© К.К. Мулухов, З.Н. Беслекоева, К.В. Кочиева, 2008

УДК 621.867.2.003.13

К.К. Мулухов, З.Н. Беслекоева, К.В. Кочиева

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ И ОБОРУДОВАНИЯ КОНВЕЙЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ СО СКАЛЬНЫМИ ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ

Семинар № 20

В процессе разработки полускальных и скальных горных пород занято большое количество горнотранспортного оборудования. Однако степень использования его составляет всего 40-60 % вследствие цикличности производства, сложности организации и управления, технологическим процессом, наличия немеханизированных и маломеханизированных операций. Наибольшее распространение в качестве средств поточного транспорта получили ленточные конвейеры. Высокая производительность, малая энергоемкость, возможность полной автоматизации транспортных процессов и экологическая чистота делают этот вид транспорта наиболее эффективным для предприятий с большим грузооборотом, 20-30 млн т в год и более. Вместе с тем ленточные конвейеры в обычном исполнении не приспособлены к перемещению горных грузов с кусками, имеющими размеры свыше 300 мм. Анализ гранулометрического состава горной массы, подготовленной буровзрывным способом, показывает, что выход негабаритных кусков вследствие природной слоистости и трещиноватости составляет такой удельный объем, который требует применения дробильных агрегатов или комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта, что существенно увеличивает стоимость транспортирования. Доля конвейерного транспорта в общем объеме перевозок все еще невелика и не превышает 5-7 %.

Как показали опытно-промышленные испытания, ленточно-колесный конвейер способен перемещать горную массу с кусками, имеющими размеры 1000-1200 мм и более. Выход негабарита после проведения буровзрывных работ при этом не превышает 2-3 %, что исключает применения дорогостоящих дробильных агрегатов или дополнительного автомобильного транспорта.

Эксплуатация первого промышленного конвейерно-отвального комплекса с ленточно-колесными конвейерами на открытом руднике «Джанатас» горно-химического комбината «Каратау» (Казахстан) в 80-е годы выявила целый ряд просчетов, допущенных в основном на стадии его проектирования. Так, не удалось избежать дробления пустой породы в дробильном агрегате перед подачей породы на отвалообразователь. Это, по существу, свело на нет основное преимущество ленточно-колесных конвейеров. Перемещение забойного и передаточного конвейеров по подошве уступов связано со значительными дополнительными затратами, обусловленными конструктивными особенностями ленточно-колесного конвейера. Неудовлетворительной оказалась и работа четырехлопастного перегружателя с маятниковой подвеской лопастного колеса с це-

лью исключения заклинивания кусков горной породы между лопастями и направляющим лотком. В процессе перегрузки лопастное колесо отклонялось от воздействия грузопотока, после чего лопасти не входили в сечение грузопотока, что вызывало забивку лотка грузом и остановку в работе.

Неудовлетворительные результаты эксплуатации первого крупного конвейерного комплекса в силу указанных выше причин привела к тому, что в последующих проектах с цикличнопоточной технологией разработки месторождений со скальными породами и рудами предпочтение было отдано схемам с использованием дробильных агрегатов, устанавливаемых перед ленточными конвейерами в обычном исполнении [1], [2].

Ленточно – колесный конвейер, созданный по предложению проф. Спиваковского А.О. (каф. «Транспортные машины и комплексы» Московского горного института), обладает благоприятными предпосылками для разработки крутонаклонных конструкций конвейерных подъемников, в которых прижимные элементы и дополнительные ленты крепятся непосредственно к ходовым опорам [3]. Кроме того, разработана конструкция специального лопастного перегружателя для безударной загрузки грузонесущей ленты крупнокусковыми грузами [4]. Следует также отметить и то, что на ленточно-колесных конвейерах срок службы дорогостоящей грузонесущей ленты значительно выше, чем при эксплуатации ее на обычных ленточных конвейерах при транспортировании скальных пород и руд с допускаемыми размерами до 300 мм.

Особенностями предлагаемых схем циклично-поточной технологии разработки с применением ленточно-колесного конвейера являются следующие предложения.

1. Установка подъемного крутонаклонного ленточно-колесного конвейера на постоянном или длительно законсервированном борту карьера.
2. Использование нескольких цепных контуров с ходовыми опорами в качестве промежуточных приводов с целью исключения перегрузочных пунктов.
3. Удлинение (а не передвижка) нижнего горизонтального участка подъемного конвейера по мере удаления фронта выемочно-погрузочных работ.
4. Использование специального лопастного перегружателя для безударной загрузки конвейера крупнокусковыми грузами.

На рис. 1 представлена классификация внутрикарьерных транспортно-технологических схем доставки горной массы к конвейерному подъемнику.

На рис. 2, 3 и 4 показаны соответствующие трем вариантам схемы расположения оборудования.

Оптимизация по схемам с использованием цикличных средств доставки (схемы I и II) осуществляется сравнением вариантов при различных емкостях ковша погрузчика или кузова автосамосвала, при этом в случае применения автотранспорта может потребоваться несколько экскаваторов.

Схема III рассчитана на применение передвижного конвейерного перегружателя с ленточно-колесным конвейером. В этом случае выбор варианта связан с оптимальной длиной перегружателя.

Назначение конвейерного перегружателя – снижение числа удлинений нижнего горизонтального участка подъемного конвейера.

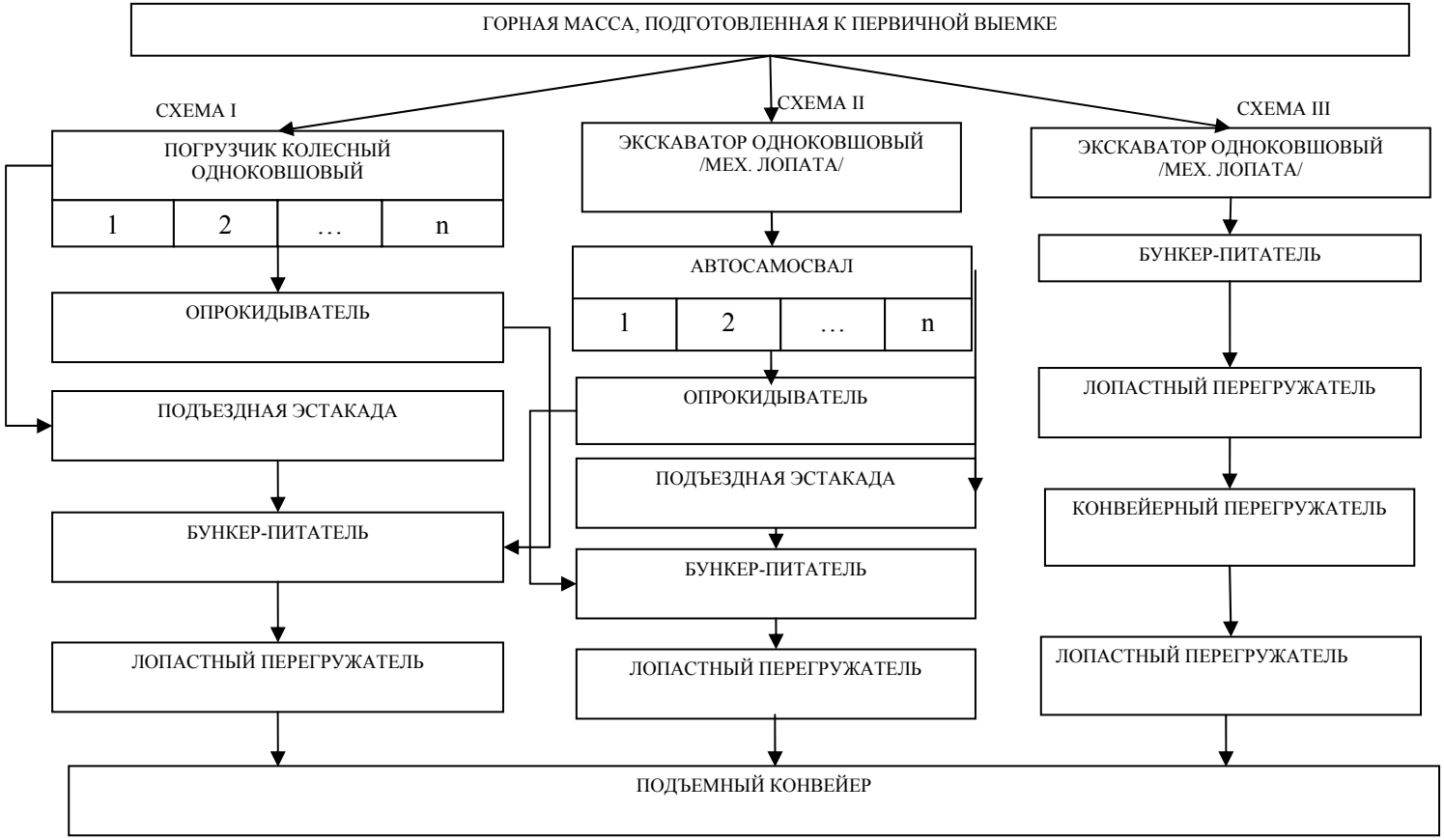

Рис. 1. Классификация схем погрузки подъемных карьерных конвейеров при разработке скальных горных пород

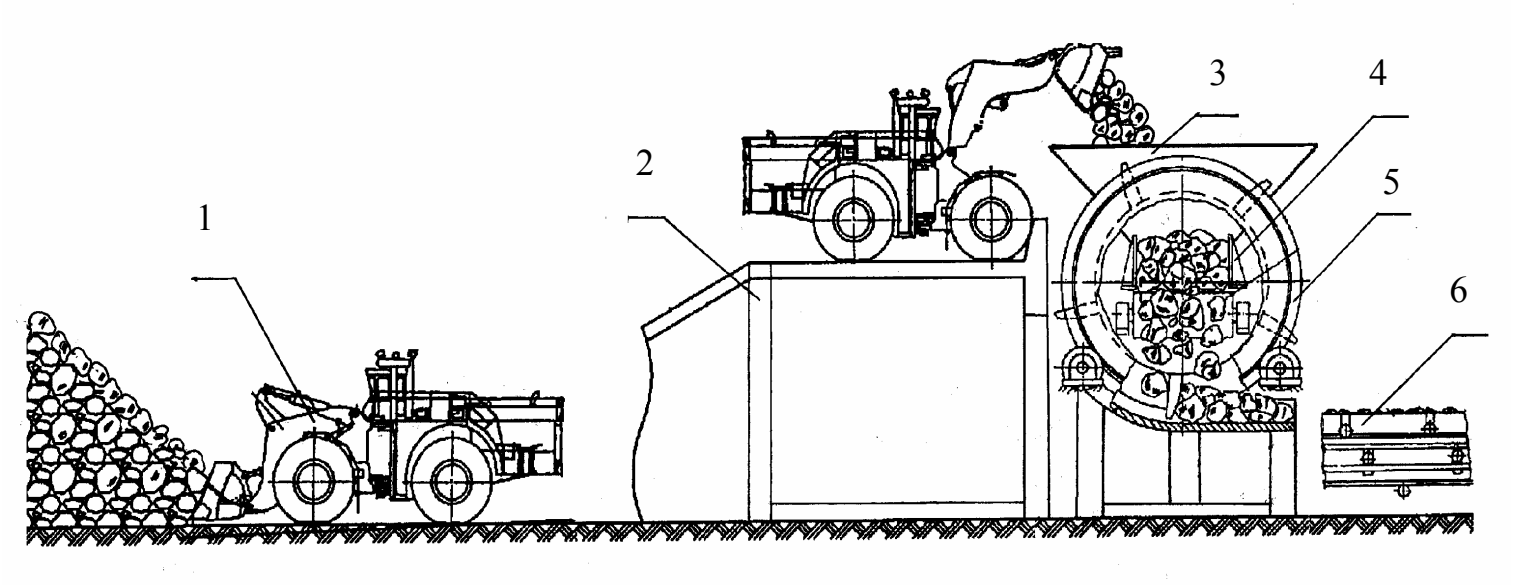

Рис. 2. Схема расположения оборудования с применением одноковшовых колесных погрузчиков: *1* - погрузчик колесный одноковшовый; *2* - эстакада; *3* - бункер; *4* - питатель подбункерный; *5* - перегружатель лопастный; *6* - ленточно-колесный конвейер

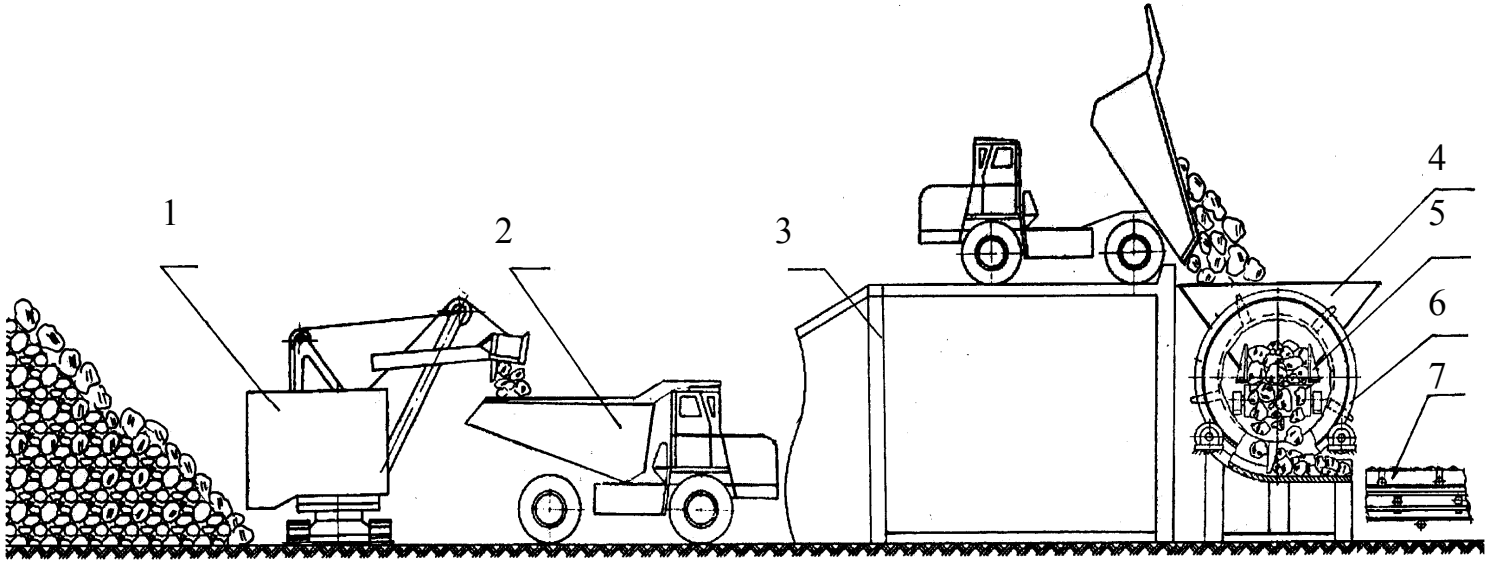

Рис. 3. Схема расположения оборудования с применением автосамосвалов: *1* - экскаватор; *2* - автосамосвал; *3* - эстакада; *4* - бункер; *5* - подбункерный питатель; *6* - лопастный перегружатель; *7* - ленточно-колесный конвейер

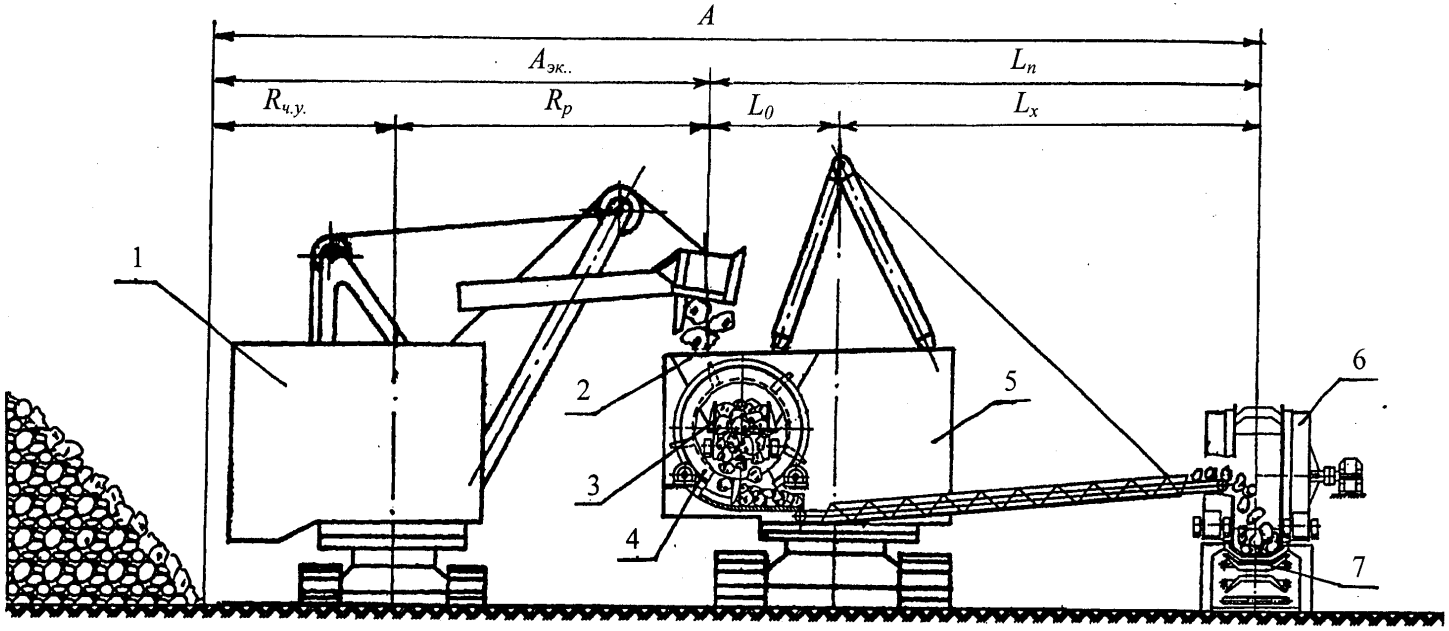

Рис. 4. Схема расположения оборудования с применением передвижного конвейерного перегружателя: *1* - экскаватор; *2* - бункер; *3* - подбункерный питатель; *4* - лопастный перегружатель; *5* - ленточный конвейерный перегружатель; *6* - лопастный перегружа-тель; *7* - ленточно-колесный конвейер

Исходя из этого, целевую функцию, определяющую экономическую эффективность применения конвейерного перегружателя, можно выразить как сумму эксплуатационных затрат на удлинение подъемного конвейера и капитальных затрат (приведенных) на конвейерный перегружатель,

$$\Phi = nC + K_{п.п.}\ , \qquad (1)$$

где C — стоимость эксплуатационных затрат на разовое удлинение нижнего горизонтального участка подъемного конвейера; n — общее число удлинений; $K_{п.п.}$ — приведенные капитальные затраты на конвейерный перегружатель (с учетом амортизационных отчислений на расчетный срок работы в заданных условиях).

Капитальные затраты на оборудование считаем постоянными, а изменением эксплуатационных затрат на перегружатель при изменении его длины L_x можно пренебречь, поэтому эти факторы при опреде-лении целевой функции не учтены. Оптимальное значение длины конвейерного перегружателя L_x находится из условия минимизации суммарных затрат, выражаемых целевой функцией Φ. Для этого необходимо предварительно выразить целевую функцию через переменный пара-метр r

Наибольшая длина отрабатываемой полосы между удлинениями подъемного конвейера (см. рис. 4)

$$A = R_{ч.у.} + R_р + L_п \qquad (2)$$

где $R_{ч.у.}$ — радиус черпания экскаватора на горизонте установки, м; $R_р$ — радиус разгрузки экскаватора, м; $L_п$ — длина перегружателя, м.

Выражение (2) можно представить как

$$A = L_x + A_{эк} + L_0 \qquad (3)$$

Переменным параметром является длина разгрузочной консоли конвейерного перегружателя L_x (как было установлено выше, длина приемной консоли ограничена). Тогда общее число удлинений нижнего горизонтального участка подъемного конвейера при отработке уступов с применением конвейерного перегружателя будет равно (без учета удлинений подъемного конвейера с уступа на уступ)

$$n = \frac{P}{A} - i\ , \qquad (4)$$

где P - суммарная протяженность продвигания фронта работ на уступах, отрабатываемых по принятой схеме; i – число уступов.

Процесс удлинения подъемного конвейера можно разделить на три этапа: подготовка к удлинению, собственно удлинение, рихтовка конвейера. В подготовительные работы входят расстыковка конвейерной ленты, планировка подошвы уступа, отключение электрооборудования и т.д. Стоимость удлинения конвейера на расстояние А можно представить в следующем виде:

$$C = \lambda A + C_{п.з.} \qquad (5)$$

где λ - стоимость удлинения на 1 м подъемного конвейера; $C_{п.з.}$ – постоянные затраты на подготовительно-заключительные операции по удлинению конвейера, не зависящие от расстояния удлинения.

Зависимость капитальных затрат на конвейерный перегружатель $K_п$ (при определенной производительности) от длины разгрузочной консоли конвейера L_x в отдельных случаях может быть линейной, т. е

$$K_п = \varepsilon L_x + \theta \ , \qquad (6)$$

где ε — коэффициент, учитывающий изменение стоимости перегружателя при изменении L_x на 1 м; θ — стоимость оборудования перегружателя, не зависящая от изменения L_x (бункер, питатель, электрооборудование и т. д.). С учетом амортизационных отчислений на расчетный срок работы перегружателя в заданных условиях приведенные капитальные затраты будут равны

$$K_{п.п.} = TE_н K_п \ , \qquad (7)$$

где T — расчетный срок работы перегружателя в годах; $E_н$ - нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений.

Подставляя выражения приведенных капитальных затрат перегружателя $K_{п.п.}$ из (7) и стоимости удлинения подъемного конвейера C в формулу целевой функции Φ (1) и учитывая (4), получим

$$\Phi = \left(\frac{P}{A} - i\right)(\lambda A + C_{п.з.}) + TE_н(\varepsilon L_x + \theta)$$

Так как

$A = L_x + A_{эк} + L_0$, то

$$\Phi = \frac{PC_{п.з.}}{A_{эк} + L_0 + L_x} - i\lambda L_x + TE_н \varepsilon L_x - \qquad (8)$$

$$-iC_{п.з.} + \lambda P - i\lambda(A_{эк} + L_0) + TE_н \theta.$$

Оптимальную длину Lx можно получить из условия минимизации суммарных затрат, выражаемых целевой функ-цией Ф из (7). В данном случае оптимизация может быть выполнена путем простого дифференцирования целевой функции Φ по переменному параметру L_x $\frac{\partial \Phi}{\partial L_x} = 0$,

Откуда

$$L_x = \sqrt{\frac{PC_{п.з.}}{TE_н \varepsilon - i\lambda}} - A_{эк} - L_0 \qquad (9)$$

Ведение буровзрывных работ в карьере для подготовки горной массы к транспортированию требует соблюдения безопасного расстояния для оборудования от места взрыва, что налагает дополнительные ограничения на величину L_x. Радиус разлета кусков, опасных для оборудования, может изменяться от 50–60 м для легко- и среднедробимых пород до нескольких сот метров для труднодробимых крепких горных пород.

Тогда дополнительное ограничение на величину L_x будет

$$L_x \geq R_б - A_{эк} - L_0 \ , \qquad (10)$$

где $R_б$ – наименьшее безопасное для конвейера расстояние разлета кусков при взрыве.

Значение капитальных затрат от длины конвейерного перегружателя L_x из (6) аппроксимировалось линейной зависимостью, что позволило получить простую зависимость для целевой функции от L_x и оптимизировать ее простым дифференцированием. Такое выражение часто может оказаться слишком приближенным. Поэтому, установив тип и конструктивные параметры конвейерного перегружателя, необходимо проанализировать изменение стоимости конвейерного перегружателя при изменении его длины и получить более точную зависимость стоимости перегружателя от длины. При этом более приемлемым может оказаться другой способ оптимизации целевой функции. Рассмотренный метод определения оптимальной длины перегружателя применим также при других возможных схемах расположения оборудования загрузки ленточного конвейера.

Для окончательного выбора рационального варианта по предложенным схемам разработан алгоритм (рис. 5).

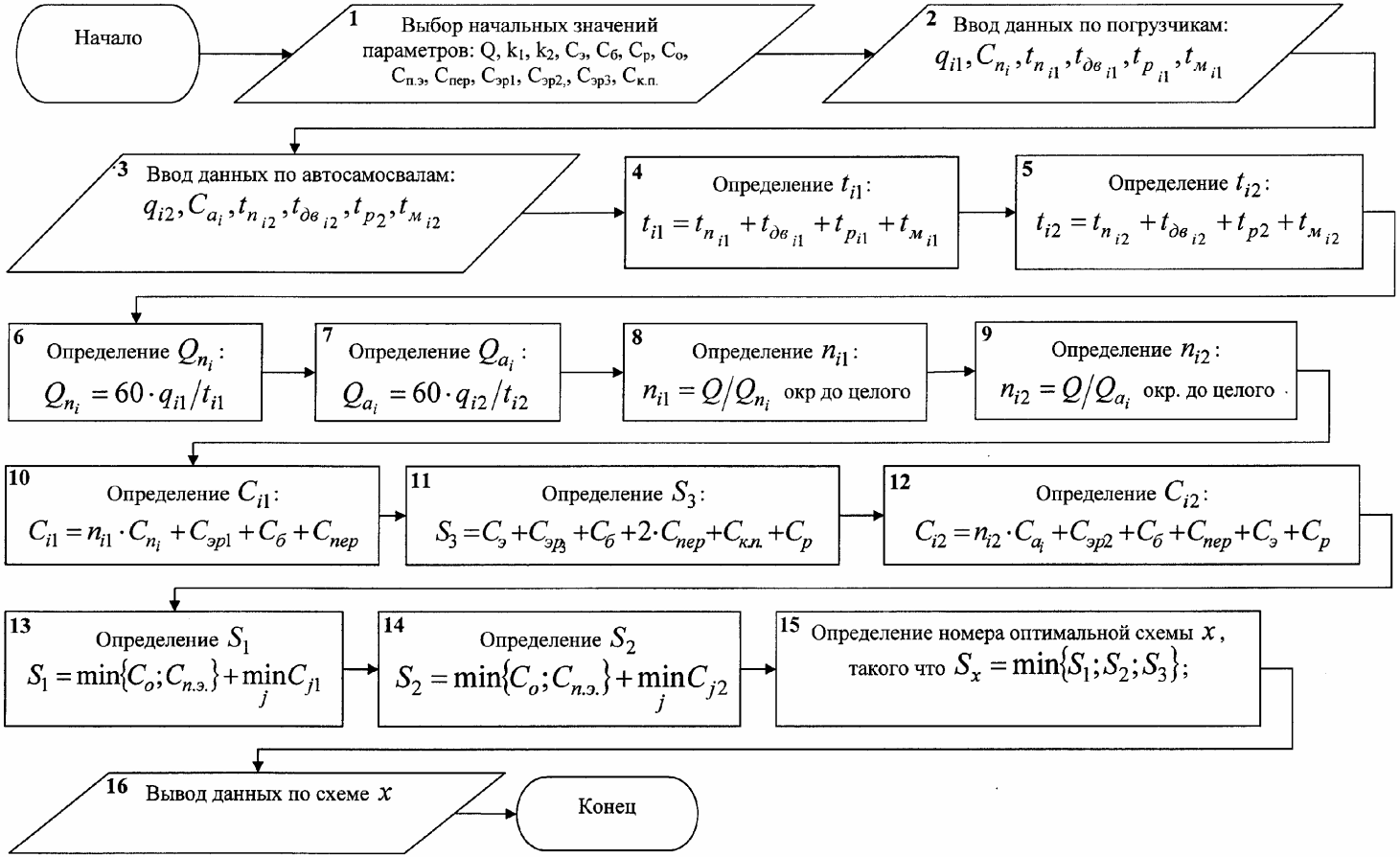

Рис. 5. Алгоритм выбора рациональной схемы

Q – требуемая производительность; k_1 – количество вариантов погрузчиков (по емкости ковша); $k2$ – количество вариантов автосамосвалов (по грузоподъемности); q_{i1} – грузоподъемность погрузчиков *i*-го типа; $C_б$ – стоимость бункера – питателя; $C_{пер.}$ – стоимость перегружателя; $C_{пi}$ – стоимость погрузчика *i*-го типа; $t_{п_{i1}}$ – время погрузки погрузчика *i*-го типа; $t_{р_{i1}}$ – время разгрузки погрузчика *i*-го типа; $t_{дв_{i1}}$ – время движения погрузчика с грузом и порожняком; t_{i1} – время одного цикла работы погрузчика *i*-го типа; $t_{м_{i1}}$ – время маневра погрузчика; $Q_{п_i}$ – производительность погрузчика *i*-го типа; n_{i1} – количество погрузчиков *i*-го типа; C_{i1} – суммарная стоимость оборудования по схеме I погрузчиками *i*-го типа; $C_{эр1}$ – эксплуатационные расходы по схеме I; $C_о$ – стоимость опрокидывателя; $C_{п.э}$ – стоимость подъездной эстакады; q_{i2} – грузоподъемность автосамосвала *i*-го типа; $t_{п_{i2}}$ – время погрузки автосамосвала *i*-го варианта; $t_{р_{i2}}$ – время разгрузки автосамосвала *i*-го варианта; $t_{дв_{i2}}$ – время движения автосамосвала с грузом и порожняком; $t_{м_{i2}}$ – время маневра автосамосвала; Q_{a_i} – производительность *i*-го варианта автосамосвала; n_{i2} – количество автосамосвалов *i*-го варианта, обеспечивающего заданную производительность; $C_э$ – стоимость экскаватора; C_{a_i} – стоимость одного автосамосвала *i*-го варианта; t_{i2} – суммарное время одного цикла работы автосамосвала *i*-го варианта; $C_р$ – расходы на подготовку дорожного полотна; C_{i2} – суммарная стоимость оборудования по схеме II с учетом грузоподъемности автосамосвала *i*-го варианта; $C_{эр1}$ – эксплуатационные затраты по схеме I; $C_{эр2}$ – эксплуатационные затраты по схеме II; $C_{эр3}$ – эксплуатационные затраты по схеме III; $C_{к.п.}$ – стоимость конвейерного перегружателя; S_1 – минимально возможные затраты по схеме I; S_2 – минимально возможные затраты по схеме II; S_3 – минимально возможные затраты по схеме III.

Разработанный алгоритм для выбора наиболее рациональной внутрикарьерной схемы доставки горной массы к подъемному конвейеру позволяет выбрать наиболее приемлемый вариант, при этом предварительно следует определить оптимальную длину конвейерного перегружателя по рассмотренной в данной работе методике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яковлев В.Л.* Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров. // Горный журнал, № 4-5, 2003. – С 51-56.
2. *Кучерский Н.И. и др*. Эффективность проектируемого комлекса ЦПТ-Руда с крутонаклонным конвейером для карьера «Мурунтау».// Горный журнал № 11, 2005.С 59-65.
3. *Мулухов К.К.* Ленточно-колесные конвейеры. Владикавказ: Терек, 2000.
4. *Беслекоева З.Н.* Обоснование параметров лопастного перегружателя для безударной загрузки крупнокусковыми грузами. Автореферат диссертации, Владикавказ: Терек, 2006.

ГИАБ

Коротко об авторах

Мулухов К.К. – доктор технических наук, профессор кафедры «Детали машин», Северо-Кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ,
Беслекоева З.Н. – преподаватель горно-металлургического техникума, г. Владикавказ,
Кочиева К.В. – аспирантка, Северо-Кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 20 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.И. Галкин.*

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. *Меркулов М.В., Косьянов В.А.* Обоснование оптимального варианта энергоснабжения на основе технико-экономического моделирования (645/08-08 — 28.04.08) 6 с.
2. *Коннов В.И.* Влияние горнодобывающей промышленности на состояние поверхостных водных объектов Забайкальского края (646/08-08 — 02.06.08) 4 с.
3. *Коннов В.И.* Инженерные средства и мероприятия по защите малых рек от загрязнения сточными водами при отработке месторождений открытым способом (647/08-08 — 02.06.08) 7 с.