{t_i-b} \varphi_r(t) dt = e^{-\mu(t_{i-1}-b)} - e^{-\mu(t_i-b)}$$

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

$(t_{i-1} \div t_i)$ мин	2,5-14,5	14,5-29,5	29,5-43,5	43,5-60	60-85	85-180
ω_i	0,355	0,259	0,150	0,1025	0,0723	0,0600
ω_{ri}	0,313	0,256	0,153	0,1128	0,0832	0,0795
$\frac{(\omega_i - \omega_{ri})^2}{\omega_{ri}}$	0,0056	0,000035	0,000059	0,00094	0,00143	0,00477

По данным табл. 3 определяется значение χ^2 :

$$\chi^2 = 166 \cdot 0,0128 = 2,15.$$

Число степеней свободы

$$\nu = K - S = 6 - 2 = 4,$$

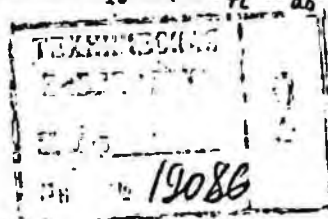
где K — количество разрядов (интервалов); $K = 6$;

S — число наложенных связей; $S = 2$.

В результате $P_{\chi^2} = 0,73$.

Как видно, подтверждается предположение о том, что длительность восстановления аварийных отказов распределяется по экспоненциальному закону.

Для проверки той же гипотезы с помощью критерия академика А.Н. Колмогорова определяется статистическая функция распределения $F_i(t_{ab})$ и теоретическая функция $F_{ri}(t_{ab})$ в точках на границах разрядов:



$$F(t_0) = 0;$$

$$F(t_1) = \omega_1 = 0,355;$$

$$F(t_2) = \omega_1 + \omega_2 = 0,355 + 0,259 = 0,614.$$

Теоретическая функция находится по формуле

$$F_{ri}(t_{ab}) = 1 - e^{-\mu(t_i - b)}.$$

Результаты расчетов $F_i(t_{ab})$ и $F_{ri}(t_{ab})$ приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

t_i	0	14,5	29,5	43,5	60,0	85,0	180,0
F_i	0	0,355	0,614	0,764	0,866	0,940	1,000
F_{ri}	0	0,313	0,569	0,722	0,835	0,918	0,999

Максимальное значение модуля разности Δ между статистической и теоретической функциями распределения

$$\Delta = \max |F_i(t_{ab}) - F_{ri}(t_{ab})| = 0,614 - 0,569 = 0,045.$$

Отсюда $\lambda_d = \Delta \sqrt{n} = 0,045 \cdot 166 = 0,6$. По данным И.Г.Венецкого и Г.С.Кильдышева [9, табл. II], вероятность в этом случае равна $P(\lambda_d) = 0,864$.

Таким образом, оба критерия согласия подтверждают предположение об экспоненциальном законе распределения времени восстановления аварийных отказов ленточных конвейеров.

Подобным образом установлено, что время работы между отказами оборудования непрерывного действия также подчиняется экспоненциальному закону распределения (рис. 8).

В табл. 5 приведены средние значения и пределы наменения показателей эксплуатационной надежности роторных комплексов (с доверительной вероятностью $\alpha = 0,9$). Интенсивность возникновения отказов конвейеров отечественного и зарубежных комплексов примерно одинакова. Бóльшее значение интенсивности отказов у забойного конвейера фирмы "Лауххаммер" объясняется влиянием свойств транспортируемой породы. Несколько бóльшая интенсивность

отказов конвейеров комплекса "Оренштейн-Коппель" вызвана в основном сбеганием ленты с роlikоопор из-за нецентральной загрузки

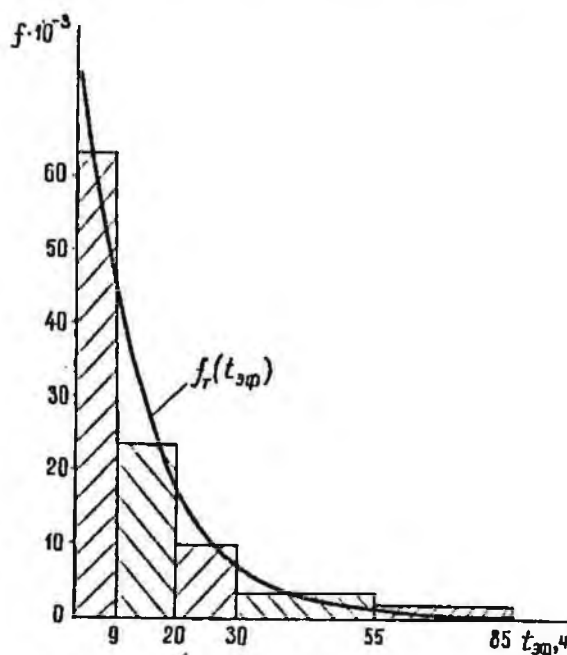


Рис. 8. Гистограмма и теоретическая функция $f_r(t_{эф})$ плотности вероятности наработки на отказ забойного конвейера

материала. Эти отказы по длительности не превышают 5-7 мин и при применении центрирующих роlikоопор могут быть устранены.

Т а б л и ц а 5

Машины	Интенсивность отказов, I/ч			Интенсивность восстановления, I/ч		
	λ_{min}	λ_{cp}	λ_{max}	μ_{min}	μ_{cp}	μ_{max}
I	2	3	4	5	6	7

Роторный комплекс "Лауххаммер"

Экскаватор	0,079	0,082	0,086	1,62	1,70	1,78
Забойный конвейер	0,080	0,083	0,087	1,91	2,27	2,38
Магистральный конвейер	0,030	0,033	0,037	1,66	1,80	1,96
Отвальный конвейер	0,046	0,050	0,055	1,55	1,68	1,83
Отвалообразователь	0,043	0,047	0,050	2,14	2,30	2,46

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
<u>Роторный комплекс "Орентейн-Коппель"</u>						
Экскаватор	0,056	0,063	0,072	1,47	1,67	1,90
Забойный конвейер	0,103	0,112	0,122	6,20	6,65	7,25
Магистральный конвейер	0,107	0,116	0,128	4,53	4,92	5,42
Отвальный конвейер	0,118	0,125	0,134	3,31	3,52	3,77
Отвалообразователь	0,112	0,122	0,134	4,08	4,45	4,88
<u>Роторный комплекс НКМЗ</u>						
Экскаватор	0,156	0,170	0,187	2,17	2,36	2,60
Забойный конвейер	0,045	0,050	0,057	1,49	1,67	1,89
Магистральный конвейер	0,031	0,037	0,045	2,47	2,93	3,54
Отвальный конвейер	0,048	0,054	0,061	1,90	2,14	2,40
Отвалообразователь	0,043	0,048	0,055	1,80	2,02	2,28

Обобщенным показателем надежности оборудования является коэффициент аварийности $\chi_{аб} = \frac{\lambda}{\mu}$, отражающий долю времени, затрачиваемого на простоя по аварийным отказам.

В табл. 6 представлены показатели аварийности оборудования комплексов непрерывного действия с разделением на составляющие, обусловленные поломочными $\chi_{пол}$ и неполомочными χ , отказами.

Коэффициент аварийности $\chi_{аб}$ является удобным показателем для сравнения надежности одноотрасльного горнотранспортного оборудования. Разделение коэффициента аварийности на составляющие позволяет характеризовать работу оборудования с двух сторон. Показателем $\chi_{пол}$ характеризуются степень конструктивного совершенства машин и отдельные недостатки конструкции, показателем χ , — степень влияния характеристики транспортируемого материала и климатических условий на работу оборудования. Таким образом, возможно в известной мере прогнозировать показатели $\chi_{аб}$ конвейеров, работающих в различных условиях.

Проведенный анализ свидетельствует о высокой надежности конвейерного оборудования, экскаваторов и отвалообразователей, взятых в отдельности. Однако при последовательном соединении оборудования в технологических схемах результаты работы зависят уже от исправности всей цепочки и потери времени на аварийные про-

Т а б л и ц а 6

Машины	Длина конвейера, м	Показатели аварийности			
		$\mathcal{L}_{ав, max}$	$\mathcal{L}_{ав, ср}$	в том числе	
				$\mathcal{L}_{пол, ср}$	$\mathcal{L}_{эф}$

Роторный комплекс "Лаужхаммер" ($Q = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$)

Экскаватор	-	0,053	0,0485	0,0300	0,0182
Забойный конвейер	500	0,046	0,0370	0,0100	0,0270
Магистральный конвейер	1600	0,022	0,0185	0,0066	0,0120
Отвальный конвейер	300	0,033	0,0275	0,0100	0,0175
Отвальный конвейер	1080	0,036	0,0296	0,0180	0,0120
Отвалообразователь	-	0,023	0,0200	0,0096	0,0104

Роторный комплекс "Оренштейн-Коппель" ($Q = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$)

Экскаватор	-	0,049	0,0378	0,0220	0,0158
Забойный конвейер	1000	0,020	0,0168	0,0072	0,0099
Магистральный конвейер	1000	0,028	0,0239	0,0118	0,0120
Отвальный конвейер	1000	0,040	0,0355	0,0184	0,0168
Отвалообразователь	-	0,033	0,0272	0,0105	0,0168

Роторный комплекс НКМЗ ($Q = 4500 \text{ м}^3/\text{ч}$)

Экскаватор	-	0,086	0,0717	0,0480	0,0236
Забойный конвейер	800	0,038	0,0300	0,0176	0,0125
Забойный конвейер	300	0,031	0,0218	0,0163	0,0060
Магистральный конвейер	800	0,018	0,0126	0,0069	0,0057
Отвальный конвейер	600	0,032	0,0252	0,0116	0,0134
Отвалообразователь	-	0,031	0,0240	0,0188	0,0054

стои достигает значительной величины. Недопустимо большие потери времени имеют также место по плановым простоям. Сокращение длительности плановых простоев должно осуществляться за счет дальнейшего совершенствования технологии разработки и организации плановых ремонтов. Сокращение времени аварийных простоев осуществимо путем повышения надежности оборудования, уменьшения числа машин в одной технологической цепочке (в том числе за счет увеличения длины конвейерных ставов) и применения более совершенных технологических схем.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ПРИ КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ

Исследуя работу систем оборудования непрерывного действия, можно отметить воздействие многих причин, случайным образом формирующих процесс функционирования технологической линии. Следовательно, для определения транспортирующей способности систем необходимо прибегнуть к расчету вероятностной модели рабочего процесса.

Вероятностная модель схем поточной технологии может быть оценена методами теории случайных марковских процессов, позволяющей определить возможное состояние системы в каждый момент времени.

Транспортирующая способность технологических систем зависит от вероятной доли времени пребывания системы в исправном состоянии. Поскольку процессы возникновения отказов и их устранение в рассматриваемых системах подчиняются экспоненциальному закону распределения, задача по определению вероятностей пребывания системы в различных состояниях сводится к исследованию однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

Большое число схем транспортирования в карьерах принципиально может быть приведено к четырем основным схемам (рис. 9). На открытых разработках в СССР и за рубежом каждая из приведенных схем применяется как самостоятельно, так и в сочетании с другими схемами.

Рассмотрим наиболее распространенную схему A , состоящую из последовательно соединенных элементов: роторного экскаватора и отвалообразователя.

Основными параметрами, характеризующими процесс работы и восстановления системы машин, являются интенсивность отказов λ и интенсивность восстановления μ . Для рассматриваемой системы λ_1, λ_2 — интенсивность отказов соответственно роторного экскаватора и отвалообразователя; μ_1, μ_2 — интенсивность восстановления роторного экскаватора и отвалообразователя.

Условия функционирования системы следующие: система работает, когда исправны обе машины; если откажет одна из машин, то система не работает; во время ремонта одной машины с другой не происходит никаких изменений и отказа ее в этот момент быть не может. Возможные состояния системы в произвольные моменты времени:

- 1 - обе машины исправны;
 2 - роторный экскаватор исправен, а отвалообразователь ремонтируется;
 3 - отвалообразователь исправен, а экскаватор ремонтируется.

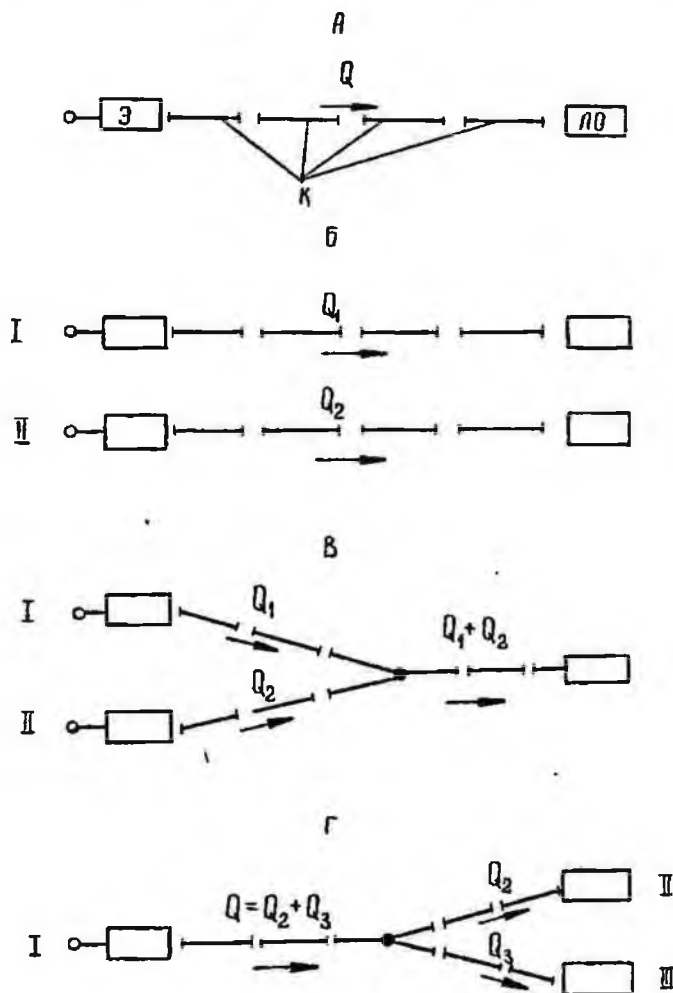


Рис. 9. Основные структурные схемы конвейерного транспорта:

A - последовательная; *Б* - параллельная; *В* - с объединением грузопотоков; *Г* - с разделением грузопотоков; *Э* - экскаватор; *ЛД* - ленточный отвалообразователь; *К* - ленточные конвейеры

В дальнейшем состоянии системы условно можно отмечать, как показано в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Возможные состояния	Машины системы		Производительность системы
	экскаватор	отвалообразо- ватель	
1	+	+	Q
2	+	-	0
3	-	+	0

Примечание. Знак "+" соответствует исправному состоянию, знак "-" означает ремонт.

Составим матрицу P всех возможных переходов рассматриваемой системы за интервал времени $t, t + dt$ при следующих условиях:

1. Если система исправна в момент времени t , то вероятность отказа экскаватора в интервале $t, t + dt$ равна $\lambda \cdot dt$, а отвалообразователя — $\lambda_2 dt$; если в момент времени t экскаватор не работал (был неисправен), то вероятность завершения ремонта за время dt равна $\mu_1 \cdot dt$, а для отвалообразователя — $\mu_2 \cdot dt$.

2. Вероятность осуществления одновременно двух событий за время dt равна $(0)dt$; например, вероятность появления более одного отказа.

3. Система находится в состоянии 1. Она останется в этом состоянии при условии, что ни одна машина не откажет. Вероятность равна

$$p_{11} = (1 - \lambda_1 dt)(1 - \lambda_2 dt) = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)dt + 0(dt).$$

Система перейдет в состояние 2, если отвалообразователь откажет; эта вероятность равна $p_{12} = \lambda_2 dt$. Система перейдет в состояние 3, если откажет экскаватор: $p_{13} = \lambda_1 \cdot dt$.

4. Система находится в состоянии 2. Она останется в этом состоянии, если отвалообразователь не отремонтирует; вероятность равна $p_{22} = (1 - \mu_2 dt)$. Система перейдет в состояние 1, если отвалообразователь отремонтирует: $p_{21} = \mu_2 \cdot dt$; она перейдет в состояние 3, если экскаватор откажет, а отвалообразователь отремонтирует: $p_{23} = \lambda_1 dt \mu_2 dt = 0(dt)$.

5. Система находится в состоянии 3 и останется в этом состоянии, если экскаватор не отремонтирует: $p_{33} = (1 - \mu_1 dt)$; она перейдет в состояние 2, если экскаватор отремонтирует, а от-

валлообразователь откажет: $p_{32} = 0 (dt)$. Система перейдет в состояние I, если экскаватор отремонтируют: $p_{31} = \mu_1 \cdot dt$.

Матрица переходов запишется в виде

$$P = \begin{array}{c|ccc} & \text{I} & \text{2} & \text{3} \\ \hline \text{I} & 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)dt & \lambda_2 dt & \lambda_1 dt \\ \text{2} & \mu_2 dt & 1 - \mu_2 dt & 0 \\ \text{3} & \mu_1 dt & 0 & 1 - \mu_1 dt \end{array}$$

Данная матрица является стохастической, так как сумма элементов каждой строки матрицы P равна единице. Элемент матрицы P_{ij} (i - номер строки; j - номер столбца) означает вероятность перехода системы из состояния i в состояние j за интервал времени $t, t + dt$.

Полученная матрица позволяет составить дифференциальные уравнения, описывающие вероятности пребывания системы в каждом из возможных состояний:

$$p_1'(t) = -(\lambda_1 + \lambda_2) p_1(t) + \mu_2 \cdot p_2(t) + \mu_1 p_3(t);$$

$$p_2'(t) = \lambda_2 \cdot p_1(t) - \mu_2 \cdot p_2(t);$$

$$p_3'(t) = \lambda_1 \cdot p_1(t) - \mu_1 \cdot p_3(t).$$

Рассматриваемый марковский процесс обладает свойством эргодичности, характеризуемым тем, что предельное распределение вероятностей состояний не зависит от начального и, для больших значений t

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t) = p_i.$$

Это означает, что в установившемся режиме производные равны нулю и вероятности пребывания в каждом состоянии не зависят от времени. Полагая производные равными нулю, получим систему алгебраических уравнений

$$\left. \begin{array}{l} -(\lambda_1 + \lambda_2) p_1 + \mu_2 \cdot p_2 + \mu_1 p_3 = 0 \\ \lambda_2 \cdot p_1 - \mu_2 \cdot p_2 = 0 \\ \lambda_1 \cdot p_1 - \mu_1 p_3 = 0 \end{array} \right\}$$

Приведенные уравнения дополняются уравнением полной вероятности

$$\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1. \quad (2)$$

Из второго уравнения системы выразим ρ_2 , а из третьего - ρ_3 :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot \rho_1 = x_2 \cdot \rho_1; \quad \rho_3 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \rho_1 = x_1 \cdot \rho_1,$$

где
$$\left. \begin{aligned} \frac{\lambda_1}{\mu_1} &= x_1 \\ \frac{\lambda_2}{\mu_2} &= x_2 \end{aligned} \right\} - \text{коэффициенты аварийности.}$$

Подставим полученные значения ρ_1 и ρ_3 в уравнение (2):

$$\rho_1 + x_2 \cdot \rho_1 + x_1 \cdot \rho_1 = 1,$$

откуда

$$\rho_1 = \frac{1}{1 + x_1 + x_2}. \quad (3)$$

Теперь определим вероятности:

$$\rho_2 = x_2 \cdot \rho_1 = \frac{x_2}{1 + x_1 + x_2}; \quad (4)$$

$$\rho_3 = x_1 \cdot \rho_1 = \frac{x_1}{1 + x_1 + x_2}. \quad (5)$$

Из всех возможных состояний только состояние I обеспечивает работу системы. Следовательно, вероятная доля времени работы системы за время T_p равна

$$T_{\text{эф}} = T_p \cdot \rho_1 = \frac{T_p}{1 + x_1 + x_2} \text{ ч}, \quad (6)$$

и вероятная транспортирующая способность системы за это время

$$D = T_{\text{эф}} \cdot Q = \frac{T_p \cdot Q}{1 + x_1 + x_2} \text{ м}^3(\text{т}). \quad (7)$$

Для последовательной системы, состоящей из трех машин (экскаватора, конвейера, отвалобразователя), матрица переходов имеет вид

$$P = \begin{array}{c|cccc} & \text{I} & 2 & 3 & 4 \\ \hline \text{I} & 1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) & \lambda_3 & \lambda_2 & \lambda_1 \\ 2 & \mu_3 & 1 - \mu_3 & 0 & 0 \\ 3 & \mu_2 & 0 & 1 - \mu_2 & 0 \\ 4 & \mu_1 & 0 & 0 & 1 - \mu_1 \end{array}$$

отсюда система линейных уравнений будет

$$\left. \begin{aligned} -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot \rho_1 + \mu_3 \cdot \rho_2 + \mu_2 \cdot \rho_3 + \mu_1 \cdot \rho_4 &= 0 \\ \lambda_3 \cdot \rho_1 - \mu_3 \cdot \rho_2 &= 0 \\ \lambda_2 \cdot \rho_1 - \mu_2 \cdot \rho_3 &= 0 \\ \lambda_1 \cdot \rho_1 - \mu_1 \cdot \rho_4 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Из второго, третьего и четвертого уравнений системы определим соответственно ρ_2, ρ_3, ρ_4 :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_3}{\mu_3} \cdot \rho_1; \quad \rho_3 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot \rho_1; \quad \rho_4 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \rho_1.$$

Подставив найденные значения вероятностей ρ_2, ρ_3 и ρ_4 в уравнение полной вероятности $\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 = 1$, найдем значение ρ_1 :

$$\rho_1 = \frac{1}{1 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}, \quad (8)$$

а затем вероятности ρ_2, ρ_3 и ρ_4 :

$$\rho_2 = \lambda_3 \cdot \rho_1 = \frac{\lambda_3}{1 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}; \quad (9)$$

$$\rho_3 = \lambda_2 \cdot \rho_1 = \frac{\lambda_2}{1 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}; \quad (10)$$

$$\rho_4 = \lambda_1 \cdot \rho_1 = \frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}, \quad (11)$$

где $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ - вероятности пребывания системы в состоянии, когда исправны соответственно: все машины, экскаватор и конвейер, экскаватор и отвалообразователь, конвейер и отвалообразователь.

Число уравнений (возможных состояний) при последовательном соединении оборудования

$$S = n + 1,$$

где n - число машин в системе.

Система A , состоящая из последовательно соединенных элементов, является наиболее распространенной и входит в состав более сложных систем. При большом числе машин количество возможных состояний системы быстро увеличивается. При числе состояний, превышающем 2^6 , решение уравнений затруднено даже на вычислительных машинах. Однако для практических целей нет необходимости определять вероятности пребывания последовательной системы во всех возможных состояниях. Достаточно знать вероятность пребывания системы в рабочем и аварийном состояниях.

Для анализа сложных систем последовательную цепочку оборудования, состоящую из n машин, можно заменить одним эквивалентным элементом, который будет иметь параметры надежности λ_c, μ_c и $x_c = \frac{\lambda_c}{\mu_c}$. Вполне очевидно, что у эквивалентного элемента

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (I2)$$

$$x_c = \sum_{i=1}^n x_i; \quad (I3)$$

$$\mu_c = \frac{\lambda_c}{x_c} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n x_i}, \quad (I4)$$

где λ_i, μ_i, x_i - показатели надежности i -й машины.

Эквивалентный элемент, заменяющий цепочку последовательно соединенных машин, может находиться в состоянии 1, когда все машины исправны, и состоянии 2, когда откажет любая машина.

Матрица переходов для эквивалентного элемента составляется, исходя из следующих условий:

1. Эквивалентный элемент в момент времени t находится в состоянии 1, когда исправны все машины; он останется в этом состоянии на время dt при условии, что не откажет ни одна из машин последовательной цепочки, т.е.

$$p_{11} = (1 - \lambda_1 dt)(1 - \lambda_2 dt) \dots (1 - \lambda_n dt) = 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i dt.$$

Элемент перейдет в состояние 2, если откажет хотя бы одна машина, т.е.

$$p_{12} = 1 - (1 - \lambda_1 dt)(1 - \lambda_2 dt) \dots (1 - \lambda_n dt) = \sum_{i=1}^n \lambda_i dt.$$

2. Эквивалентный элемент в момент времени t находится в состоянии 2 и может перейти за время dt в состояние 1, если будет отремонтирована отказавшая машина; эта вероятность равна

$$p_{21} = \mu_c dt.$$

За время dt эквивалентный элемент может также остаться в состоянии 2, если ремонт отказавшей машины не завершится, т.е.

$$p_{22} = 1 - \mu_c dt.$$

Матрица переходов будет иметь вид

$$P = \begin{vmatrix} 1 - \lambda_c dt & \lambda_c dt \\ \mu_c dt & 1 - \mu_c dt \end{vmatrix}.$$

Для установившегося режима получаем систему алгебраических уравнений

$$\left. \begin{aligned} - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot p_1 + \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n x_i} p_2 &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i p_1 - \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n x_i} p_2 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Из уравнения полной вероятности

$$p_1 = 1 - p_2.$$

Подставив p_1 во второе уравнение системы, находим

$$p_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i + \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n x_i}} = \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \mu_c} = \frac{1}{1 + \frac{1}{x_c}} = \frac{x_c}{1 + x_c}.$$

Вероятность пребывания системы, состоящей из n машин, в рабочем состоянии выразится следующим образом:

$$p_1 = 1 - p_2 = 1 - \frac{x_c}{1 + x_c} = \frac{1}{1 + x_c}. \quad (15)$$

Транспортирующая способность системы в этом случае

$$D = \frac{T_p \cdot Q}{1 + x_c} \text{ м}^3(\text{г}). \quad (16)$$

Рассмотрим схему Б, состоящую из параллельно работающих машин или цепочек машин. Для простоты рассмотрим работу системы из двух параллельных машин. Условно возможные состояния системы приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Состояния	Машины		Производительность системы, м ³ (т)/ч
	1	2	
1	+	+	$Q_1 + Q_2$
2	+	-	Q_1
3	-	+	Q_2
4	-	-	0

Матрица переходов для системы Б имеет вид

$$P = \begin{vmatrix} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1-(\lambda_1+\lambda_2)dt & \lambda_2 dt & \lambda_1 dt & 0 \\ 2 & \mu_2 dt & 1-(\lambda_1+\mu_2)dt & 0 & \lambda_1 dt \\ 3 & \mu_1 dt & 0 & 1-(\mu_1+\lambda_2)dt & \lambda_2 dt \\ 4 & 0 & \mu_1 dt & \mu_2 dt & 1-(\mu_1+\mu_2)dt \end{vmatrix}$$

Уравнения, описывающие состояние системы Б, следующие:

$$\left. \begin{aligned} -(\lambda_1+\lambda_2) \cdot p_1 + \mu_2 p_2 + \mu_1 p_3 &= 0 \\ \lambda_2 \cdot p_1 - (\lambda_1+\mu_2) p_2 + \mu_1 p_4 &= 0 \\ \lambda_1 \cdot p_1 - (\mu_1+\lambda_2) p_3 + \mu_2 p_4 &= 0 \\ \lambda_1 \cdot p_2 + \lambda_2 \cdot p_3 - (\mu_1+\mu_2) p_4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Данная система линейных уравнений является однородной, так как свободные члены во всех уравнениях равны нулю [3]. Определитель системы (17) равен нулю, поэтому система имеет ненулевое решение, а ранг χ матрицы системы равен трем. Следовательно, одно уравнение в системе (17) независимо, и мы можем его заменить уравнением полной вероятности

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1.$$

Произведя замену коэффициентов и записав вместо четвертого уравнения уравнение полной вероятности, получим систему (17):

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \cdot \rho_1 + \mu_2 \cdot \rho_2 + \mu_1 \cdot \rho_3 &= 0 \\ \lambda_2 \cdot \rho_1 + a_{22} \rho_2 + \mu_1 \cdot \rho_4 &= 0 \\ \lambda_1 \cdot \rho_1 + a_{33} \rho_3 + \mu_2 \cdot \rho_4 &= 0 \\ \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 &= 1 \end{aligned} \right\}, \text{ где } \begin{aligned} -(\lambda_1 + \lambda_2) &= a_{11}; \\ -(\lambda_1 + \mu_2) &= a_{12}; \\ -(\mu_1 + \lambda_2) &= a_{33}. \end{aligned} \quad (17')$$

Для решения этой системы применим теорему Крамера, т.е.

$$\rho_i = \frac{D_i}{D}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Для системы (17') $\rho_1 = \frac{D_1}{D}; \rho_2 = \frac{D_2}{D}; \rho_3 = \frac{D_3}{D}; \rho_4 = \frac{D_4}{D},$

где D — определитель системы;

D_1, D_2, D_3, D_4 — определители, получаемые из определителя системы заменой столбцов A_1, A_2, A_3, A_4 столбцом из свободных членов уравнений системы.

Для облегчения и сокращения расчетов определителей уравнение полной вероятности разделим на ρ_1 :

$$1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} + \frac{\rho_3}{\rho_1} + \frac{\rho_4}{\rho_1} = \frac{1}{\rho_1}. \quad (18)$$

Найдем отношения

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{D_2}{D_1}; \quad \frac{\rho_3}{\rho_1} = \frac{D_3}{D_1}; \quad \frac{\rho_4}{\rho_1} = \frac{D_4}{D_1}.$$

Обозначим

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \alpha_2; \quad \frac{\rho_3}{\rho_1} = \alpha_3; \quad \frac{\rho_4}{\rho_1} = \alpha_4.$$

Подставив соответствующие значения α в уравнение (18), найдем

$$\rho_1 = \frac{1}{1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; \quad \rho_2 = \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4};$$

$$\rho_3 = \frac{\alpha_3}{1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; \quad \rho_4 = \frac{\alpha_4}{1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}.$$

Для нахождения искомых вероятностей достаточно вычислить определители D_1, D_2, D_3 и D_4 . Не вдаваясь подробностей вычисления, приведем конечные результаты:

$$D_1 = \mu_1 \cdot \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2); \quad D_2 = \mu_1 \cdot \lambda_2 (\lambda_1 + \mu_1 + \lambda_2 + \mu_2);$$

$$D_3 = \mu_2 \cdot \lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2); \quad D_4 = \lambda_1 \cdot \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2),$$

тогда коэффициенты α равны:

$$\alpha_2 = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} = x_2; \quad \alpha_3 = \frac{D_3}{D_1} = \frac{\lambda_1}{\mu_1} = x_1; \quad \alpha_4 = \frac{D_4}{D_1} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\mu_1 \mu_2} = x_1 x_2.$$

Искомые вероятности определяем по формулам:

вероятность исправной работы двух машин

$$P_1 = \frac{1}{1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} = \frac{1}{1 + x_1 + x_2 + x_1 x_2} = \frac{1}{(1+x_1)(1+x_2)}; \quad (19)$$

вероятность исправной работы одной первой машины

$$P_2 = \alpha_2 \cdot P_1 = \frac{x_2}{(1+x_1)(1+x_2)}; \quad (20)$$

вероятность исправной работы одной второй машины

$$P_3 = \alpha_3 \cdot P_1 = \frac{x_1}{(1+x_1)(1+x_2)}; \quad (21)$$

вероятность отказа двух машин

$$P_4 = \alpha_4 \cdot P_1 = \frac{x_1 x_2}{(1+x_1)(1+x_2)}. \quad (22)$$

Для системы B из n машин (линий) вероятность пребывания в каждом состоянии равна дроби, числитель которой — произведение показателей аварийности неисправных машин в этом состоянии, знаменатель — произведение показателей аварийности всех машин системы, увеличенных на единицу, т.е.

$$P_j = \frac{\prod_{i=1}^K x_i}{\prod_{i=1}^n (1+x_i)} \quad \text{для } K = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (23)$$

где $\mathcal{X}_i$ - коэффициент аварийности i -й машины (линии).

Число возможных состояний системы при параллельной работе машин $S = 2^n$.

Условия функционирования системы из n параллельных линий последовательно соединенных машин определяются постановкой задачи. Например, если требуется определить только возможную транспортирующую способность, то условиями работы вероятностной модели являются следующие: система работает, когда исправны все машины или любая из них. В этом случае транспортирующая способность системы определяется по выражению

$$D = \sum_{i=1}^K D_i = \frac{T_p Q_1}{1 + \mathcal{X}_{c_1}} + \frac{T_p Q_2}{1 + \mathcal{X}_{c_2}} + \dots + \frac{T_p Q_K}{1 + \mathcal{X}_{c_K}} \text{ м}^3 (\text{т}).$$

где Q_1, Q_2, Q_K - техническая производительность соответственно первой, второй, K -й линии последовательно соединенных машин;

$\mathcal{X}_{c_1}, \mathcal{X}_{c_2}, \mathcal{X}_{c_K}$ - коэффициенты аварийности каждой линии.

Если требуется установить время работы системы с заданной производительностью, то необходимым условием ее функционирования является исправная работа всех элементов одновременно.

Вероятность пребывания в таком состоянии

$$P = \frac{1}{\prod_{i=1}^n (1 + \mathcal{X}_i)},$$

в транспортирующая способность

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i T_p}{\prod_{i=1}^n (1 + \mathcal{X}_i)} \text{ м}^3 (\text{т}).$$

Наконец, если установлен допустимый минимальный уровень транспортирующей способности, условия работы системы определяются вероятностью исправной работы не менее чем $(n-a)$ линий.

Например, для системы из трех параллельных линий возможная транспортирующая способность при условии, что система работает, когда исправны все три линии или любые две из них, определится по формуле

$$D = \frac{T_p(Q_1+Q_2+Q_3)}{(1+x_1)(1+x_2)(1+x_3)} + \frac{T_p(Q_1+Q_2)x_3}{(1+x_1)(1+x_2)(1+x_3)} + \frac{T_p(Q_1+Q_3)x_2}{(1+x_1)(1+x_2)(1+x_3)} + \frac{T_p(Q_2+Q_3)x_1}{(1+x_1)(1+x_2)(1+x_3)} m^3(t).$$

Схема В представляет собой систему с объединением грузопотоков. Пусть линии I, II и III имеют показатели надежности соответственно $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и μ_1, μ_2, μ_3 ; линия I имеет производительность Q_1 , линия II — Q_2 .

Условия работы следующие: система работает с полной производительностью, когда исправны все три линии, и неполной, когда отказывает одна из линий. В случае отказа линии III линии I и II не работают и отказать в этот момент не могут.

Условно возможные состояния системы запишем в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Состояния	Линии (машины)			Производительность системы, $m^3(t)/t$
	I	II	III	
1	+	+	+	Q_1+Q_2
2	+	-	+	Q_1
3	-	+	+	Q_2
4	+	+	-	0
5	-	-	+	0
6	-	+	-	0
7	+	-	-	0

Матрица переходов в этом случае^{x)}

	1	2	3	4	5	6	7
1	$1-(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)$	λ_2	λ_1	λ_3	0	0	0
2	μ_2	$1-(\lambda_1+\lambda_2+\mu_2)$	0	0	λ_1	0	λ_3
3	μ_1	0	$1-(\lambda_2+\lambda_3+\mu_1)$	0	λ_2	λ_3	0
4	μ_3	0	0	$1-\mu_3$	0	0	0
5	0	μ_1	μ_2	0	$1-(\mu_1+\mu_2)$	0	0
6	0	0	μ_3	μ_1	0	$1-(\mu_1+\mu_3)$	0
7	0	μ_3	0	μ_2	0	0	$1-(\mu_2+\mu_3)$

^{x)} Для простоты время dt в матрице можно не писать.

Алгебраические уравнения для вероятностей переходов системы В запишутся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot \rho_1 + \mu_2 \cdot \rho_2 + \mu_1 \cdot \rho_3 + \mu_3 \cdot \rho_4 &= 0 \\ \lambda_2 \cdot \rho_1 - (\lambda_1 + \lambda_3 + \mu_2) \cdot \rho_2 + \mu_1 \cdot \rho_5 + \mu_3 \cdot \rho_7 &= 0 \\ \lambda_1 \cdot \rho_1 - (\lambda_2 + \lambda_3 + \mu_1) \cdot \rho_3 + \mu_2 \cdot \rho_5 + \mu_3 \cdot \rho_6 &= 0 \\ \lambda_3 \cdot \rho_1 - \mu_3 \cdot \rho_4 + \mu_1 \cdot \rho_6 + \mu_2 \cdot \rho_7 &= 0 \\ \lambda_1 \cdot \rho_2 + \lambda_2 \cdot \rho_3 - (\mu_1 + \mu_2) \cdot \rho_5 &= 0 \\ \lambda_3 \cdot \rho_3 - (\mu_1 + \mu_3) \cdot \rho_6 &= 0 \\ \lambda_3 \cdot \rho_2 - (\mu_2 + \mu_3) \cdot \rho_7 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Для практических целей данная система уравнений решается по стандартной программе на цифровых вычислительных машинах.

Если принять показатели надежности линий I и II равными, то можно получить аналитическое выражение вероятностей. Пусть $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ и $\mu_1 = \mu_2 = \mu$, тогда система уравнений (24) запишется в виде

$$\left. \begin{aligned} -(2\lambda + \lambda_3) \rho_1 + \mu \rho_2 + \mu \rho_3 + \mu_3 \rho_4 &= 0 \\ \lambda \rho_1 - (\lambda + \lambda_3 + \mu) \cdot \rho_2 + \mu \cdot \rho_5 + \mu_3 \cdot \rho_7 &= 0 \\ \lambda \rho_1 - (\lambda + \lambda_3 + \mu) \cdot \rho_3 + \mu \cdot \rho_5 + \mu_3 \cdot \rho_6 &= 0 \\ \lambda_3 \rho_1 - \mu_3 \rho_4 + \mu \cdot \rho_6 + \mu \rho_7 &= 0 \\ \lambda \cdot \rho_2 + \lambda \cdot \rho_3 - 2\mu \cdot \rho_5 &= 0 \\ \lambda_3 \rho_3 - (\mu + \mu_3) \cdot \rho_6 &= 0 \\ \lambda_3 \cdot \rho_2 - (\mu + \mu_3) \cdot \rho_7 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (24')$$

Так как $\lambda_1 = \lambda_2$ и $\mu_1 = \mu_2$, то вероятности $\rho_2 = \rho_3$ и $\rho_6 = \rho_7$.

В соответствии с этим перепишем систему (24') и, заменив последнее уравнение уравнением $\rho_1 + 2\rho_2 + \rho_4 + \rho_5 + 2\rho_6 = 1$, (при $\rho_3 = \rho_2$; $\rho_7 = \rho_6$), получим

$$\left. \begin{aligned} -(2\lambda + \lambda_3) \cdot \rho_1 + 2\mu \cdot \rho_2 + \mu_3 \rho_4 &= 0 \\ \lambda \cdot \rho_1 - (\lambda + \lambda_3 + \mu) \rho_2 + \mu \rho_5 + \mu_3 \rho_6 &= 0 \\ \lambda_3 \rho_1 - \mu_3 \cdot \rho_4 + 2\mu \cdot \rho_6 &= 0 \\ 2\lambda \cdot \rho_2 - 2\mu \cdot \rho_5 &= 0 \\ \rho_1 + 2\rho_2 + \rho_4 + \rho_5 + 2\rho_6 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (24'')$$

Решим эту систему уравнений с помощью определителей, приняв во внимание, что

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{D_2}{D_1} = \alpha_2 = \alpha_3; \quad \frac{\rho_4}{\rho_1} = \frac{D_4}{D_1} = \alpha_4;$$

$$\frac{\rho_5}{\rho_1} = \frac{D_5}{D_1} = \alpha_5; \quad \frac{\rho_6}{\rho_1} = \frac{D_6}{D_1} = \alpha_6 = \alpha_7.$$

Из уравнения полной вероятности находим

$$\rho_1 = \frac{1}{1 + 2\alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5 + 2\alpha_6}; \quad \rho_2 = \rho_1 \cdot \alpha_2 = \rho_3, \quad \rho_4 = \rho_1 \cdot \alpha_4.$$

$$\rho_5 = \rho_1 \cdot \alpha_5; \quad \rho_6 = \rho_7 = \rho_1 \cdot \alpha_6.$$

Приведем результаты вычисления коэффициентов α :

$$\alpha_2 = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\lambda(\mu_3 + \mu)}{\mu(\mu + \mu_3 + \lambda_3)} = x \frac{(\mu_3 + \mu)}{(\mu + \mu_3 + \lambda_3)};$$

$$\alpha_4 = \frac{D_4}{D_1} = \frac{\lambda_3(2\lambda + \lambda_3 + \mu + \mu_3)}{\mu_3(\mu + \mu_3 + \lambda_3)} = x_3 \frac{(2\lambda + \lambda_3 + \mu + \mu_3)}{(\mu + \mu_3 + \lambda_3)};$$

$$\alpha_5 = \frac{D_5}{D_1} = \frac{\lambda^2(\mu + \mu_3)}{\mu^2(\mu + \mu_3 + \lambda_3)} = x^2 \frac{(\mu + \mu_3)}{(\mu + \mu_3 + \lambda_3)};$$

$$\alpha_6 = \frac{D_6}{D_1} = \frac{\lambda \cdot \lambda_3}{\mu(\mu + \mu_3 + \lambda_3)} = x \frac{\lambda_3}{(\mu + \mu_3 + \lambda_3)}.$$

Вероятность работы системы с полной производительностью ($Q_1 + Q_2$)

$$\rho_1 = \frac{\mu + \mu_3 + \lambda_3}{(\mu + \mu_3 + \lambda_3) + 2x(\mu + \mu_3) + x_3(\mu + \mu_3 + 2\lambda + \lambda_3) + x^2(\mu + \mu_3) + 2x\lambda_3}; \quad (25)$$

вероятность работы системы с производительностью Q_1

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \alpha_2 = \frac{x(\mu + \mu_3)}{(\mu + \mu_3 + \lambda_3) + 2x(\mu + \mu_3) + x_3(\mu + \mu_3 + 2\lambda + \lambda_3) + x^2(\mu + \mu_3) + 2x\lambda_3}; \quad (26)$$

зерютность работы системы с промзводительностью Q_2

$$\rho_3 = \rho_2 ;$$

транспортирующая способность системы B

$$D = T_p \left[(Q_1 + Q_2) \cdot \rho_1 + Q_1 \cdot \rho_2 + Q_2 \cdot \rho_3 \right] \text{ м}^3 (\text{т}). \quad (27)$$

Для системы B , состоящей из трех сходящихся потоков, число возможных состояний системы равно 15, а число работоспособных состояний - 7.

Уравнения переходов системы в возможные состояния в этом случае следующие:

$$\begin{aligned} & -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \cdot \rho_1 + \mu_3 \cdot \rho_2 + \mu_2 \cdot \rho_3 + \mu_1 \cdot \rho_4 + \mu_4 \cdot \rho_5 = 0 ; \\ & \lambda_3 \cdot \rho_1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \mu_3) \cdot \rho_2 + \mu_2 \cdot \rho_6 + \mu_1 \cdot \rho_7 + \mu_4 \cdot \rho_9 = 0 ; \\ & \lambda_2 \cdot \rho_1 - (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_2) \cdot \rho_3 + \mu_3 \cdot \rho_6 + \mu_1 \cdot \rho_8 + \mu_4 \cdot \rho_{10} = 0 ; \\ & \lambda_1 \cdot \rho_1 - (\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_1) \cdot \rho_4 + \mu_3 \cdot \rho_7 + \mu_2 \cdot \rho_8 + \mu_4 \cdot \rho_{11} = 0 ; \\ & \lambda_4 \cdot \rho_1 - \mu_4 \cdot \rho_5 + \mu_3 \cdot \rho_9 + \mu_2 \cdot \rho_{10} + \mu_1 \cdot \rho_{11} = 0 ; \\ & \lambda_2 \cdot \rho_2 + \lambda_3 \cdot \rho_3 - (\lambda_1 + \lambda_4 + \mu_2 + \mu_3) \cdot \rho_6 + \mu_1 \cdot \rho_{12} + \mu_4 \cdot \rho_{13} = 0 ; \\ & \lambda_1 \cdot \rho_2 + \lambda_3 \cdot \rho_4 - (\lambda_2 + \lambda_4 + \mu_1 + \mu_3) \cdot \rho_7 + \mu_2 \cdot \rho_{12} + \mu_4 \cdot \rho_{14} = 0 ; \\ & \lambda_1 \cdot \rho_3 + \lambda_2 \cdot \rho_4 - (\lambda_3 + \lambda_4 + \mu_1 + \mu_2) \cdot \rho_8 + \mu_3 \cdot \rho_{12} + \mu_4 \cdot \rho_{15} = 0 ; \\ & \lambda_4 \cdot \rho_2 - (\mu_3 + \mu_4) \cdot \rho_9 + \mu_2 \cdot \rho_{13} + \mu_1 \cdot \rho_{14} = 0 ; \\ & \lambda_4 \cdot \rho_3 - (\mu_2 + \mu_4) \cdot \rho_{10} + \mu_3 \cdot \rho_{13} + \mu_1 \cdot \rho_{15} = 0 ; \\ & \lambda_4 \cdot \rho_4 - (\mu_1 + \mu_4) \cdot \rho_{11} + \mu_3 \cdot \rho_{14} + \mu_2 \cdot \rho_{15} = 0 ; \\ & \lambda_1 \cdot \rho_6 + \lambda_2 \cdot \rho_7 + \lambda_3 \cdot \rho_8 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) \cdot \rho_{12} = 0 ; \\ & \lambda_4 \cdot \rho_6 - (\mu_2 + \mu_3 + \mu_4) \cdot \rho_{13} = 0 ; \\ & \lambda_4 \cdot \rho_7 - (\mu_1 + \mu_3 + \mu_4) \cdot \rho_{14} = 0 ; \\ & \lambda_4 \cdot \rho_8 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_4) \cdot \rho_{15} = 0 . \end{aligned} \quad (28)$$

Уравнение полной вероятности запишется в виде

$$\begin{aligned} & \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5 + \rho_6 + \rho_7 + \rho_8 + \\ & + \rho_9 + \rho_{10} + \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{13} + \rho_{14} + \rho_{15} = 1 . \end{aligned}$$

Для систем со сходящимся B и расходящимся Γ потоками число возможных состояний S равно

$$S = 2^n - 1,$$

где n — число линий, сходящихся в узел.

Системы с расходящимся и сходящимся потоками аналогичны друг другу; описываемые их системы уравнений идентичны.

Решением схем A, B, Γ и Γ практически проанализированы все существующие системы с конвейерным транспортом, работающие на карьерах СССР и за рубежом. Предложенный метод позволяет также рассчитывать надежность резервированных и вновь проектируемых систем, отличающихся по структуре от рассмотренных.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

При оценке и сопоставлении технологических схем важным является правильный выбор исходной производительности конвейерных установок. Для снижения себестоимости транспортирования необходимо максимально использовать несущую способность конвейерных лент.

Теоретическая объемная производительность конвейера определяется по формуле

$$Q = 3600 \cdot F \cdot v \text{ м}^3/\text{ч},$$

где F — площадь поперечного сечения материала на ленте, м^2 ;

v — скорость движения ленты, $\text{м}/\text{сек}$.

Площадь поперечного сечения материала на ленте как геометрическая фигура зависит от ряда факторов:

полезной ширины ленты;

формы лотка;

угла наклона боковых роликов;

соотношения длин поддерживающих роликов;

угла естественного откоса материала, движущегося с лентой.

Практикой подтверждается возможность повышения эффективности использования ленты с увеличением ее ширины. В результате длительного опыта эксплуатации конвейерных лент шириной 1200 мм и более по нормам, принятым в ГДР и ФРГ, рекомендуется определять полезную ширину ленты как $(0,9B - 0,05)$, где B — ширина ленты в метрах. Отсюда $Q = K_n (0,9B - 0,05)^2 \cdot v \text{ м}^3/\text{ч}$.

Форма лотка зависит от числа и вида поддерживающих роликов (рис. 10). При трехроликовой опоре (а) площадь поперечного се-

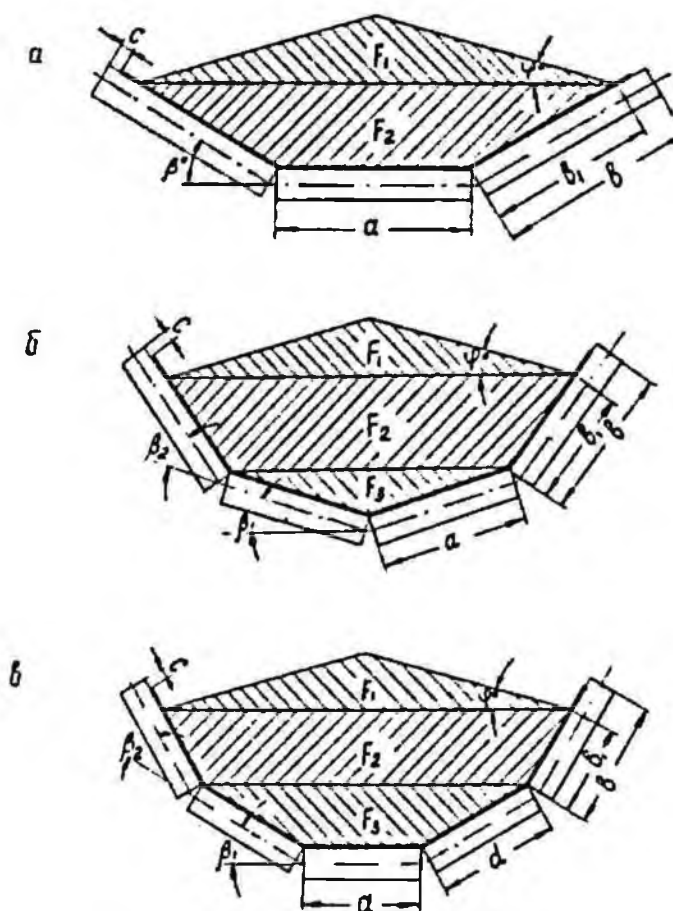


Рис. 10. Схема к определению площади поперечного сечения груза на ковровой ленте

чения материала на ленте составляется из треугольника F_1 (или параболического сегмента) и трапеции F_2 :

$$F_1 = \frac{(a + 2b_1 \cdot \cos \beta)^2}{4} \cdot \lg \varphi;$$

$$F_2 = a \cdot b_1 \cdot \sin \beta + b_1^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta.$$

При четырехроликовой опоре (δ) площадь сечения равна сумме площадей двух треугольников F_1, F_3 и трапеции F_2 :

$$F_1 = \frac{[2a \cdot \cos \beta_1 + 2\beta_1 \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)]^2}{4} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$F_2 = [2a \cdot \cos \beta_1 + b_1 \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)] \cdot b_1 \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2);$$

$$F_3 = a^2 \cdot \sin \beta_1 \cdot \cos \beta_1;$$

при пятироликовой опоре (b) — двух трапеций F_2, F_3 и треугольника F_1 (параболического сегмента):

$$F_1 = \frac{[a + 2d \cdot \cos \beta_1 + 2b_1 \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)]^2}{4} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$F_2 = \frac{[2a + 4d \cdot \cos \beta_1 + 2b_1 \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)]}{2} b_1 \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2);$$

$$F_3 = a \cdot d \cdot \sin \beta_1 + d^2 \cdot \sin \beta_1 \cdot \cos \beta_1.$$

В формулах обозначены:

- a — длина среднего ролика, м;
- b — длина бокового ролика, м;
- b_1 — часть длины бокового ролика, занятая грузом, м;
- β — угол наклона боковых роликов;
- B — ширина ленты, м.

Если C — часть длины бокового ролика, свободная от ленты (м),

а $K = \frac{a}{b}$ — отношение длин среднего и бокового ролика, то

$$a = \frac{(B + 2C) \cdot K}{2 + K}; \quad b_1 = \frac{B(1.8 - 0.1K) - K \cdot (0.05 + 2C) - 0.1}{4 + 2K};$$

$$2C = 0.15 \text{ м при } B = 1.0 - 1.2 \text{ м};$$

$$2C = 0.20 \text{ м при } B = 1.6 \text{ м и более.}$$

С увеличением угла наклона боковых роликов до определенного предела возрастает нижняя часть площади поперечного сечения материала на ленте, зависящая от формы лотка, и уменьшается верхняя насынная часть площади.

В результате зависимость $F = f(\beta)$ имеет экстремальное значение (рис. II), и при трех роликах равной длины ($K = 1$) площадь поперечного сечения материала на конвейерной ленте имеет наибольшее значение, когда угол наклона боковых роликов равен 53° (при угле откоса материала на движущейся ленте 15°).

$F, \%$

$\Delta, \text{град}$

$\varphi = 15^\circ$

Legend:

- $\circ - \circ$ $K = 0$
- $\square - \square$ $K = 0.25$
- $\square - \square$ $K = 0.5$
- $\square - \square$ $K = 0.75$
- $\square - \square$ $K = 1.0$
- $\square - \square$ $K = 1.25$
- $\triangle - \triangle$ $K = 1.5$
- $\square - \square$ $K = 2.0$

Кроме угла β , на величину площади поперечного сечения груза на ленте влияет соотношение длин среднего и боковых роликов. На

рис. II изображены зависимости $F = f(\beta)$ при различных $K = \frac{a}{b}$.

Как видно, каждому значению β соответствует определенное соотношение длин среднего и боковых роликов, при котором достигается наибольшее значение площади поперечного сечения материала на ленте. Так, при угле наклона боковых роликов 30, 40 и 50° наибольшая площадь поперечного сечения материала на ленте достигается при соотношениях соответственно 0,25; 0,5 и 0,75. При изменении угла β в диапазоне 20–50° разница в площадях поперечного сечения при $\frac{a}{b} = 1$ и $\frac{a}{b} \neq 1$ составляет 6–8%. Поэтому, исходя из соображений унификации, обычно принимаются конвейерные ролики равной длины.

Известное влияние на площадь поперечного сечения груза на ленте оказывает угол естественного откоса материала при движении.

При угле наклона боковых роликов 20–35°, когда существенную часть (40–35%) площади составляет площадь сечения материала, настипанного сверху лотка, увеличение угла естественного откоса материала на движущейся ленте приводит к возрастанию общей пло-

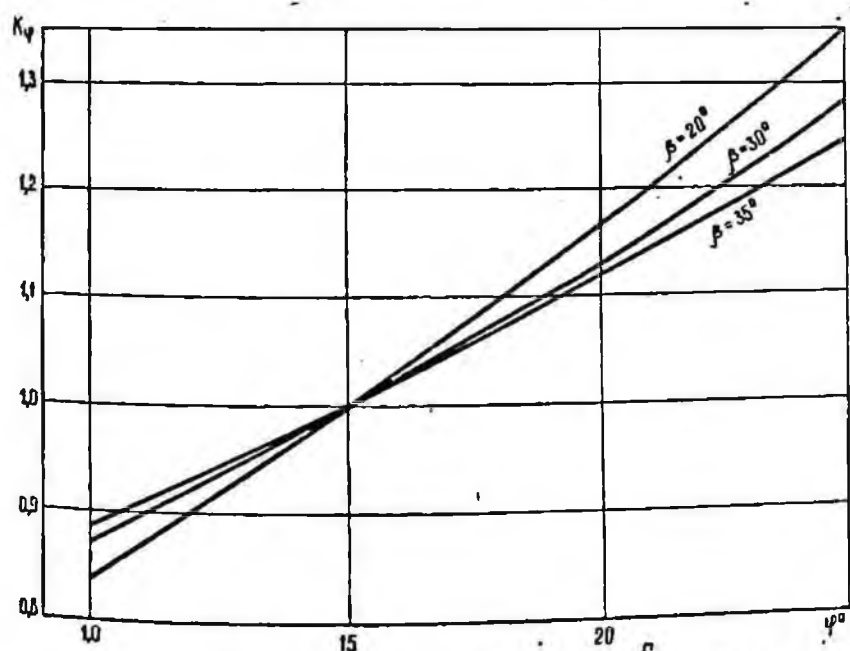


Рис. 12. График изменения коэффициента $K_\psi = \frac{F_{\psi}}{F_0}$ от угла естественного откоса материала, движущегося с лентой

площади поперечного сечения (рис. 12), а следовательно, и теоретической производительности конвейера.

Что касается формы площади поперечного сечения материала на ленте, то в большинстве рекомендуемых расчетных методов принимается, что верхняя (насыпная) часть площади представляет собой равнобедренный треугольник с углом наклона сторон, равным φ . В некоторых случаях предполагается, что очертание верхнего контура площади поперечного сечения близко к параболе, касательные к которой наклонены к горизонту под некоторым углом. По данным Института УкрНИИпроект, величина этого угла достигает 30° . Расчетная величина производительности при этом возрастет, поскольку площадь параболического сегмента и равнобедренного треугольника находятся в соотношении $\frac{1}{6} \operatorname{tg} 30^\circ : \frac{1}{4} \operatorname{tg} \varphi$.

Практически материал, насыпанный поверх лотка, при движении непрерывно меняет свою форму, и при расчете оба метода принимаются с некоторым допущением. Расчет по параболическому сегменту при углах наклона боковых роликов 20° и 30° приводит к увеличению общей площади поперечного сечения материала на ленте на 20–15% по сравнению с расчетом по равнобедренному треугольнику при $\varphi = 15^\circ$. При увеличении φ до 20° , т.е. для случаев транспортирования тяжелых пород, увеличение составляет всего 4–5%. С учетом этого в дальнейших расчетах принята треугольная форма верхней части поперечного сечения материала на ленте, обеспечивающая некоторый резерв производительности.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что во всех случаях наибольшая площадь поперечного сечения груза и соответствующая ей наибольшая производительность достигаются при углах наклона боковых роликов 45 – 55° .

Вместе с тем для большинства конвейерных установок, применяемых в горной промышленности, угол наклона боковых роликов составляет 20 – 30° . Угол наклона 20° распространяется на ленты небольшой ширины (до 800–1000 мм) с основой из хлопчатобумажной ткани. Более эластичные ленты с синтетической основой или резинотросовые допускают угол наклона 30 – 35° , а при использовании более гибкой ленты угол может быть увеличен.

Таким образом, при трехроликовой опоре для современных лент возможность повышения производительности ограничивается формой лотка. Тем не менее возможно дальнейшее увеличение емкости лотка, т.е. повышение производительности конвейера. Установлено, что наибольшее значение площади поперечного сечения материала на ленте достигается в случае придания лотку формы кубической пара-

болы. Чтобы придать лотку подобную форму, используют гибкую роликоопору. Достаточная степень приближения к максимальной площади достигается применением четырех- или пятироликовых опор.

Графические построения позволяют выявить влияние углов наклона β_1 и β_2 у четырех- и пятироликовых опор на площадь поперечного сечения материала на ленте. В случае четырехроликовой опоры наибольшая площадь поперечного сечения достигается, если $\beta_1 = 18^\circ$ и $\beta_2 = 36^\circ$ (119% площади при трехроликовой опоре и $\beta = 30^\circ$). Если в этом случае не выходить за пределы распространенного ныне угла перегиба ленты в 150° , что соответствует углу наклона роликов 30° , то достигается увеличение площади поперечного сечения до 112%.

Для пятироликовой опоры наибольшая площадь поперечного сечения достигается, когда $\beta_1 = 36^\circ$ и $\beta_2 = 25^\circ$, и составляет 124,5%. При угле 30° увеличение площади (против варианта трехроликовой опоры и $\beta = 30^\circ$) составляет 122,5%. Таким образом, применение четырех- и пятироликовых опор делает возможным повышение производительности конвейеров дополнительно на 20–25%. Увеличение угла наклона боковых роликов представляет интерес также и потому, что в этом случае несколько возрастает допустимый угол наклона конвейера.

Рассмотренные зависимости позволяют рекомендовать следующие расчетные значения коэффициента K_n (табл. 10) для определения производительности конвейера (значения K_n вычислены для случая применения конвейерных роликов равной длины и $\varphi = 15^\circ$).

Т а б л и ц а 10

Роликоопоры	Угол наклона роликов, град.		K_n
Двухроликовая	$\beta = 15$		450
	$\beta = 20$		500
	$\beta = 38$		590
Трехроликовая	$\beta = 20$		470
	$\beta = 30$		555
	$\beta = 35$		585
	$\beta = 40$		610
Четырехроликовая	$\beta_1 = 15$	$\beta_2 = 30$	620
	$\beta_1 = 18$	$\beta_2 = 36$	660
	$\beta_1 = 22,5$	$\beta_2 = 22,5$	630
Пятироликовая	$\beta_1 = 30$	$\beta_2 = 30$	680
	$\beta_1 = 36$	$\beta_2 = 25$	690
	—	—	705
Гибкая			

Площадь поперечного сечения материала на ленте наклонного конвейера несколько меньше, чем горизонтального, ввиду возникающего обратного сыпания груза, особенно в пунктах погрузки.

Снижение производительности наклонных конвейеров рекомендуется учитывать по данным стандарта ГДР Т6А -350001 (табл. II).

Т а б л и ц а II

Угол установки конвейера α , град.	От 0 до 10	12	16	18	20
Поправочный коэффициент K_α	I	0,98	0,95	0,93	0,92

Таким образом, расчетным выражением для определения технической производительности конвейера является

$$Q_r = K_n \cdot K_\alpha \cdot K_\gamma (0,98 - 0,05)^2 v \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (25)$$

где K_n - коэффициент, определяемый формой лотка (табл. I0);

K_α - коэффициент, учитывающий угол наклона конвейера (табл. II);

K_γ - коэффициент, учитывающий угол естественного откоса материала при движении (рис. I2).

В В В О Д И

1. Работа горнотранспортных систем непрерывного действия под воздействием аварийных отказов оборудования формируется случайным образом и может быть описана с помощью вероятностной модели марковских процессов.

2. При оценке схем транспортирования исходными данными являются надежность характеристики, время эффективной работы и производительность отдельных видов оборудования. На основе статистических материалов о работе роторных комплексов определены количественные показатели надежности оборудования непрерывного действия и установлено, что возникновение отказов и их устранение подчиняется экспоненциальному закону.

3. Большое число схем транспортирования в карьерах может быть приведено к четырем основным структурным схемам, каждая из которых является составной частью многих транспортных схем.

Для основных структурных схем комплексов оборудования непрерывного действия получены формулы, пригодные для инженерных расчетов транспортирующей способности технологических систем.

4. Вероятностные математические модели процессов функционирования комплексов оборудования непрерывного действия на карьерах дают возможность рассматривать работу технологических систем в динамике с учетом надежных показателей оборудования при различных его сочетаниях. Такой подход к процессу работы горно-транспортных систем позволяет решать вопросы установления оптимального режима эксплуатации и избежать просчетов при определении эффективности систем на стадии проектирования.

5. Иаложенный метод определения транспортирующей способности комплексов оборудования непрерывного действия может быть использован также и для оценки схем поточной технологии при разработке скальных пород и руд. В этом случае при расчете учитывается дробильная установка с соответствующими количественными показателями надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В. и др. Математические методы в теории надежности. М., "Наука", 1965.

2. Сандлер Дж. Техника надежности систем. М., "Наука", 1966.

3. Карпелевич Ф. И., Садовский Л. Е. Элементы линейной алгебры и линейного программирования. М., Физматгиз, 1963.

4. Альтшулер В. М. Методика построения математической модели для изучения надежности горнотранспортных систем. - В сб. "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых", № 1. Новосибирск, "Наука", 1969.

5. Спиваковский А. О., Потапов М. Г., Котов М. А. Карьерный конвейерный транспорт. М., "Недра", 1965.

6. Потапов М. Г., Комраков А. Н. Метод оценки схем транспортирования в карьерах. - В сб. "Добыча угля открытым способом", № 6 (18). М., "Недра", 1967.

7. B l a d y s z St. Wpływ rozdzielní (rozgałexien) łasmociagow na prace i kładu technologicznego Kopalni odkrywkowych. "Węgiel Wic-patru", 1965, № 1.

8. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М., "Советское радио", 1962.

9. Венецкий И. Г., Кильдешев Г. С. Основы математической статистики. М., Госстатиздат, 1963.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Схемы конвейерного транспорта	4
Количественные показатели надежности оборудования непрерывного действия	12
Оценка надежности схем при конвейерном транспорте	22
Производительность ленточных конвейеров	39
Выводы	46
Литература	47

Николай Васильевич Мельников,
Михаил Геннадиевич Потапов,
Анатолий Николаевич Комраков

МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА КАРЬЕРАХ

Редактор И.А.Дружкова

T-15170

Тираж 700

Заказ № 4689

Ротапринтная цех Института горного дела им.А.А.Скочинского
2,9 печ.л. Подписано к печати 16/ХП 1969 г.

Цена 22 коп.