

УДК 621.867.2.003.13

К.К. Мулухов, З.Н. Беслекоева

КРУТОНАКЛОННЫЙ КАРЬЕРНЫЙ КОНВЕЙЕРНЫЙ ПОДЪЕМНИК ДЛЯ КРУПНОКУСКОВЫХ ГРУЗОВ И ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Семинар № 18

Глубина большинства крупных рудных карьеров в настоящее время превышает 200 м, а проектная глубина некоторых открытых разработок достигает 600-700 м. Конвейерный транспорт является наиболее эффективным средством для подъема из глубоких шахт и карьеров, а при высокой производительности (20-30 млн. т в год и более) ленточные конвейеры становятся практически единственным вариантом.

Конвейеры обычно размещаются на отработанном или временно законсервированном борту карьера. В тех случаях, когда диагональное расположение конвейера в одном ставе невозможно, проходятся наклонные стволы, в которых подъемный конвейер размещается частично.

Применение ленточных конвейеров в обычном исполнении при разработке месторождений со скальными горными породами требует установки дробильных агрегатов, что существенно снижает эффективность конвейерного транспорта.

Стационарность объектов циклично-поточной технологии и нерациональность применяемых систем вскрытия обуславливают большой объем горно-капитальных и строительно-монтажных работ (до 75 % общей стоимости комплексов). Только при подготовке для размещения дробиль-

но-перегрузочных пунктов площадки средних размеров (200×100 м) в зависимости от глубины ее расположения на борту карьера и способа формирования требуется выполнить значительные дополнительные объемы вскрышных работ [1].

Как известно, эффективность конвейерного подъема резко снижается при использовании нескольких последовательно установленных конвейеров с промежуточными перегрузочными пунктами между ними. Перегрузка горных грузов с одного конвейера на другой вызывает повышенный износ конвейерных лент, увеличивает стоимость сооружения и эксплуатации подъемника, снижает надежность комплекса.

Исключить дорогостоящее дробление скальных пород и руд в дробилках позволяет ленточно-колесный конвейер, предложенный проф. Спиваковским А.О. [2].

Особенностью конструкции нового конвейера (рис. 1, а, б) является передвижение грузовой ветви ленты 1 на подвижных опорах 4, состоящих из траверс, снабженных катками, перемещающимися по верхним и нижним направляющим. Траверсы соединены между собой двумя цепями 5, образующими замкнутые в вертикальной плоскости контуры при огибании концевых звездочек 6 и 7. Лента 1,

приводимая в движение обычным барабанным приводом, увлекает за счет сил трения неприводной контур с ходовыми опорами. На холостой ветви лента перемещается по обычным роликоопорам 8. Натяжение ленты осуществляется барабаном 3. На концевых участках лента поддерживается стационарными роликоопорами амортизирующего типа 9.

С увеличением глубины разрабатываемых открытым способом месторождений проблема создания крутонаклонных конвейерных подъемников становится одной из наиболее актуальных в развитии горно-транспортного машиностроения. Установка конвейера с углом наклона, равным или близким к углу откоса борта карьера, обеспечивает значительный экономический эффект за счет сокращения горно-капитальных работ при уменьшении разноса бортов карьера и длины транспортной траншеи, а также сокращения длины конвейера.

В последние годы были предложены различные конструкции крутонаклонных ленточных конвейеров, основанные на использовании дополнительной ленты, прижимаемой к слою груза сверху катками, стационарно расположенными на участке подъема. Условием работоспособности таких конвейеров является наличие относительно ровной верхней поверхности слоя груза. По этой причине они не получили широкого применения.

Увеличение угла наклона до 40-60° обеспечивает крутонаклонный ленточно-колесный конвейер с дополнительными прижимными лентами (рис. 2, а, б, в) [2].

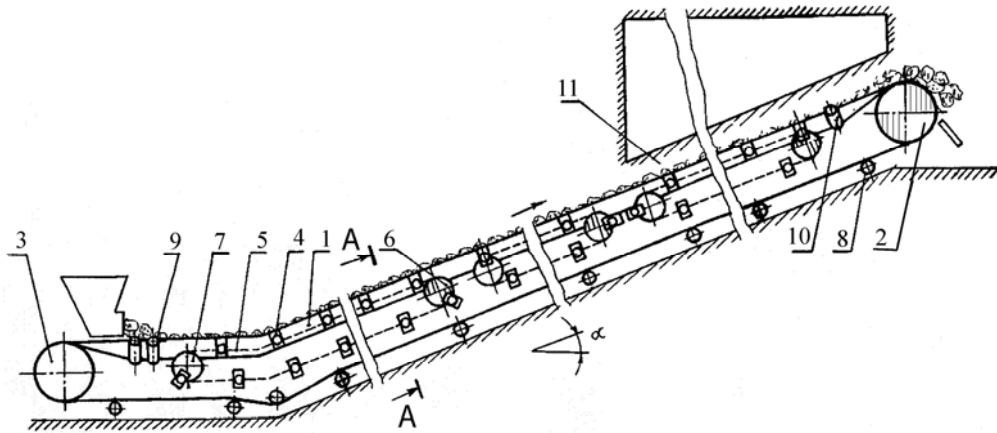
Крутонаклонный конвейер включает грузонесущую ленту 1, поддерживаемую ходовыми опорами 4 на грузной ветви и роликоопорами 8 на порожняковой ветви (рис. 2, а, б,

в). Лента 1 огибает концевые барабаны 2 и 3. Ходовые опоры 4 снабжены катками, перемещающимися по направляющим, и соединены между собой замкнутыми тяговыми органами (цепи) 5, огибающими концевые звездочки 6 и 7. По краям ходовых опор шарнирно смонтированы прижимные элементы в виде рычагов 12 и 13, соединенные по отдельности с копирами роликами 14 механизма управления 15. К опорам в месте контакта прикреплены дополнительные ленты 16 и 17. Боковые кромки лент 16 и 17 соединены с концами соответствующих прижимных рычагов 12 и 13, а сами ленты выполнены гофрированными. В начале и в конце подъема на раме конвейера установлены копиры направляющие 18 и 19, взаимодействующие с копирами роликами 14. Механизм управления 15 рычагами 12 и 13 может быть выполнен в виде сферического шарнирно-рычажного механизма.

С увеличением длины приводного контура возрастают нагрузки на тяговые элементы промежуточного привода, что приводит к их удорожанию. С другой стороны, уменьшение длины промежуточного приводного контура, позволяет применить более легкие и дешевые тяговые органы, но вызывает при этом увеличение числа приводов и натяжных станций. Таким образом, установление рационального числа промежуточных приводных контуров и последующий расчет их параметров представляет собой оптимизационную задачу, которая сводится к минимизации целевой функции, выражающей переменную часть стоимости оборудования конвейерного подъемника в зависимости от числа промежуточных тяговых контуров и горно-капитальных и строительных работ по варианту z ($z=1$ – рис. 1; $z=2$ – рис. 2)

$$W(z)=C(z)+L(z), \quad (1)$$

а



б

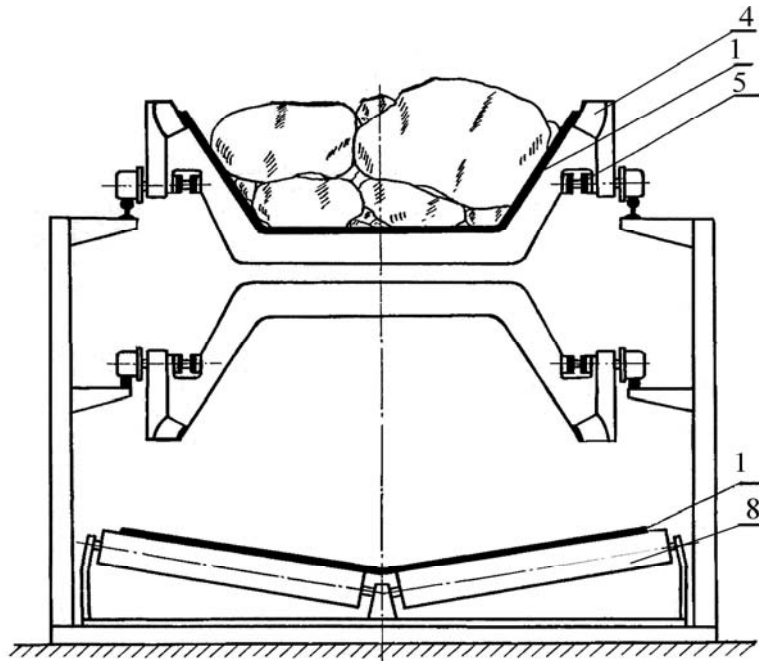


Рис. 1. Наклонный конвейер с промежуточными приводными контурами: а – схема конвейера; б – сечение конвейера по ставу; 1 – грузонесущая лента; 2 – головной барабан; 3 – натяжной барабан; 4 – ходовая опора; 5 – тяговые цепи; 6 – приводные звездочки; 7 – натяжные звездочки; 8 – роликоопоры холостой ветви ленты; 9 – амортизирующие роликоопоры; 10 – промежуточные роликоопоры; 11 – ствол

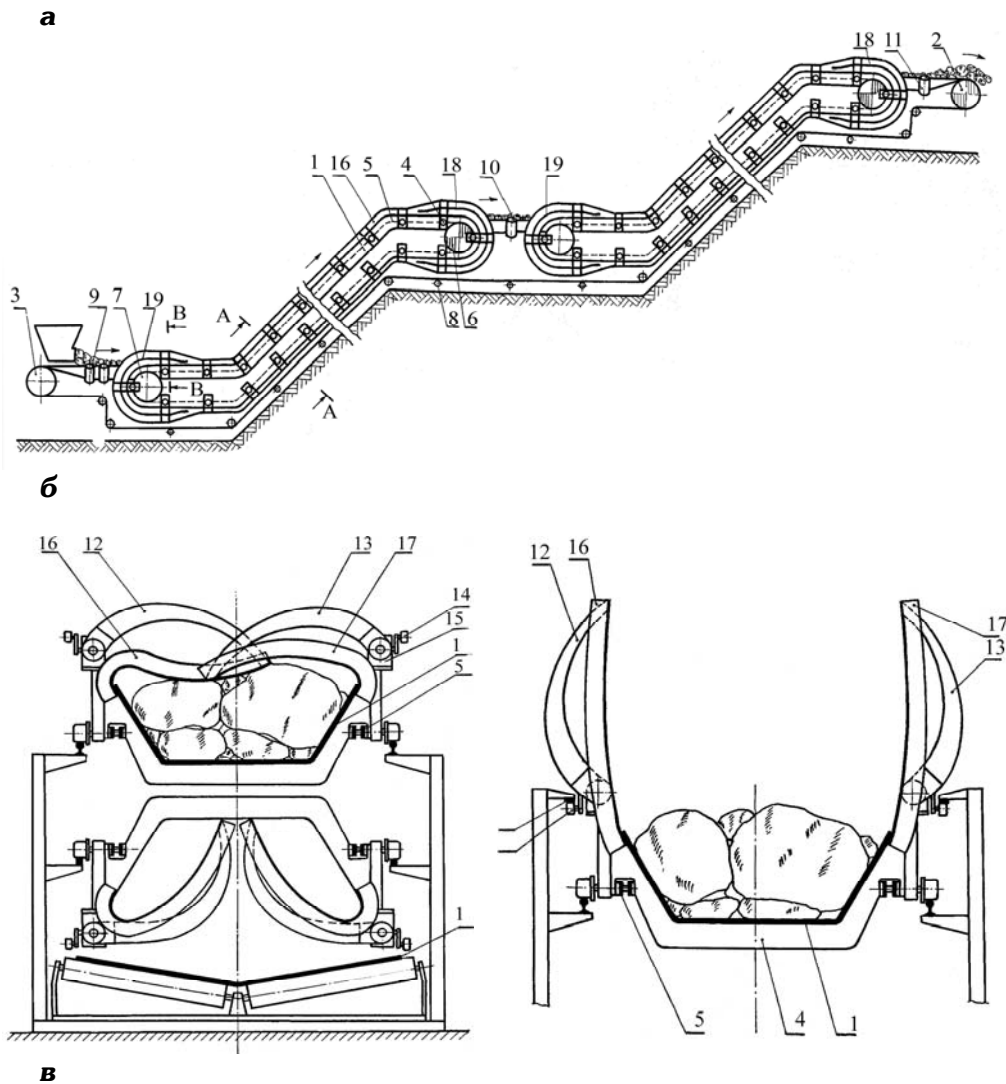


Рис. 2. Крутонаклонный конвейер с промежуточными приводными контурами: а – схема конвейера; **б** – сечение конвейера по ставу на наклонном участке; **в** – сечение конвейера на горизонтальном участке

где $C(z) = C_m + C_{np}n + C_n n$ – целевая функция, выражающая переменную часть стоимости оборудования конвейерного подъемника в зависимости от числа промежуточных тяговых контуров; C_T – стоимость тяговых органов промежуточных приводных контуров; $C_{пр}$ – стоимость привода промежуточ-

ного контура в сумме со стоимостью монтажа; n – число промежуточных приводных контуров; C_H – стоимость натяжной станции промежуточного контура в сумме со стоимостью монтажа; $C(z) = K_{конв}L(z) + K_{мон}l_{мон} + K_{тр}l_{тр}$ – стоимость горно-капитальных и строительных работ; $K_{конв}, K_{мон}, K_{тр}$ – капи-

таль*ные затраты на 1м конвейерного подъемника, тоннеля, вскрышной траншеи; $l_{тон}$ - длина тоннеля; $l_{тр}$ - длина вскрышной траншеи.

Так как при выборе оптимального варианта используются параметры стандартных и унифицированных изделий (тяговые цепи или ленты, приводные станции, натяжные устройства), то расчет следует вести в дискретной форме, т.е. в форме представления стоимостных и других параметров в целевую функцию в виде определенных величин, взятых из массива данных, отражающих табличные значения стандартных параметров.

Методику решения оптимизационной задачи рассмотрим на примере многоприводного конвейерного подъемника. В этом конвейере грузонесущая лента на грузовой ветви опирается на траверсы ходовых опор, которые связаны между собой двумя замкнутыми в вертикальной плоскости тяговыми цепями. В верхней части промежуточного контура устанавливается привод с двумя приводными звездочками. Передача тягового усилия на грузонесущую ленту передается за счет фрикционного взаимодействия между траверсами ходовых опор и лентой. Грузонесущая лента является также тяговым элементом.

Преимуществом использования промежуточных приводных контуров является также то, что они могут выполнять роль своеобразного ловителя грузонесущей ленты при ее обрыве. Для этого должны быть соблюдены следующие условия:

1. Оборвавшаяся грузонесущая лента не должна скользить по вспомогательной ленте промежуточного контура, а для ленточно-тележечного конвейера – по траверсам тележек.

2. При обрыве грузонесущей ленты в самой верхней точке вспомогательная лента не должна проскаль-

зывать относительно барабана при автоматически затормаживающемся промежуточном приводе. Для ленточно-тележечного конвейерного подъемника это условие не требует проверки.

3. При обрыве грузонесущей ленты в самой верхней точке запас прочности вспомогательных лент или тяговых цепей промежуточного привода должен исключить возможность их обрыва. Как показывают расчеты, эти условия обычно бывают соблюдены.

Исходя из последнего условия, максимальная нагрузка, действующая на цепь, равна

$$F_{\max}(z) = G_y(z) + \left(\frac{q_c + q_a + q_{x.o.}}{2} + q_{\psi} \right) \times l(z) \sin \alpha(z), \quad (2)$$

где $G(z)$ – натяжение в одной ветви от действия натяжного устройства по варианту z ; $q_c, q_a, q_{x.o.}, q_{\psi}$ – линейные нагрузки от сил тяжести, соответственно для груза, грузонесущей ленты, ходовых опор, самой цепи; $\alpha(z)$ – угол наклона конвейерного подъемника по варианту z ; $l(z)$ – длина промежуточного приводного контура по варианту z .

Тогда

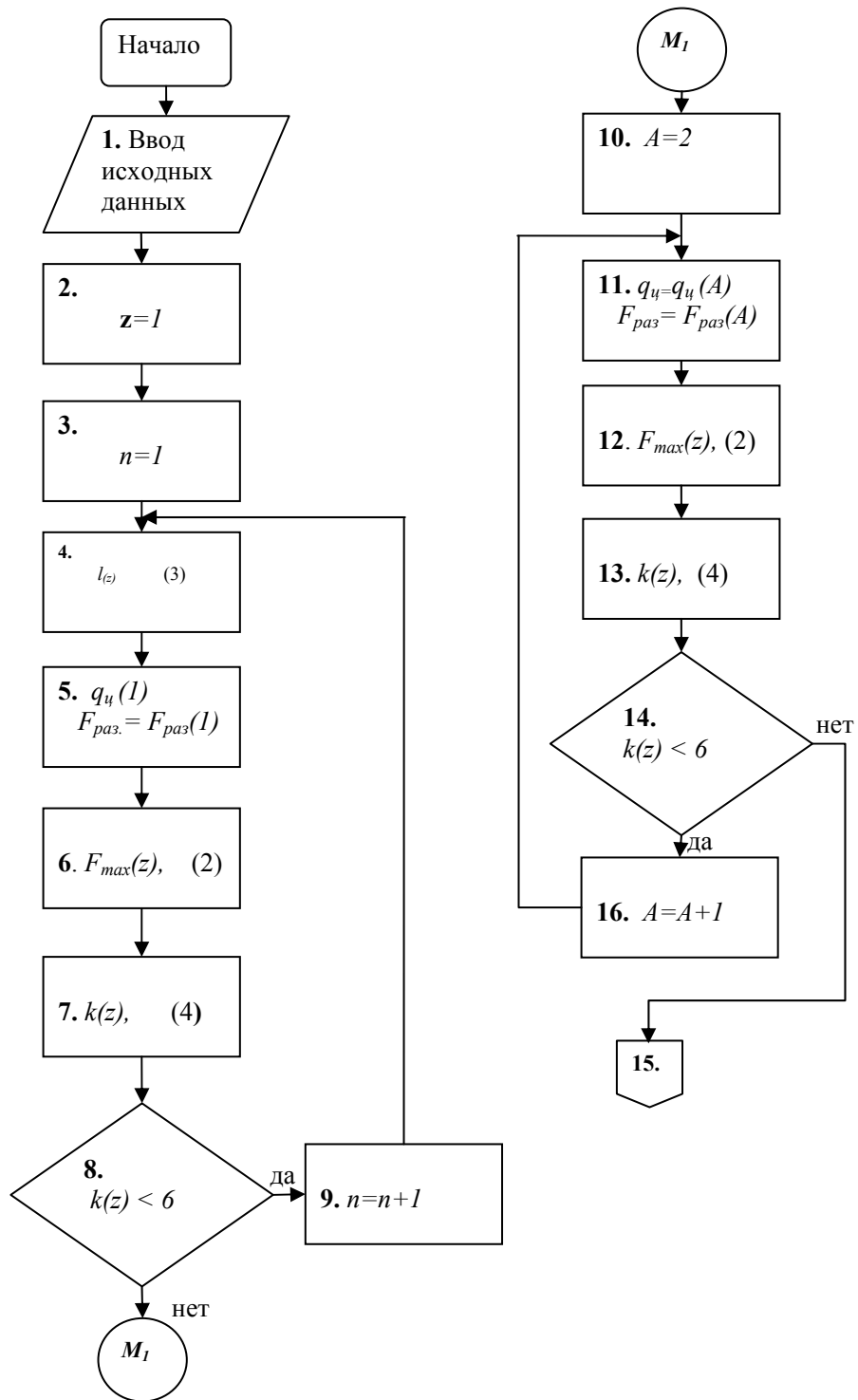
$$l(z) = \frac{L(z)}{n}, \quad (3)$$

где $L(z) = \frac{H}{\sin \alpha(z)}$ – длина конвейера по варианту z .

Условие достаточной прочности цепи имеет вид

$$k(z) = \frac{F_{раз}}{F_{\max}(z)} \geq [k],$$

где $k(z)$ – расчетный коэффициент запаса прочности цепи по варианту z ; $F_{раз}$ – разрушающая нагрузка цепи (принимается по стандарту или по паспорту завода изготовителя); $[k]$ – нормативное значение коэффициента запаса прочности (примем для дальнейших расчетов $[k]=6$).



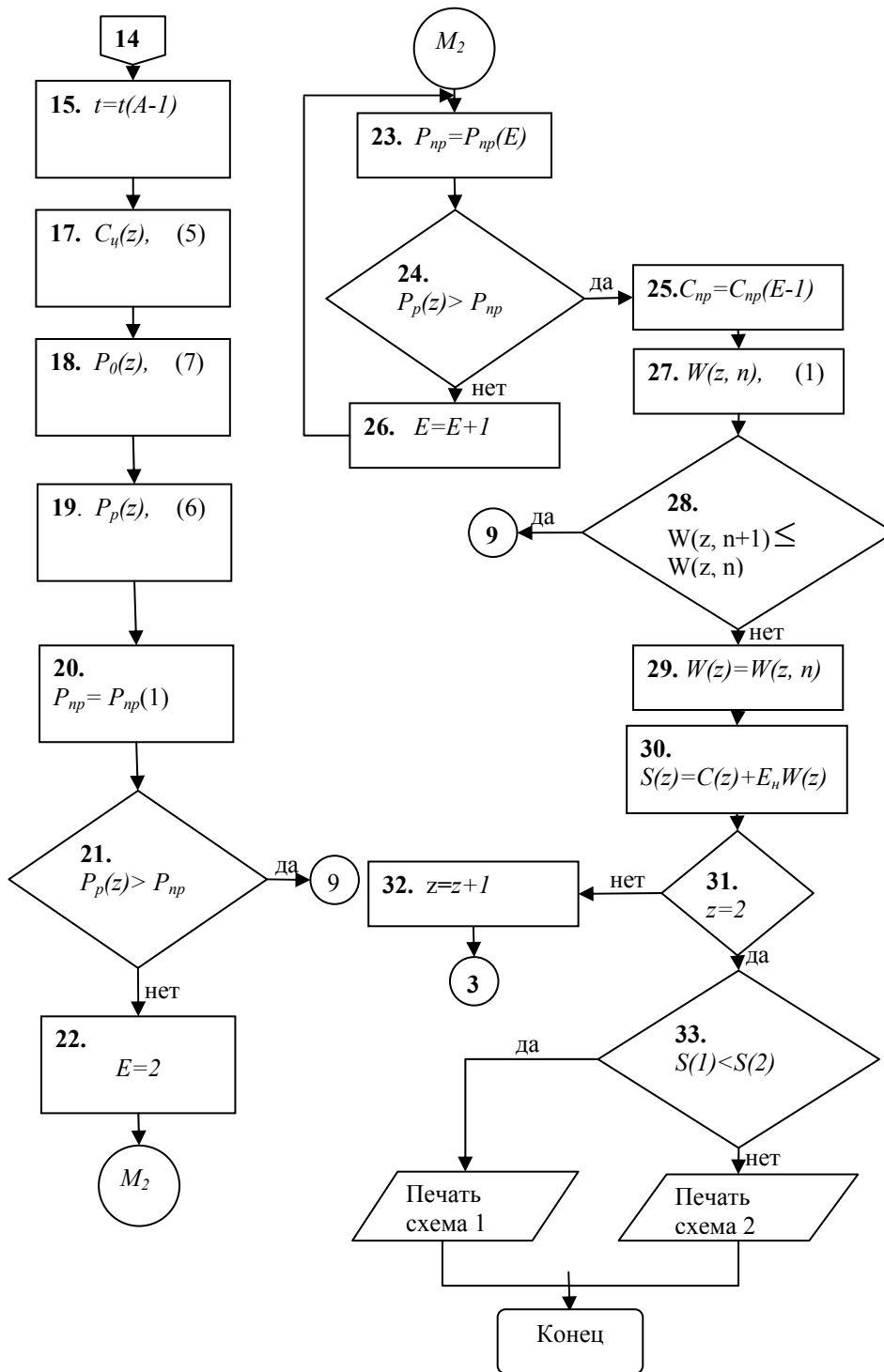


Рис. 3. Алгоритм расчета

Стоимость тяговых цепей промежуточных приводов определяется по формуле

$$C_u(z) = 4l(z)nt, \quad (5)$$

где t - стоимость 1 м цепи (табличное значение).

Расчетная мощность двигателя привода промежуточного контура по варианту z равна

$$P_p(z) = \frac{P_0(z) - P_n}{n\eta_{np}}, \quad (6)$$

где $P_0(z)$ - общая потребная мощность конвейерного подъемника по варианту z (без учета потерь в приводах конвейера),

$$P_0(z) = \frac{Q(L(z) \sin \alpha(z) + L(z) \cos \alpha(z) \omega) k_{реж}}{360}, \quad (7)$$

где Q - производительность конвейера, т/ч; ω - коэффициент сопротивления движению конвейера; $k_{реж}$ - коэффициент режима - отношение действительной эквивалентной мощности к мощности, определенной в предположении непрерывной работы с постоянной нагрузкой; $P_n = P_d \eta_n$ - мощность, развиваемая головным приводом грузонесущей ленты, отнесенная к приводному барабану; P_d - мощность двигателя головного привода грузонесущей ленты; η_n - к.п.д. привода грузонесущей ленты; η_{np} - к.п.д. привода промежуточного тягового контура.

Для решения поставленной оптимизационной задачи необходимо составить таблицу параметров тяговых цепей и таблицу параметров приводных станций промежуточных тяговых контуров. Таблица параметров тяговых цепей включает силу тяжести одного метра цепи ($q_{л}$), разрушающую нагрузку ($F_{раз}$), стоимость одного метра цепи (t). Номер строки таблицы, соответствующей определенному типоразмеру цепи, обозначим символом A и расположим цепи в

таблице в порядке понижения прочности и стоимостей цепей, т.е. $A=1$ соответствует наиболее прочная и дорогая цепь.

Таблица параметров приводных станций тяговых контуров включает мощность привода ($P_{пр}$) и его стоимость ($C_{пр}$). Номер привода, соответствующий строке таблицы, обозначим символом E , расположив параметры также в порядке понижения мощности и стоимости привода. Стоимость натяжной станции промежуточного тягового контура примем неизменной. При наличии данных об изменении стоимости натяжной станции в расчет можно ввести и таблицу параметров натяжных станций, если это изменение стоимости будет существенно влиять на величину целевой функции.

Блок-схема алгоритма решения задачи показана на рис. 3. После ввода исходных данных, в том числе и таблиц параметров тяговых цепей и приводных станций, число промежуточных станций и число промежуточных приводов принимается равным 1, выбирается вариант 1 ($z=1$). По формуле (3) определяется длина промежуточного тягового контура $l(z)$. Вначале рассматривается наиболее прочная тяговая цепь ($A=1$). После расчета коэффициента запаса прочности полученное значение поступает в блок сравнения (блок 8); если условие прочности не выполняется, то расчет повторяется для случая с числом промежуточных приводов, большим на 1. Если же условие прочности выполнено, то для дальнейшего расчета следует выбрать из таблицы цепь с коэффициентом запаса прочности, ближайшим и большим 6. Для этого A присваивается число 2 (блок 10) и вновь идет сравнение расчетного коэффициента запаса прочности с нормативным (блок 14).

Переход к менее прочной цепи продолжается до тех пор, пока условие прочности не нарушится. После этого выбирается для дальнейшего расчета цепь с ближайшим и большим b коэффициентом запаса прочности. Устанавливается стоимость 1 м цепи (t) и рассчитывается суммарная стоимость тяговых цепей $C_{ц}(z)$ (блоки 15, 17).

Аналогично выбирается приводная станция, мощность которой должна быть ближайшей и большей потребной расчетной мощности (блоки 18-26). После этого рассчитывается первое значение целевой функции (блок 27) по варианту z . Для получения второго значения целевой функции весь расчетный цикл повторяется при $n=n+1$ (увеличение числа промежуточных приводных контуров на 1). Полученные значения целевых функций сравниваются до тех пор, пока функция убывает. Когда это условие нарушается, расчеты по варианту 1 ($z=1$) прекращаются и устанавливается оптимальный вариант с минимальными затратами, соответствующими

минимальному значению целевой функции по варианту 1 ($z=1$).

Выбирается вторая схема (блоки 30 - 31). Все расчеты повторяются (блоки 3 - 29). В 29 блоке получаем оптимальный вариант с минимальными затратами по варианту 2 ($z=2$). Полученные значения целевых функций по вариантам 1 и 2 сравниваются и выбирается оптимальный (блоки 32-34).

В выводе полученных данных на печать следует отражать не только параметры наиболее оптимального варианта, но и другие варианты для различного числа промежуточных приводных контуров. При близких значениях целевых функций выбор в отдельных случаях может быть сделан и в пользу варианта с несколько большим значением целевой функции с учетом конкретных условий, не всегда поддающихся учету в расчете, например: наличие оборудования или возможности и сроки его поставки, горнотехнические условия, определяющие удлинение конвейера в процессе разработки месторождения и другие факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев В.Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров. Горный журнал, 2003, № 4-5, с. 51 - 56.

2. Мулухов К.К. Ленточно-колесные конвейеры. Владикавказ, СКГТУ, 2000.

3. Ленточные конвейеры в горной промышленности. Под редакцией Галкина В.И. М., Недра, 2007. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Мулухов К.К. – доктор технических наук, профессор кафедры «Детали машин»,
Беслекова З.Н. – кандидат технических наук, ассистент,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 18 симпозиума «Неделя горняка-2008».
Рецензент д-р техн. наук, проф. В.И. Галкин.

