Горная
книга

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

Председатель *Л.А. ПУЧКОВ*	*чл.-корр. РАН*
Зам. председателя *Л.Х. ГИТИС*	*директор Издательства «Горная книга»*
Члены редсовета *А.А. БАРЯХ*	*директор ГИ УрО РАН*
А.П. ДМИТРИЕВ	*академик РАЕН*
В.Н. ЗАХАРОВ	*директор ИПКОН РАН*
Д.Р. КАПЛУНОВ	*чл.-корр. РАН*
Б.А. КАРТОЗИЯ	*академик РАЕН*
А.В. КОРЧАК	*академик МАН ВШ*
М.В. КУРЛЕНЯ	*академик РАН*
В.Н. ОПАРИН	*чл.-корр. РАН*
В.Л. ПЕТРОВ	*академик МАН ВШ*
И.Ю. РАССКАЗОВ	*директор ИГД ДВО РАН*
К.Н. ТРУБЕЦКОЙ	*академик РАН*
В.А. ЧАНТУРИЯ	*академик РАН*
В.Л. ШКУРАТНИК	*зав. кафедрой МГГУ*

ПРОЦЕССЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Н.Я. РЕПИН
Л.Н. РЕПИН

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И СКЛАДИРОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Открытые горные работы» направления подготовки «Горное дело»

МОСКВА
♦
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
♦
2013

УДК 622.221
ББК 33.22
Р41

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253–03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (*ОСТ 29.124–94*). *Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.12*

Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области горного дела (*письмо № 51-16/247 от 18.09.2012 г.*)

Рецензенты:

- кафедра «Открытые горные работы» Кузбасского государственного технического университета (зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. *С.И. Протасов*);
- д-р техн. наук, проф. *И.Г. Ищук* (ННЦ ГП — ИГД им. А.А. Скочинского)

Репин Н.Я., Репин Л.Н.

Р41 Процессы открытых горных работ. Часть 3. Перемещение и складирование горных пород: Учеб. пособие. — М.: Издательство «Горная книга», 2013. — 221 с.: ил. (ПРОЦЕССЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ)

ISBN 978-5-98672-349-5

Изложены сведения об особенностях карьерного транспорта, его современном состоянии и тенденциях развития. Дана технологическая характеристика основных видов транспорта и условий их применения. Приведены данные о важнейших технологических параметрах подвижного состава, параметрах, устройстве и схемах развития транспортных коммуникаций в карьерах и на рабочих уступах. Дано описание схем и организации транспортного обслуживания выемочно-погрузочных и отвальных машин. Приведена методика расчета производительности транспортного оборудования и потребности в подвижном составе. Описаны способы отвалообразования, приведены данные о параметрах отвалов и методах их расчета.

Н.Я. Репин — д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология, механизация и организация открытых горных работ» МГГУ; *Л.Н. Репин* — д-р экон. наук, руководитель Департамента топливообеспечения ОАО «Энергетические системы Востока», и.о. проф. кафедры «Технология, механизация и организация открытых горных работ» МГГУ.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Открытые горные работы» направления подготовки «Горное дело».

ISBN 978-5-98672-349-5

УДК 622.221
ББК 33.22

© Н.Я. Репин, Л.Н. Репин, 2013
© Издательство «Горная книга», 2013
© Дизайн книги.
Издательство «Горная книга», 2013

Введение

Процессы перемещения и складирования горных пород являются завершающим этапом их разработки на карьерах. В условиях, когда глубина карьеров неуклонно увеличивается, проблема перемещения горных пород приобретает доминирующее значение среди технологических факторов, определяющих эффективность открытого способа добычи полезных ископаемых. Затраты на транспорт составляют до 45–50% общих затрат на разработку единицы горной массы. В определенных условиях их удельный вес достигает 60–70%, а показатели работы выемочно-погрузочного, отвального и другого оборудования напрямую зависят от организации их транспортного обслуживания.

Для перемещения горных пород на карьерах используются практически все известные виды транспорта — автомобильный, железнодорожный, конвейерный, гидравлический, гравитационный и др. как в самостоятельном применении, так и в комбинированном виде, когда единый грузопоток обслуживается двумя или более видами транспорта. В отличие от транспорта общего пользования карьерный транспорт работает в несоизмеримо более тяжелых условиях. Суть их состоит, во-первых, в том, что грузооборот каждого карьера по горной массе составляет многие десятки и сотни миллионов тонн в год и может быть обеспечен при исключительно высокой интенсивности движения.

Во-вторых, при односторонней направленности грузопотоков (из карьера до места разгрузки на поверхности) перемещение пород происходит при крутых подъемах транспортных коммуникаций. При этом значительная часть коммуникаций имеет временный характер, сооружается по облегченным требованиям, что резко ограничивает скорость движения транспорта. В-третьих, перемещаемые породы, как правило, характеризуются крупной кусковатостью, высокой плотностью и абразивностью, в связи с чем транспортные средства (вагоны, автосамосвалы) в процессе их загрузки подвергаются высоким ударным нагрузкам. Чтобы

выдерживать эти нагрузки, они должны иметь высокую механическую прочность. Наконец, серьезные осложнения в работу карьерного транспорта вносит периодическое переустройство временных транспортных коммуникаций на рабочих уступах и на отвалах, которые необходимо каждый раз переносить на новое место по мере перемещения фронта горных работ.

Каждый вид транспорта должен применяться в определенных, характерных для него условиях. В частности, автомобильный транспорт обеспечивает наиболее высокую эффективность перемещения пород в карьерах с небольшими размерами в плане и при коротком расстоянии перевозки. Этот вид транспорта является практически единственным видом сборочного (забойного) транспорта в его комбинации с железнодорожным, конвейерным и другими видами транспорта при отработке глубоких горизонтов карьеров. Железнодорожный транспорт целесообразно использовать в карьерах большой протяженности и при большом расстоянии транспортирования.

До середины прошлого века на карьерах СССР основной объем перевозок осуществлялся с помощью железнодорожного транспорта, который с годами оснащался все более мощными средствами тяги и думпкарами со все более высокой грузоподъемностью. Однако к настоящему времени стало ясно, что технологические параметры подвижного состава вплотную приблизились к предельным для себя величинам. В связи с этим железнодорожный транспорт возможно теперь эффективно использовать лишь в комплексе с экскаваторами, вместимость ковша которых не превышает 12–15 м^3. А это противоречит мировым тенденциям в экскаваторостроении и переоснащении экскаваторного парка крупных карьеров машинами с вместимостью ковша до 50–60 м^3. Поэтому доля железнодорожного транспорта в общем объеме перевозок будет постепенно снижаться.

Напротив, доля автомобильного транспорта на карьерах России и стран СНГ, которая к настоящему времени уже превысила 70% общего объема перевозок, будет и дальше возрастать, что объясняется его преимуществами — мобильностью, высокой маневренностью, взаимной независимостью работы автосамо-

свалов. Но, пожалуй, более важно, что пока практически не ограничивается возможность дальнейшего увеличения параметров автосамосвалов. К настоящему времени их грузоподъемность достигла 320–360 т, что позволяет использовать такие машины в комплексе с наиболее крупными экскаваторами, как из числа работающих на карьерах, так и находящихся в разработке.

Роль автомобильного транспорта уже в ближайшем будущем будет существенно возрастать в связи со все более широким применением комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта и циклично-поточной технологии горных работ (ЦПТ), которая в мировой практике признана приоритетной при отработке глубоких горизонтов карьеров.

Расширение области применения конвейерного транспорта на крупных карьерах также будет связано с развитием циклично-поточной технологии. В свою очередь, темпы развития ЦПТ и ее эффективность значительно возрастают при переходе на применение крутонаклонных конвейеров (КНК) с прижимной лентой. Полная конвейеризация карьерного транспорта при перемещении скальных пород возможна при условии применения полностью мобильных дробильно-перегрузочных комплексов.

Отвалообразование, несмотря на относительно невысокие затраты (10–15% общих затрат), является важнейшим звеном в технологической цепочке, от надежности которого зависит эффективность работы всего комплекса горно-транспортного оборудования карьеров.

Авторы выражают искреннюю благодарность горным инженерам Т.Г. Гавришевой и В.В. Филатову, а также студентам МГГУ Сергею Звереву и Ваге Чихачеву за неоценимую техническую помощь в подготовке рукописи к изданию.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА

1.1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ВИДЫ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Горные породы в карьерах перемещаются, как правило, с помощью *карьерного транспорта*, который представляет собой комплекс средств и устройств, включающий подвижной состав, транспортные коммуникации, средства управления, вспомогательное и иное оборудование.

В отдельных случаях перемещение пород производится в рабочих органах выемочных и выемочно-транспортирующих машин. В частности, при бестранспортной технологии вскрышных работ породы перемещаются в выработанное пространство в ковше экскаваторов (драглайнов или вскрышных механических лопат). Колесные погрузчики и скреперы перемещают породу также в своих ковшах. Перемещение породы для этих машин является важнейшей составляющей их рабочего цикла, включающего выемку породы, ее перемещение и разгрузку ковша.

Карьерный транспорт предназначен для обеспечения грузооборота карьеров. Основную часть *грузооборота* рудных карьеров и угольных разрезов составляют вскрышные породы и полезное ископаемое, объединяемые общим понятием *горная масса*. Весьма незначительная его часть представлена различного рода вспомогательными грузами (взрывчатые вещества, детали и узлы горных машин, материалы для строительства и ремонта транспортных коммуникаций, горюче-смазочные материалы и др.). Для их доставки чаще всего используются средства автомобильного транспорта. Перевозка людей от административно-бытовых

комбинатов до карьера и обратно производится, как правило, также автотранспортом.

Вскрышные породы с помощью карьерного транспорта доставляются от забоев выемочно-погрузочных машин до отвалов, а полезное ископаемое — либо до расположенных на промплощадке карьеров временных складов (например, уголь), либо до дробильных и обогатительных фабрик (руда). Если качество полезного ископаемого соответствует требованиям потребителей, то оно может из забоя отгружаться в автомобильный или железнодорожный транспорт с отправкой непосредственно в адрес потребителя.

В общем технологическом процессе карьерный транспорт является важнейшим связующим звеном между забоями в карьере и пунктами приема горной массы, от которого напрямую зависит эффективность работы выемочно-погрузочного, отвального и иного оборудования. Отказ в работе транспорта приводит к частичной, а иногда и к полной приостановке выемочно-погрузочных, отвальных и других работ в карьере. В общих затратах на разработку горных пород затраты, связанные с транспортированием, составляют до 45–50%, а иногда и до 60–70%.

Горная масса, поступающая от работающих в забоях карьера выемочно-погрузочных машин, по ходу ее перемещения сливается обычно в единый *грузопоток*, под которым понимается поток грузов, характеризуемый определенным направлением перемещения, объемом и качеством груза, а также длительностью функционирования. Вся горная масса может выдаваться из карьера одним грузопотоком по общим транспортным коммуникациям с его разделением на поверхности на грузопотоки вскрыши и полезного ископаемого. Но чаще вскрышные породы и полезное ископаемое объединяются в самостоятельные грузопотоки и выдаются на поверхность раздельно, особенно если они обслуживаются разными видами транспорта.

Основные особенности карьерного транспорта и предъявляемые к нему требования состоят в следующем:

– односторонняя направленность грузопотоков и большие объемы перемещаемой горной массы, достигающие десятки и сотни миллионов тонн в год, высокая интенсив-

ность движения; отсюда — необходимость обеспечения кратчайшего расстояния транспортирования;

- неоднородная, часто крупная кусковатость, абразивность и высокая плотность горных пород и связанные с этим высокие ударные нагрузки на транспортные средства при их загрузке; как следствие, транспортные средства должны обладать высокой механической прочностью, а их вместимость и грузоподъемность должны соответствовать параметрам и мощности выемочно-погрузочных машин;
- нестационарность пунктов погрузки и выгрузки горной массы и систематическое переустройство транспортных коммуникаций; отсюда — необходимость обеспечивать максимально возможную их стационарность, чтобы до минимума сократить объем работ и затраты на переустройство коммуникаций;
- жесткая зависимость технологических процессов от устойчивости работы транспорта; отсюда следует, что карьерный транспорт должен обладать высокой надежностью функционирования при любых внешних условиях.

На современных карьерах используются почти все известные виды транспорта. Наиболее широко применяются автомобильный, железнодорожный и конвейерный транспорт. В некоторых специфических условиях находят применение скиповые подъемники, канатно-подвесные дороги, гравитационный, трубопроводный гидро- и пневмотранспорт.

Автомобильный и железнодорожный транспорт относятся к транспорту *цикличного* действия, а конвейерный и трубопроводный — к транспорту *непрерывного* действия, обеспечивающему возможность реализации поточной технологии горных работ на всех этапах — от погрузки до складирования горных пород.

Каждый грузопоток может обслуживаться каким-либо одним видом транспорта (например, автомобильным или железнодорожным). Но в определенных условиях возникает необходимость на отдельных участках трассы грузопотока использовать различные виды транспорта, наиболее подходящие именно для этих участков. Таким образом, формируется *комбинированный транспорт* (автомобильно-железнодорожный, автомобильно-

конвейерный, автомобильно-гравитационно-железнодорожный и др.). При комбинированном транспорте необходимо сооружать перегрузочные пункты, на которых будет производиться перегрузка породы или полезного ископаемого с одного вида транспорта на другой.

К факторам, определяющим трудность транспортирования полускальных и скальных пород, относятся их кусковатость, плотность и абразивность. Трудность транспортирования мягких пород оценивается содержанием глинистых частиц и влажностью, вызывающих налипание породы к транспортным средствам, а также наружной температурой воздуха и продолжительностью транспортирования, которые в зимний период являются причиной примерзания налипшей породы.

Система транспортных коммуникаций карьеров всегда имеет выход на внешнюю транспортную сеть общего пользования. Через него осуществляется поставка добываемого полезного ископаемого потребителям, а на карьер доставляются оборудование и материалы, необходимые для обеспечения деятельности предприятия.

1.2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА

В 30-х годах прошлого столетия на карьеры России пришел *железнодорожный транспорт* с паровозной тягой и думпкарами грузоподъемностью 40 т, которые соответствовали параметрам применявшихся в тот период экскаваторов с вместимостью ковша до 3 м^3. В середине столетия на смену паровозной тяге пришли электровозы со сцепной массой до 150–180 т. Грузоподъемность думпкаров увеличилась до 60 т, и железнодорожный транспорт занял на карьерах доминирующее положение. К этому времени вместимость ковша экскаваторов увеличилась до 4–5 м^3 (ЭКГ-4), а затем и до 8 м^3 (ЭКГ-8). Переход на электровозную тягу значительно расширил возможности железнодорожного транспорта: поезда стали способны преодолевать более крутые подъемы, увеличилась полезная масса поезда, возросли провозная спо-

собность транспортных коммуникаций и надежность работы транспорта. Но одновременно с этим появилась необходимость в сооружении тяговых подстанций и контактных сетей. Возросли капитальные затраты и вместе с тем наличие контактной сети существенно осложнило путепереукладочные работы.

С 70-х годов на карьерах внедряются мощные дизель-электрические тяговые агрегаты со сцепной массой 360–370 т, сочетающие в себе преимущества электрической и тепловозной тяги. Их применение позволило значительно улучшить показатели работы транспорта по сравнению с электровозами. Грузоподъемность думпкаров увеличилась до 105–145 т и более, что соответствовало возросшей мощности экскаваторов, вместимость ковша которых достигла 12,5–15 м^3 (ЭКГ-12,5; ЭКГ-15).

К настоящему времени параметры существующих средств железнодорожного транспорта (локомотивы, вагоны) вплотную приблизились к предельно допустимым для них величинам. Вместе с тем современная мировая тенденция развития открытых горных работ состоит в переходе крупных карьеров на применение все более мощных экскаваторов с вместимостью ковша до 50–60 м^3. При этом практически исключается их использование в комплексе с железнодорожным транспортом, поскольку фактически уже исчерпаны возможности дальнейшего увеличения параметров думпкаров и локомотивов. И если в настоящее время железнодорожный транспорт как самостоятельный вид, так и в комбинации с другими видами транспорта еще продолжает сохранять заметное место в общем объеме перевозок горной массы, то уже в ближайшей перспективе его роль значительно снизится, а как самостоятельный вид транспорта он будет применяться лишь в отдельных случаях.

Широкое применение *автомобильного транспорта* на карьерах СССР началось с конца 50-х годов, когда заметно возросла глубина карьеров. К этому времени в Белоруссии было налажено производство отечественных большегрузных автосамосвалов. Первый из их ряда 25-тонный автосамосвал МАЗ-525 работал не только на карьерах СССР, но и поставлялся странам бывшего социалистического лагеря, в том числе на Кубу. С тех пор грузоподъемность автосамосвалов возросла

многократно. Белорусским автозаводом серийно выпускаются автосамосвалы грузоподъемностью до 120–220 т. В 2008 г. на угольные разрезы Кузбасса были поставлены первые образцы наиболее крупных в мире машин грузоподъемностью 320 т (БелАЗ-75600). Такие автосамосвалы позволяют формировать и эффективно использовать экскаваторно-автомобильные комплексы на основе самых мощных карьерных экскаваторов с ковшами вместимостью до 50–60 м^3.

Возрастающая глубина карьеров, которая доходит уже до 400–500 м и более, исключает возможность ввода железнодорожного транспорта на нижние горизонты. Это обстоятельство, наряду с увеличением мощности выемочно-погрузочного оборудования, предопределило возрастающую роль автомобильного транспорта, с помощью которого уже в настоящее время на карьерах России и стран СНГ перемещается свыше 70% объема горной массы. Анализ направлений дальнейшего развития карьерного транспорта показывает, что в перспективе, по крайней мере на 30–50 лет, альтернативы автомобильному транспорту не существует. Он и дальше будет развиваться как самостоятельный вид, так и особенно в комбинации с другими видами транспорта (железнодорожным, конвейерным), выполняя роль внутрикарьерного сборочного звена, обслуживающего забои экскаваторов.

Главным преимуществом *конвейерного транспорта* перед автомобильным и железнодорожным является возможность организации на его основе поточной технологии горных работ, характеризующейся высоким уровнем автоматизации работы оборудования и наиболее высокой производительностью. В СССР конвейерный транспорт впервые стали использовать в 40-х годах прошлого века на угольных разрезах Урала (разрезы им. Вахрушева и Коркинский) для подъема угля от забоев до расположенных на поверхности угольных складов. В 90-х годах его применили в КАТЭК для доставки угля из разреза «Березовский» до электростанции. Особенность этого вида транспорта состоит в том, что его можно использовать для перемещения только мягких и мелко раздробленных полускальных и скальных пород. Исключительно высокую эффективность горных работ

конвейерный транспорт обеспечивает в комплексе с многоковшовыми роторными или цепными экскаваторами с часовой производительностью до 10–15 тыс. $м^3$/ч и выше.

Однако в условиях российских карьеров возможности полной конвейеризации всей транспортной системы от забоев до отвала ограничены главным образом в связи с тем, что основная часть разрабатываемых пород характеризуется высокой прочностью и крупной кусковатостью. Их подготовка к выемке осуществляется с помощью буровзрывных работ, а размеры кусков при этом часто достигают 1,0–1,5 м и более. Конвейеры же позволяют транспортировать породу, если размер кусков не превышает 400–450 мм. Другое дело — это использование конвейеров в глубоких карьерах как подъемного звена при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте. С их включением в транспортную систему формируется так называемая *циклично-поточная технология* горных работ (ЦПТ), которая, как показывает практика, наиболее перспективна при разработке нижних горизонтов глубоких карьеров.

Специальные виды транспорта (скиповые и клетевые подъемники, рудоспуски и рудоскаты, канатные подвесные дороги и др.) применяются на карьерах в единичных случаях обычно как одно из звеньев комбинированного транспорта. Они используются, как правило, для подъема или спуска горной массы из карьеров на господствующий уровень поверхности, при сложном рельефе местности и при небольших по объему грузопотоках. И хотя они позволяют перемещать горную массу по кратчайшему расстоянию с углом подъема (спуска) до 45–90°, как в настоящее время, так и в перспективе эти виды транспорта будут иметь весьма ограниченное применение.

Выбор вида транспорта производится на основе технико-экономических расчетов применительно к условиям конкретного горного предприятия. При этом в первую очередь учитываются производственная мощность предприятия и объем перемещаемой горной массы, свойства пород, глубина и размеры карьера в плане, расстояние транспортирования, условия залегания полезного ископаемого и т.п.

Глава 2

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

2.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Областью применения автомобильного транспорта, как основного способа перемещения горных пород, являются преимущественно карьеры малой и средней мощности с грузооборотом до 25–30 млн т в год при ограниченных сроках существования и небольших размерах карьеров в плане. Его применяют при небольших расстояниях транспортирования, не превышающих обычно 3–5 км. Как самостоятельный вид автомобильный транспорт целесообразно применять при глубине карьеров не больше 200–250 м. В особых случаях, например при разработке кимберлитовых трубок, автотранспорт используют в карьерах глубиной до 500 м при увеличении расстояния транспортирования до 8–10 км и более (например, трубка «Удачная»).

Возможность успешного использования автотранспорта в карьерах с небольшими размерами в плане и относительно большой глубиной определяется способностью автомобилей преодолевать крутые подъемы при малых радиусах поворотов. За счет этого упрощается ввод автомобильного транспорта на нижние горизонты карьера и сокращается расстояние транспортирования до поверхности. А экономическая эффективность применения автотранспорта в карьерах с ограниченными мощностью и сроками существования определяется небольшими объемами капитальных вложений в их строительство и создание транспортной инфраструктуры. В частности, при небольшом грузообороте карьера и соответствующей ему ограниченной грузоподъемности автосамосвалов возможно ис-

пользовать автомобильные дороги с простейшим и недорогим покрытием.

Увеличение мощности и грузооборота карьеров, как правило, сопровождается увеличением мощности применяемого выемочно-погрузочного и транспортного оборудования в соответствии с рациональным соотношением вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала. Так, если на карьерах малой мощности с грузооборотом до 5–10 млн т в год целесообразно использовать автосамосвалы небольшой грузоподъемности — до 25–30 т, то при мощности карьеров 15–20 млн т в год необходимо применять автосамосвалы грузоподъемностью уже до 90–120 т. Наиболее крупные из строящихся в настоящее время автосамосвалов грузоподъемностью 220–320 т способны обслуживать самые мощные карьеры с грузооборотом до 100–120 млн т/год и более. На крупных карьерах при большой глубине разработки и комбинированном транспорте автосамосвалы используются обычно для доставки горной массы с нижних горизонтов от забоев экскаваторов к находящимся внутри карьера перегрузочным пунктам.

Автосамосвалы позволяют перевозить любые породы — от мягких и сыпучих до наиболее прочных, тяжелых и крупнокусковатых. Однако их производительность резко снижается с увеличением расстояния транспортирования. Поэтому автотранспорт эффективен при коротком расстоянии перевозки (для большинства автосамосвалов оно не превышает 2–3 км, и только для наиболее крупных машин допустимо расстояние до 4–5 км).

Основные достоинства автомобильного транспорта:

- автономность автосамосвалов, их высокая маневренность и взаимная независимость в работе, за счет чего коэффициент использования экскаваторов на погрузке достигает 0,7–0,8 и более, а их эксплуатационная производительность оказывается на 20–25% выше, чем при железнодорожном транспорте;
- малые радиусы разворота автосамосвалов (от 8,7 до 17,2 м) и преодолеваемые ими крутые подъемы (до 80–100‰

и более) позволяют обслуживать забои экскаваторов, работающих в самых сложных, стесненных условиях (в том числе при раздельной разработке сложноструктурных залежей), и в 2–3 раза сократить расстояние перемещения горных пород по внутренним съездам по сравнению с железнодорожным транспортом;

– более простая организация работы автосамосвалов и более низкие затраты на подготовку транспортных коммуникаций на временных участках трассы внутри карьеров и на отвалах.

К недостаткам автомобильного транспорта относятся: высокая стоимость перевозок (в 1,5–2 и более раз выше, чем при железнодорожном транспорте), связанная с высокими затратами на приобретение машин, на горюче-смазочные материалы, заработную плату водителей, резину и т.п.; зависимость от климатических условий — снижение эффективности и безопасности работы автосамосвалов в условиях интенсивных осадков, при обледенении дорог и плохой видимости; большие объемы загрязняющих атмосферу вредных выбросов, особенно при работе на нижних горизонтах глубоких карьеров при низкой эффективности их естественного проветривания.

Но преимущества автомобильного транспорта оказываются более весомыми, особенно в условиях углубления карьеров и грядущего перехода крупных карьеров на преимущественное применение мощных экскаваторов с большой вместимостью ковшей, которые могут работать только в комплексе с автосамосвалами с соответствующими грузоподъемностью и вместимостью кузова.

На угольных разрезах страны удельный вес автомобильного транспорта в общем объеме перемещаемой горной массы составляет около 55%, а на ряде крупнейших разрезов («Бачатский» в Кузбассе, «Нерюнгринский» в Якутии и др.) он доходит до 85–100%. На крупных рудных карьерах России (проектная глубина некоторых из них составляет до 600–800 м) уже в настоящее время автомобильным транспортом перемещается до 70% горной массы и более. На отдельных карьерах (Ковдорский ГОК, Михайловский ГОК, ОАО «Карельский окатыш» и др.)

годовой объем перевозок достигает 65–75 млн т при среднем расстоянии транспортирования от 1,1 до 3,2 км.

На карьерах по добыче строительных горных пород, большинство которых имеют ограниченный срок эксплуатации, небольшой грузооборот и небольшую глубину, автосамосвалы останутся практически единственным средством транспорта как в настоящее время, так и в перспективе.

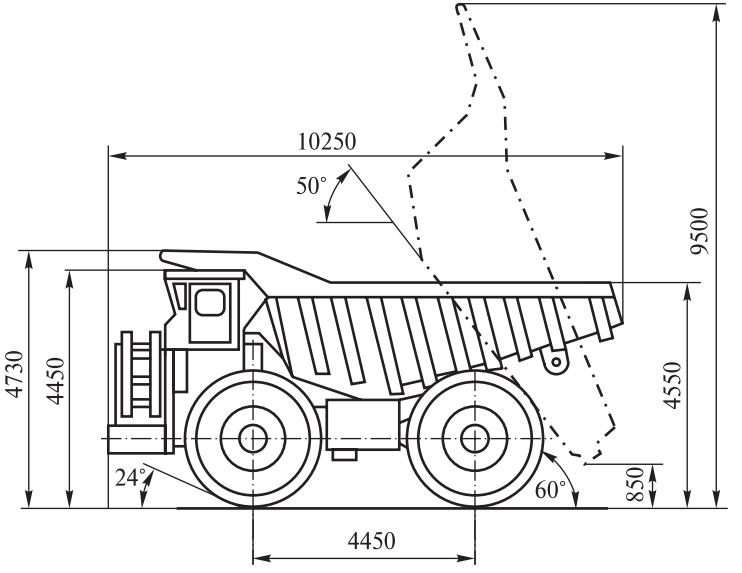
Применение автосамосвалов в качестве основного вида транспорта весьма эффективно в период строительства карьеров любой производственной мощности при выполнении горно-строительных работ, на проходке капитальных и разрезных траншей, особенно при сложной топографии поверхности.

2.2. ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В качестве средств технологического автомобильного транспорта на карьерах в настоящее время используются практически только *автосамосвалы* с задней разгрузкой кузова опрокидыванием и колесной формулой 4×2 (рис. 2.1) Первая цифра здесь обозначает общее количество колес машины, вторая — количество ведущих колес. Сравнительно небольшую часть автосамосвалов составляют машины с шарнирно-сочлененной рамой и колесной формулой 4×2 или 6×4, характеризующиеся небольшой грузоподъемностью, но более высокой маневренностью и способностью преодолевать более крутые подъемы. Эти машины (например, компании VOLVO) созданы для работы в особо сложных условиях погрузки, выгрузки и перевозки породы — при малых размерах площадок, плохом состоянии и сложном профиле дорог и др. (рис. 2.2, *а*). К средствам автомобильного транспорта относятся также *автопоезда*, представляющие собой тягачи с прицепом или полуприцепом (рис. 2.2, *б*).

На всех крупных карьерах России работают преимущественно автосамосвалы типа БелАЗ Белорусского автомобильного завода. Завод выпускает машины с широким диапазоном грузоподъемности — от 30 до 320 т. Первые образцы крупнейших в мире автосамосвалов БелАЗ-7560 грузоподъемностью

а



б

Рис. 2.1. Схема (*а*) и общий вид (*б*) автосамосвала БелАЗ

а

б

Рис. 2.2. Автосамосвал с шарнирно-сочлененной рамой (*а*) и автопоезд с прицепом (*б*)

320 т были поставлены на разрезы Кузбасса в 2008–2009 гг. (рис. 2.3). Техническая характеристика основных моделей машин, выпускаемых Белорусским автомобильным заводом, приведена в табл. 2.1. Машины БелАЗ отличаются достаточно высоким качеством изготовления при гарантийном пробеге до 600 тыс. км. Достоинства этих автосамосвалов — высокая прочность, простота конструктивных решений, сравнительно невысокие стоимость и эксплуатационные затраты.

На небольших карьерах, например на карьерах по добыче строительных горных пород, используются также самосвалы Минского, Могилевского и Кременчугского автозаводов (марки «МАЗ», «МоАЗ» и «КрАЗ») с ограниченной грузоподъемностью, составляющей от 8 до 25 т.

В последние 20–30 лет горными предприятиями России было закуплено значительное количество крупных автоса-

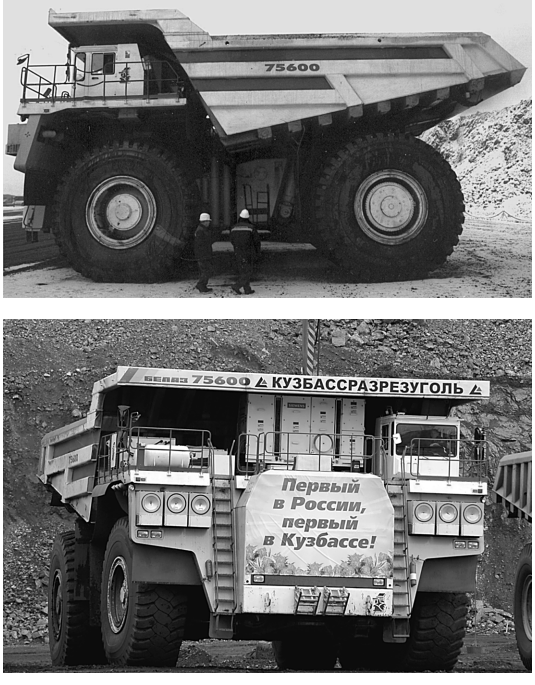


Рис. 2.3. Автосамосвал особо большой грузоподъемности БелАЗ-75600 (грузоподъемность 320 т): общий вид (*а*) и вид спереди (*б*)

Таблица 2.1

Техническая характеристика автосамосвалов БелАЗ

Модель автосамосвала	Грузоподъемность, т	Вместимость кузова (геометр.), $м^3$	Максимальная скорость, км/ч	Радиус поворота, м	Габариты, мм	Масса, т	Мощность двигателя, кВт	Тип трансмиссии
БелАЗ-7540А	30	15	50	8,7	7110×4360×3930	22,6	309	ГМТ
БелАЗ-7540Е	30	23,5	50	8,7	7160×4620×3900	Н/д	265	ГМТ
БелАЗ-7547	45	19,8	60	10,2	8090×4620×4390	33,1	368	ГМТ
БелАЗ-75474	45	22,7	60	10,2	3090×4620×4390	Н/д	448	ГМТ
БелАЗ-7555А	55	22	55	9,0	8890×5240×4610	40,7	537	ГМТ
БелАЗ-7555Е	60–65	28	55	9,0	8890×5240×4610	41,5	559	ГМТ
БелАЗ-75491	80	35	50	11	10300×5420×5350	72,5	750	ГМТ
БелАЗ-7514	120	47	48	13	11380×6150×5580	95	956	ГМТ
БелАЗ-75131	130	51	55	13	11500×6900×5720	107	1194	ЭМТ
БелАЗ-75215	180	92	40	15	13400×7780×6460	163	1691	ЭМТ
БелАЗ-75303	200	80	40	15	13360×7780×6520	152,7	1691	ЭМТ
БелАЗ-75306	220	92	40	15	13360×7780×6520	152,7	1691	ЭМТ
БелАЗ-75600	320	139	61	17,2	14900×9250×7220	240	2610	ЭМТ

Примечание. ГМТ — гидромеханическая трансмиссия; ЭМТ — электромеханическая трансмиссия с мотор-колесами.

мосвалов грузоподъемностью 110–220 т ряда зарубежных фирм — Komatsu, Caterpiller, Terex и др. (табл. 2.2). Опыт их эксплуатации показал, что эти машины обладают высокой надежностью и маневренностью, имеют более высокие скоростные характеристики при меньшем расходе топлива и более высокую производительность.

Большое разнообразие автосамосвалов, различающихся по грузоподъемности и другим эксплуатационным характеристикам, позволяет выбирать наиболее приемлемую модель машины для карьеров, оснащенных экскаваторами любой мощности, с любой вместимостью ковшей. И в ближайшем будущем (до 2020–2025 гг.) основным видом подвижного состава автомобильного транспорта останутся классические карьерные автосамосвалы с дизельным двигателем и колесной формулой 4×2. С их помощью на карьерах будет перемещаться порядка 75–80% горной массы при расстоянии транспортирования 2–5 км и высоте подъема породы 180–260 м.

Таблица 2.2

Техническая характеристика автосамосвалов некоторых зарубежных фирм-производителей

Модель автосамосвала	Грузоподъемность, т	Вместимость кузова «с шапкой», м^3	Максимальная скорость, км/ч	Масса, т	Мощность двигателя, кВт	Тип трансмиссии
Хитачи EH600	30,1	21	60	23,8	298	ГМТ
Комацу НД 325-7	36,5	24	70	31,6	386	ГМТ
Комацу НД 405-7	41	27,3	70	34,4	386	ГМТ
Катерпиллер 772	45	31,3	80	37,1	399	ГМТ
Катерпиллер 773F	54,4	35,6	68	45	524	ГМТ
Катерпиллер 775F	64	42,5	68	45,8	552	ГМТ
Терекс TR-100	91	57	48	67	783	ГМТ
Терекс MT 3300AC	136	90	64	113	1398	ЭМТ
Комацу 730E	186	111	56	140	1491	ЭМТ
Комацу 830E-AC	221	147	64	164	1865	ЭМТ
Хитачи EH 4500-2	254	159	56	198	2014	ЭМТ
Терекс MT 5500AC	326	218	64	217	2014	ЭМТ
Катерпиллер 797F	363	220	67	261	2828	ЭМТ

Вместе с тем в условиях непрерывно увеличивающейся стоимости нефтяного топлива и его грядущего дефицита разрабатываются и уже находят применение специализированные средства автотранспорта с меньшим расходом горючего. В частности, на ряде крупных зарубежных карьеров используются дизель-троллейвозы (рис. 2.4), которые создаются на базе современных автосамосвалов с мотор-колесами (каждое ведущее колесо таких машин получает вращение от индивидуального тягового электродвигателя, встроенного в колесо). На временных дорогах внутри карьера двигатели получают питание от дизель-генератора, а на постоянных — от внешней контактной сети через токоприемники. При работе дизель-троллейвозов расход дизельного топлива сокращается на 30–80%, возрастают скорость движения и производительность машин по сравнению с автосамосвалами, снижается объем вредных выбросов в атмосферу. Дизель-троллейвозы преодолевают более крутые подъемы, в результате чего сокращается расстояние транспортирования из карьера до поверхности.

В СССР первые попытки создания дизель-троллейвозов на Белорусском автозаводе относятся к середине прошлого века, а испытания первой машины грузоподъемностью 65 т проходили в 1960 г. на Красногорском угольном разрезе в Кузбассе.

Рис. 2.4. Дизель-троллейвоз

В 1986 г. два дизель-троллейвоза грузоподъемностью 110 т, изготовленных на базе автосамосвала БелАЗ-75195, проходили испытания на Соколовско-Сарбайском ГОКе. Результаты испытаний были положительными, но в последующие годы производство дизель-троллейвозов так и не было налажено. К этой проблеме на БелАЗе вернулись в конце 2000-х годов. Предполагается, что в будущем на Белорусском автозаводе может быть организован выпуск дизель-троллейвозов грузоподъемностью 136, 170, 220 и 320 т на базе автосамосвалов с электромеханической трансмиссией.

Перспективы применения дизель-троллейвозов, равно как и других средств электрифицированного мобильного транспорта (троллейвозы, троллейно-аккумуляторные самосвалы и др.), будут зависеть от соотношения стоимости жидкого топлива и электроэнергии. Анализ показывает, что в будущем, возможно, целесообразным окажется применение троллейвозов, получающих питание только от контактной сети.

Для транспортного обслуживания нижних горизонтов (сверхглубокие карьеры по добыче алмазов в Якутии с проектной глубиной до 600–750 м), когда площадь дна карьеров, определяемая поперечными размерами кимберлитовых трубок, снижается до 1–2 гектаров и для обычных автосамосвалов не остается площадок для маневрирования, предполагается создать и использовать самосвалы на гусеничном ходу. На ряде зарубежных фирм налажен выпуск гусеничных самосвалов грузоподъемностью до 15,5–20 т, предназначенных для перевозки грузов в условиях бездорожья. Такие машины способны преодолевать подъемы с углом до 30–34°, в результате чего резко снижается длина съездов. Они обладают высокой маневренностью, нетребовательны к состоянию дорог и могут работать в наиболее стесненных условиях. Однако опыта применения такого вида машин в мировой практике открытых горных работ пока нет.

Предлагаемый специалистами ИГД Уральского отделения РАН к созданию модельный ряд самосвалов на гусеничном ходу включает три типоразмера машин грузоподъемностью 20, 40 и 60 т, предназначенных для доставки горной массы с самых нижних уступов сверхглубоких карьеров до перегрузочных

пунктов. Предполагается, что машины будут оснащены резинометаллическими гусеницами, обеспечивающими надежное сцепление с грунтом, и будут иметь заднюю или боковую разгрузку (рис. 2.5). Самосвалы с кузовом, установленным на полноповоротной платформе, позволят исключить необходимость маневрирования машин при погрузке и разгрузке в стесненных условиях (рис. 2.6).

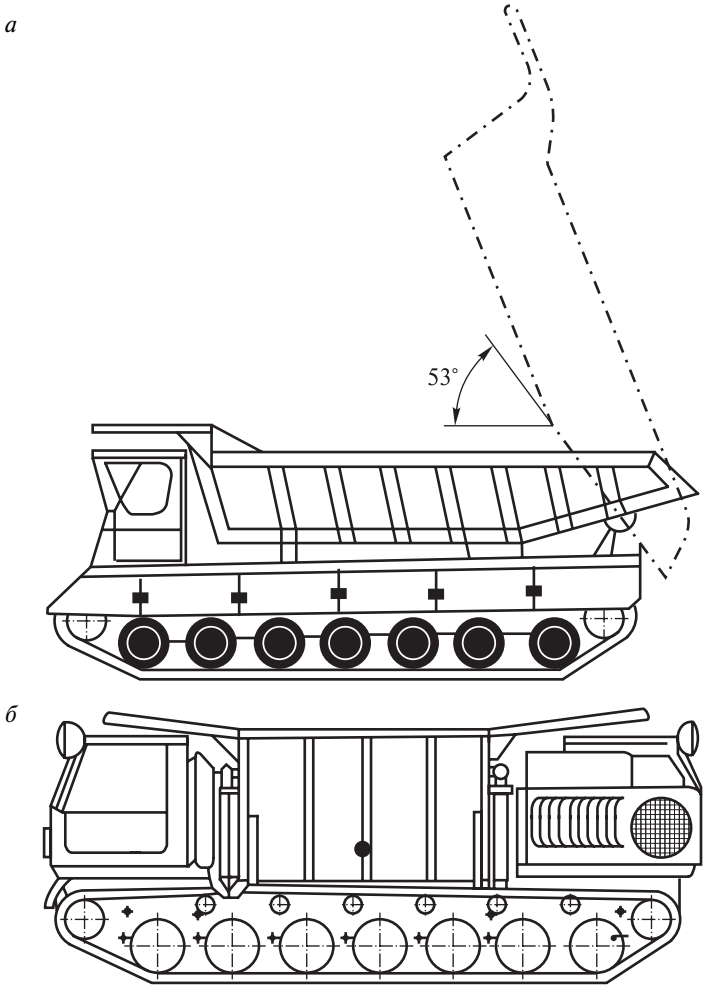


Рис. 2.5. Конструктивные схемы самосвалов на гусеничном ходу: с задней разгрузкой (*а*); самосвал-челнок с боковой разгрузкой (*б*)

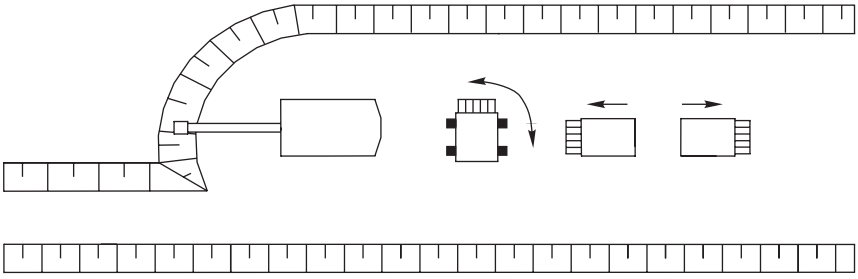


Рис. 2.6. Схема работы самосвала с полноповоротной платформой при погрузке породы в стесненных условиях

Высокие тягово-сцепные возможности при движении по крутым съездам, высокая маневренность и проходимость машин и низкое удельное давление на грунт могут стать залогом их эффективного применения не только в специфических условиях доработки глубоких кимберлитовых карьеров, но и в других сложных условиях, в частности при разработке месторождений нагорного типа.

Технологические параметры средств автомобильного транспорта включают: грузоподъемность, вместимость кузова, собственную массу машины (массу тары), скорость движения, радиус поворота и габариты машины.

Грузоподъемность ($q_а$) определяется наибольшей допустимой к перевозке массой груза, измеряемой в тоннах. Начиная с 50-х годов прошлого века грузоподъемность технологических автосамосвалов увеличилась в 27–30 раз — с 10–12 т до 320 т. В настоящее время на Белорусском автозаводе ведется подготовка к созданию сверхмощного автосамосвала грузоподъемностью 560 т. Увеличение грузоподъемности машин диктуется необходимостью увеличения их производительности и снижения затрат на перевозку породы. Анализ показывает, что с увеличением грузоподъемности с 100 до 150 т производительность автосамосвалов возрастает на 30–50%, а затраты снижаются на 20–25%.

В предыдущие годы темпы роста грузоподъемности поступающих на карьеры автосамосвалов значительно превышали прирост вместимости ковша карьерных экскаваторов. В результате возникли серьезные диспропорции в соотношении вместимости

ковша экскаваторов и грузоподъемности автосамосвалов. Эти диспропорции в перспективе будут устранены, когда корпорация «ОМЗ» реализует программу выпуска крупных экскаваторов с вместимостью ковша до 50–60 м^3.

Различают *геометрическую вместимость кузова* ($V_а$) и вместимость кузова «*с шапкой*», которая превышает геометрическую вместимость на 20% и более. Геометрическая вместимость кузова должна обеспечивать максимальное использование грузоподъемности автосамосвала (при насыпной плотности пород 1,5–1,7 т/м^3 для машин малой и средней грузоподъемности и 2,0–2,5 т/м^3 для большегрузных машин). Вместимость кузова автосамосвалов, предназначенных для перевозки более легких пород, например угля, устанавливается, исходя из их насыпной плотности 1,1–1,3 т/м^3. Так, у автосамосвалов БелАЗ-7555Д грузоподъемностью 55 т вместимость кузова составляет 50 м^3 («с шапкой» — 58 м^3).

При формировании экскаваторно-автомобильных комплексов обычно принимается, что кузов автосамосвала должен вмещать от 3 до 5 ковшей экскаватора. Для автосамосвалов большой грузоподъемности (свыше 110–120 т) это соотношение может составлять до 1:6–1:7. Если исходить из наиболее широко используемого соотношения 1:3–1:4, то при указанной выше насыпной плотности пород соотношение грузоподъемности автосамосвалов и вместимости ковша экскаватора в комплексе должно составлять:

Вместимость ковша экскаватора, м^3	5–8	10–12	15–20	21–30	31–40	41–50	>50
Грузоподъемность автосамосвала, т	25–45	60–85	100–160	170–220	220–280	280–320	320 и выше

Масса тары ($q_т$) — это собственная масса автосамосвала.

Коэффициент тары ($k_т$) определяется как отношение собственной массы автосамосвала к его грузоподъемности ($k_т = q_т/q_а$). Величина $k_т$ снижается с увеличением грузоподъемности машин: для автосамосвалов грузоподъемностью до 20 т и менее величина $k_т$ составляет 0,9–0,95, а при грузоподъемности

320 т коэффициент тары снижается до 0,75. Другими словами, со снижением $k_т$ уменьшается количество металла, перевозимого автосамосвалом, в расчете на 1 т полезного груза.

Максимальная скорость движения ($v_а$) для различных моделей автосамосвалов составляет от 40 до 60 км/ч, а эксплуатационная скорость зависит от условий движения (качество дороги, ее профиль, нагрузка на автомобиль и др.).

Радиус поворота ($R_а$) определяется по отпечатку переднего наружного колеса и в зависимости от грузоподъемности автосамосвалов изменяется от 8,7 до 17,2 м. Чем меньше радиус поворота, тем выше маневренность автосамосвалов и меньше требуемые для их разворотов размеры площадок.

Габариты машин. От ширины автосамосвалов зависит ширина проезжей части автомобильной дороги и ширина транспортной полосы (транспортной бермы), а их высота предопределяет необходимую высоту разгрузки выемочных машин. Особенно это важно при работе автосамосвалов в комплексе с одноковшовыми погрузчиками, имеющими ограниченную высоту разгрузки.

2.3. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

Все автомобильные дороги карьеров подразделяются на *технологические* (производственные) и *хозяйственные.* Дороги хозяйственного назначения связывают карьер с объектами инфраструктуры на поверхности (административно-бытовые комбинаты, механические цеха и др.) или связывают эти объекты между собой. Они необходимы для перевозки различного рода хозяйственных грузов (взрывчатые материалы, запасные части и др.) и для перевозки людей.

Технологические карьерные дороги, по которым перевозятся вскрышные породы и полезное ископаемое, делятся на *постоянные* (стационарные) и *временные.* Постоянные дороги строятся на стационарных участках трассы — на поверхности от карьера до места доставки горной массы (склад полезного ископаемого, обогатительная фабрика, породный отвал) и в капитальных съездах в карьере. Эти дороги служат на протяжении всего срока эксплуатации карьера или достаточно длительного отрезка време-

ни (8–10 и более лет) и поэтому должны иметь высокое качество дорожного покрытия. Временные дороги предназначены для движения автотранспорта на рабочих уступах, временных съездах и отвалах. Эти дороги переносятся вслед за перемещением фронта горных работ и служат короткое время, соответствующее, например, времени отработки экскаваторной заходки. В устойчивых скальных породах они не имеют нижнего основания и дорожного покрытия. Сооружение временных дорог сводится к тому, что на поверхности рабочей площадки уступа или поверхности отвала с помощью бульдозеров производится планировка полосы шириной, необходимой для движения автосамосвалов, с подсыпкой при необходимости выравнивающего слоя толщиной 20–30 см. При недостаточной несущей способности пород (особенно в весенне-осенний период) толщину слоя подсыпки из щебня или дробленой породы увеличивают до 50 см.

Карьерные автомобильные дороги характеризуются *грузонапряженностью*, т.е. количеством провозимого по участку дороги груза (в тоннах) в единицу времени, *расчетной скоростью* и *интенсивностью движения* автосамосвалов. Параметры дороги должны соответствовать массе и габаритам машин. По этим показателям выбирают категорию дороги и тип дорожного покрытия. Постоянные дороги *I категории* имеют асфальтобетонные или цементобетонное покрытие или прочное покрытие из щебеночных и гравийных материалов с их обработкой жидкими вяжущими органическими веществами. Дороги I категории строятся при грузонапряженности свыше 15 млн т в год и при использовании большегрузных автосамосвалов. К ним относятся магистральные дороги на поверхности и в капитальных траншеях. Постоянные дороги *II категории* сооружаются на съездах внутри карьеров, на заездах на отвалы, иногда на поверхности отвалов. Они используются обычно в течение 8–10 лет. В качестве материалов для покрытия на таких дорогах используют щебень (фракции 20–70 мм), мелкораздробленные скальные породы, отходы обогащения и другие местные материалы иногда с обработкой вяжущими органическими веществами. Временные дороги на уступах и отвалах, не имеющие покрытия, относятся к дорогам *III категории*.

Средняя расчетная скорость движения автосамосвалов по дорогам I категории составляет до 30–40 км/ч и выше, по дорогам II категории — 15–25 км/ч, а на уступах и отвалах по временным дорогам III категории — 10–15 км/ч.

Главным параметром автомобильной дороги является *ширина проезжей части* ($Ш_{п.ч}$), которая зависит от габаритов подвижного состава и количества полос движения (рис. 2.7). При двухполосном встречном движении ширину проезжей части возможно определить по выражению

$$Ш_{п.ч} = 2B_a k_v + \Delta Ш, \qquad (2.1)$$

где B_a — ширина автомобиля, м; k_v — коэффициент, учитывающий скорость движения (при скорости 20–30 км/ч k_v = 1,6–1,9); $\Delta Ш$ — величина, учитывающая габариты автомобиля, м (для

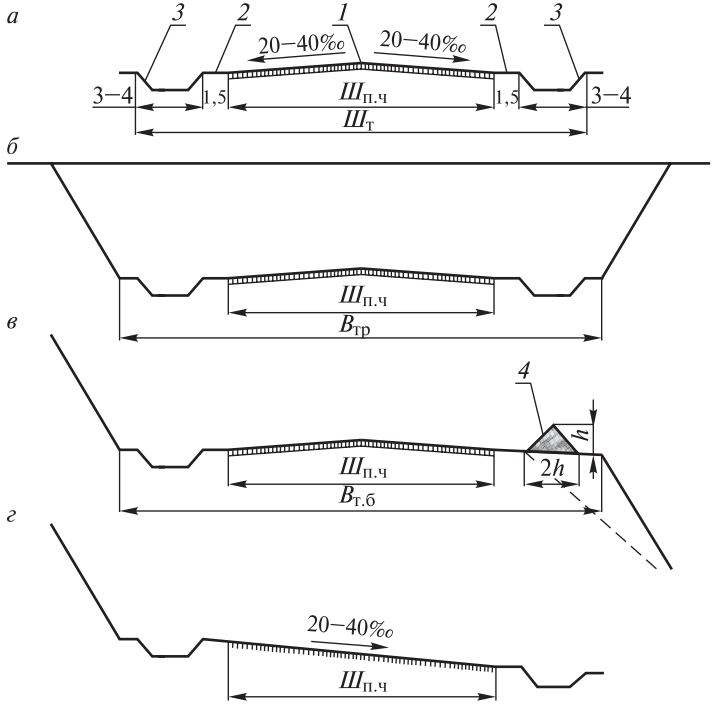


Рис. 2.7. Профиль автомобильных дорог:

а — на поверхности; *б* — в траншее; *в* — на транспортной берме; *г* — на кривой; *1* — проезжая часть; *2* — обочина; *3* — кюветы; *4* — предохранительный вал

автосамосвалов грузоподъемностью 30, 40, 75, 110, 180 т равна соответственно 1; 1,3; 2,3; 3,9; 5,4 м).

Нормативные значения $Ш_{п.ч}$ постоянных дорог для автосамосвалов различной грузоподъемности при одностороннем и двустороннем движении приведены ниже.

Грузоподъемность автосамосвалов, т.	27–30	40–45	75–80	100–130	170–220
Ширина проезжей части $Ш_{п.ч}$, м:					
при одностороннем движении.	5,5	6–6,5	7–7,5	8–8,5	10–11
при двустороннем движении.	16	17,5	21,5	26	29

Графическая зависимость ширины проезжей части двухполосной дороги от грузоподъемности автосамосвалов (рис. 2.8) показывает, что для автосамосвалов грузоподъемностью 320 т ширина должна составлять 33–35 м. Например, на Бачатском угольном разрезе в Кузбассе, куда поступили первые автосамосвалы БелАЗ-75600, ширину проезжей части дорог увеличили до 32 м.

На криволинейных участках дорог для повышения безопасности движения ширина проезжей части увеличивается за

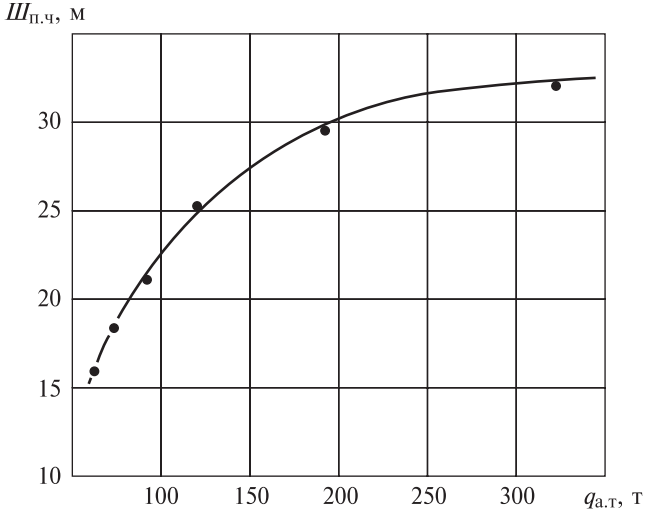


Рис. 2.8. Зависимость ширины проезжей части автомобильной дороги от грузоподъемности автосамосвала

счет сокращения ширины обочин. Уширение дороги зависит от радиуса кривой:

Радиус кривой, м	15–20	30–50	100–250	>250
Уширение проезжей части, м	2,1–1,4	1,4–1,1	0,8–0,5	0,5–0,3

На временных дорогах уширение проезжей части на кривых не предусматривается, несмотря на принимаемые здесь минимальные радиусы поворотов.

Для обеспечения стока воды поперечный профиль проезжей части на прямолинейных участках дорог делается двухскатным (см. рис. 2.7) с поперечным уклоном 20–40‰ в обе стороны. На поворотах с радиусом менее 200 м дорога строится односкатной с уклоном внутрь кривой, что предотвращает опасность опрокидывания автосамосвалов.

Проезжая часть дорог, сооружаемых внутри карьера на транспортных бермах, должна быть ограждена от призмы возможного обрушения породным валом высотой не менее половины диаметра колеса самого большого по грузоподъемности автосамосвала из находящихся в эксплуатации на карьере. Внутренняя бровка вала должна проходить по границе призмы обрушения (рис. 2.7, *в*).

Трассой автодороги называется условная линия, определяющая положение оси дороги в пространстве. Проекция трассы на вертикальную плоскость — это есть *продольный профиль трассы*, а на горизонтальную — *план трассы*. Продольный профиль состоит из горизонтальных и наклонных участков (подъемы или уклоны — в зависимости от направления движения). Величина подъема (i) измеряется тангенсом угла наклона дороги (I). Поскольку угол наклона дороги невелик, то длину наклонного участка можно считать равной его горизонтальному заложению, т.е. $L = L_г$ (рис. 2.9). Тогда

$$i = \operatorname{tg} I = \frac{h}{L_г} \approx \frac{h}{L}, \qquad (2.2)$$

где h — перепад высоты, м.

Количественно величина подъема (i) измеряется в тысячных долях и обозначается знаком «‰». Она показывает высоту подъема или спуска (в метрах) на 1 км дороги. Например, при $i = 70$‰ подъем составит 70 м на 1 км пути.

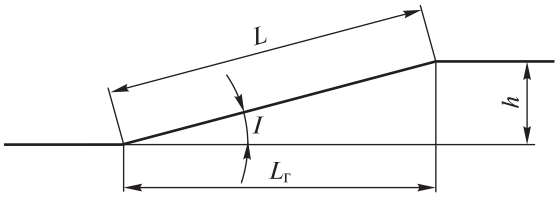


Рис. 2.9. Параметры наклонного участка автодороги:
I — угол наклона (град); L — длина наклонного участка; $L_г$ — его горизонтальное заложение; h — высота подъема

Величина подъема i является важнейшей характеристикой автодороги. С его увеличением сокращается расстояние транспортирования, уменьшаются длина и объем наклонных горных выработок (траншей, съездов) и время выполнения работ по их строительству. Но одновременно снижается скорость движения автосамосвалов и пропускная способность дороги, а также безопасность движения. Обычно величина подъемов на постоянных автомобильных дорогах составляет 70–80‰. И лишь на отдельных участках, в основном при движении в порожняковом направлении, увеличивается до 100–120‰. На затяжных подъемах при величине $i > 60$‰ через каждые 600 м устраивают участки со смягченным до 20‰ подъемом длиной не менее 50 м. На временных дорогах величина подъема принимается обычно равной не более 60–80‰.

План трассы состоит из прямолинейных участков, соединенных кривыми. Радиусы кривых на постоянных дорогах должны обеспечивать безопасное движение машин с расчетной скоростью. Более высокой скорости движения должен соответствовать больший радиус кривой (табл. 2.3).

На временных дорогах при ограниченной скорости движения радиусы кривых в зависимости от грузоподъемности автосамосвалов составляют:

Грузоподъемность автосамосвалов, т. .	25–30	40–80	110–120	170–180
Временные дороги, м.	12–15	12–20	17–20	20–25
Петлевые заезды под погрузку, м. . . .	10–11	12–14	14–15	18–20

Трасса автомобильных дорог внутри карьера формируется в соответствии с глубиной и размерами карьера в плане и имеет, как правило, сложную форму. В вытянутых в плане карьерах при расположении временных съездов на рабочем бор-

Таблица 2.3

Зависимость радиуса кривых от скорости движения

Показатели	Скорость движения, км/ч		
	50	40	30
Радиусы кривых, м:			
минимально допустимый	100	60	30
рекомендуемый	200	100	60

ту обычно используется *петлевая* форма трассы (рис. 2.10, *а*). Для глубоких карьеров округлой формы (например, карьеры по разработке алмазных трубок) характерна *спиральная* форма трассы (рис. 2.10, *б*). Нередко используется комбинация различных форм трассы, например петлевой и спиральной. При петлевой трассе автосамосвалы постоянно меняют направление движения и на поворотах снижают скорость. Спиральную трассу машины проходят, не меняя направления, при более высокой скорости движения, за счет чего возрастает производительность автосамосвалов. Трасса при ее расположении на рабочем борту карьера не стационарна и перемещается в пространстве вместе с перемещением фронта горных работ.

При расположении автомобильных съездов на нерабочем борту карьеров (например, на почве залежи при разработке наклонных месторождений со сравнительно небольшим углом падения) или на косогоре могут применяться стационарные петлевые трассы в виде *серпантина* с размещением поворотных площадок в выемке косогора, на насыпи или в полувыемке и полунасыпи.

Теоретическая длина трассы автомобильной дороги внутри карьера определяется разностью ее высотных отметок и принятой величиной подъема:

$$L_{\text{т}} = \frac{H_{\text{н}} - H_{\text{к}}}{i} = \frac{H}{i}, \qquad (2.3)$$

где $H_{\text{н}}$ и $H_{\text{к}}$ — абсолютные высотные отметки начала и конца трассы, м; H — разность высотных отметок, м; i — величина подъема в тысячных долях.

Действительная длина трассы всегда больше теоретической за счет уменьшения величины подъема на поворотах и на участках

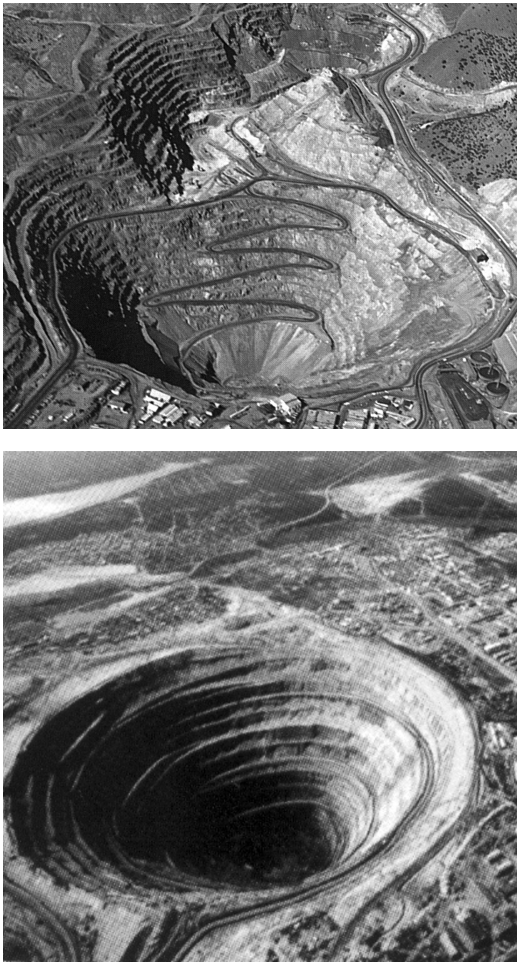


Рис. 2.10. Петлевая (*а*) и спиральная (*б*) формы трассы автомобильных дорог в карьерах

примыкания наклонных съездов к горизонтальным рабочим площадкам уступов:

$$L_{\text{д}} = \frac{H}{i} K_{\text{у}}, \qquad (2.4)$$

где $K_{\text{у}}$ — коэффициент удлинения трассы.

При петлевой форме трассы величина $K_{\text{у}}$ изменяется от 1,1 до 1,7 в зависимости от места расположения съездов и способа

их примыкания к рабочим горизонтам, а для спиральных трасс составляет от 1,04 до 1,15.

Общая протяженность автомобильных дорог на каждом карьере или угольном разрезе достигает иногда 80–100 км.

Содержание автодорог. Для обеспечения безопасности движения и повышения надежности работы автотранспорта автомобильные дороги необходимо постоянно поддерживать в хорошем рабочем состоянии. Появляющиеся на дорожном покрытии и земляном полотне повреждения должны своевременно исправляться, чтобы предотвратить их дальнейшее развитие. Работы по текущему ремонту дорог выполняются в течение всего года. Средний и капитальный ремонт производится периодически по мере износа дорог с использованием специальной дорожно-строительной техники (рис. 2.11). Текущий уход за временными и постоянными дорогами включает работу по их очистке от осыпающихся из кузовов автосамосвалов кусков породы, которая может выполняться с помощью колесных бульдозеров, колесных погрузчиков, автогрейдеров (рис. 2.12) и др. Эту же технику используют для очистки дорог от грязи в осенне-весенний период и от снега зимой. В периоды сильных снегопадов и заносов для расчистки дорог могут использоваться роторные снегоочистители.

Весьма опасно обледенение дорог, особенно на наклонных участках. При борьбе с этим явлением необходимо производить посыпку поверхности дороги песком, шлаком, мелко раздробленной породой и другими подобными материалами или ее обработку химическими реагентами. При сильном обледенении

Рис. 2.11. Капитальный ремонт автомобильной дороги

а

б

Рис. 2.12. Автогрейдер: общий вид (*а*) и работа по зачистке автомобильной дороги (*б*)

можно применить обработку поверхности дороги струей раскаленных газов от установленного на автомобиле авиационного реактивного двигателя, отработавшего свой ресурс.

Для борьбы с пылью применяется орошение дорог с помощью поливочных машин. В жаркие летние дни, когда вода быстро испаряется с поверхности дороги, более приемлема обработка дорог реагентами, обеспечивающими увлажнение в течение длительного времени.

2.4. ПРОПУСКНАЯ И ПРОВОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Под *пропускной способностью* (N) понимается количество машин, которые проходят в одном (грузовом) направлении через определенное сечение дороги в единицу времени:

$$N = \frac{1000vK_{н}}{S}, \text{ машин/ч}, \qquad (2.5)$$

где v — расчетная скорость движения, км/ч; $K_{н}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность движения машин ($K_{н}$ = 0,5–0,8); S — интервал между машинами, м.

Безопасный интервал между движущимися в одном направлении машинами зависит прежде всего от их скорости и состояния дорожного покрытия и определяется по формуле

$$S \geq a + l_{а} + t_{р.в}v + L_{т}, \qquad (2.6)$$

где a — минимально допустимое расстояние между машинами при их остановке (a = 3 м); $l_{а}$ — длина автомобиля, м; $t_{р.в}$ — время реакции водителя и приведения в действие тормозов ($t_{р.в}$ = 0,5–1 с); v — скорость движения автомобиля, м/с; $L_{т}$ — длина тормозного пути, м.

Длина тормозного пути в случае экстренного торможения может быть определена по формуле

$$L_{т} = \frac{3,9(1 + \gamma_{н})v^{2}}{1000\psi + \omega_{о} \pm i}, \text{ м}, \qquad (2.7)$$

где $\gamma_{н}$ — насыпная плотность породы в кузове, т/м^{3}; v — скорость движения, км/ч; ψ — коэффициент сцепления колес с дорогой при торможении; $\omega_{о}$ — основное удельное сопротивление движению автомобиля, Н/кН; i — величина подъема (уклона), ‰.

Значения основного удельного сопротивления движению автомобиля и коэффициента сцепления его колес с дорогой зависят от типа и состояния дорожного покрытия (табл.2.4).

Длина тормозного пути должна быть не меньше минимального расстояния видимости (20 м). Если расстояние видимости меньше 20 м (туман, снегопад и т.п.), движение автомобилей не допускается. При движении автосамосвалов по горизонтальным прямолинейным участкам дорог в условиях хорошей видимости и при нормальном состоянии дороги интервал между ними должен быть не менее 50–75 м.

Провозная способность дороги (M) — это количество груза, которое перевозится по дороге в единицу времени:

Таблица 2.4

Значения основного удельного сопротивления движению и коэффициента сцепления колес с дорогой

Тип дороги	Основное сопротивление движению, Н/кН	Коэффициент сцепления при различном состоянии дорожного покрытия		
		Сухое	Мокрое	Загрязненное
Постоянные:				
асфальтобетонное и бетонное покрытие	15–20	0,7	0,45	0,3
асфальтовое покрытие	15–20	0,7	0,4	0,25
щебеночное покрытие с поверхностной обработкой	30–45	0,57–0,75	0,43–0,55	0,4
Временные:				
забойные укатанные	50–80	0,6	0,4–0,5	–
отвальные укатанные	до 150	0,4–0,58	0,2–0,34	–

Примечание. На дорогах, покрытых снегом, коэффициент сцепления снижается до 0,2–0,3; при гололеде — до 0,15–0,2.

$$M = q_a N, \text{ т/ч}, \tag{2.8}$$

где q_a — грузоподъемность машины, т.

Провозная способность дороги должна соответствовать мощности грузопотока данного направления и иметь при этом необходимый резерв.

2.5. РАБОТА ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Автомобильный транспорт на карьерах в подавляющем большинстве случаев работает в комплексе с карьерными экскаваторами типа ЭКГ. Погрузка горной массы в средства автомобильного транспорта может осуществляться также с помощью одноковшовых колесных погрузчиков и драглайнов.

Высокая мобильность автомобильного транспорта позволяет обеспечить работу экскаваторов с высоким коэффициентом использования рабочего времени (0,7–0,8 и более). В значительной мере это зависит от схемы подачи машин под погрузку

к экскаватору, обычно осуществляющему выемку породы или полезного ископаемого торцовым забоем. Существует множество вариантов схем. В зависимости от вида выполняемых автосамосвалами маневров все они могут быть разделены на три группы — *сквозные*, *петлевые* и *тупиковые схемы*.

Суть сквозных схем (рис. 2.13, *а*), которые могут быть реализованы при наличии двух выездов с уступа, состоит в том, что автосамосвалы после погрузки продолжают движение в прежнем направлении. Это позволяет поставить порожний автосамосвал в непосредственной близости от автосамосвала, находящегося под погрузкой, и подать его к экскаватору раньше, чем тот завершит свой цикл, а значит, до минимума сократить время обмена. Сквозные схемы могут применяться при любой ширине рабочих площадок.

Схемы с петлевым и тупиковым разворотом автосамосвалов (рис. 2.13, *б*, *в*) используются обычно при одном выезде с уступа и встречном движении груженых и порожних автосамосвалов. Более предпочтительны петлевые схемы, при которых исключается движение автосамосвалов задним ходом, возможно применять при ширине площадки, достаточной для разворота автосамосвалов. Тупиковые схемы используются обычно в стесненных условиях узких площадок или при проходке траншей.

При сквозных и петлевых схемах время обмена сопоставимо с длительностью цикла экскаватора, в результате чего обеспечивается возможность практически непрерывной и высокопроизводительной его работы. При тупиковых схемах время обмена возрастает, и экскаваторы вынуждены какое-то время простаивать в ожидании подачи порожнего автосамосвала. Это приводит к снижению их производительности. Снизить потери времени можно, если использовать спаренную двустороннюю подачу автосамосвалов (рис. 2.14). Тогда за время загрузки одного автосамосвала другой, выполнив необходимые маневры, успевает встать под погрузку.

Независимо от схемы обмена при погрузке должно выполняться непременное условие: ковш экскаватора никогда не должен проходить над кабиной водителя автосамосвала, а загрузка

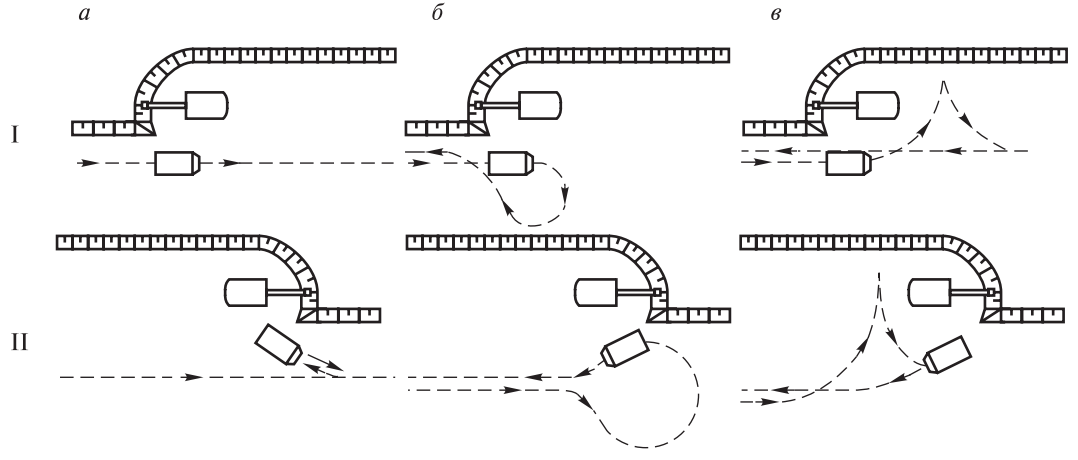


Рис. 2.13. Схемы подачи автосамосвалов под погрузку:

I и II — при непопутном и попутном движении автосамосвалов по отношению к направлению перемещения экскаватора; *а*, *б*, *в* — соответственно сквозные, петлевые и тупиковые схемы подачи

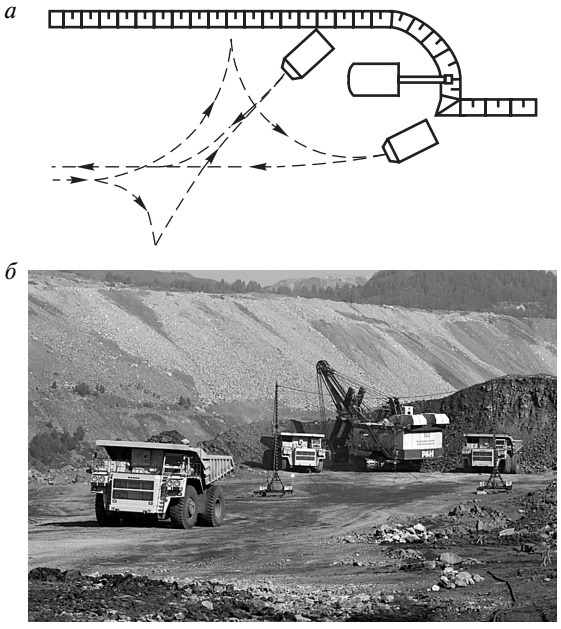


Рис. 2.14. Схема (*а*) и общий вид (*б*) спаренной двусторонней подачи автосамосвалов под погрузку

кузова должна производиться только сзади или сбоку. Как при петлевых, так и особенно при тупиковых схемах желательно, чтобы все маневры выполнялись порожним автосамосвалом. Автосамосвал при этом должен быть установлен так, чтобы обеспечить минимальный угол поворота экскаватора на разгрузку, что позволяет сократить длительность цикла и время загрузки машины. Расстояние передвижения задним ходом при маневрах обычно не должно превышать 30 м. Высота падения породы из ковша в кузов должна быть не более 3 м.

Водители автотранспортных средств при погрузке должны подчиняться сигналам машиниста экскаватора.

При работе автосамосвалов в комплексе с одноковшовыми погрузчиками маневровые операции совершает как автосамосвал, так и сам погрузчик. Автосамосвалы подаются к погрузчику с петлевым (если позволяют размеры площадки) либо с тупиковым разворотом и устанавливаются вблизи забоя, сбоку от погрузчика под углом 10–20° к линии откоса уступа (рис. 2.15, *а*). В процессе

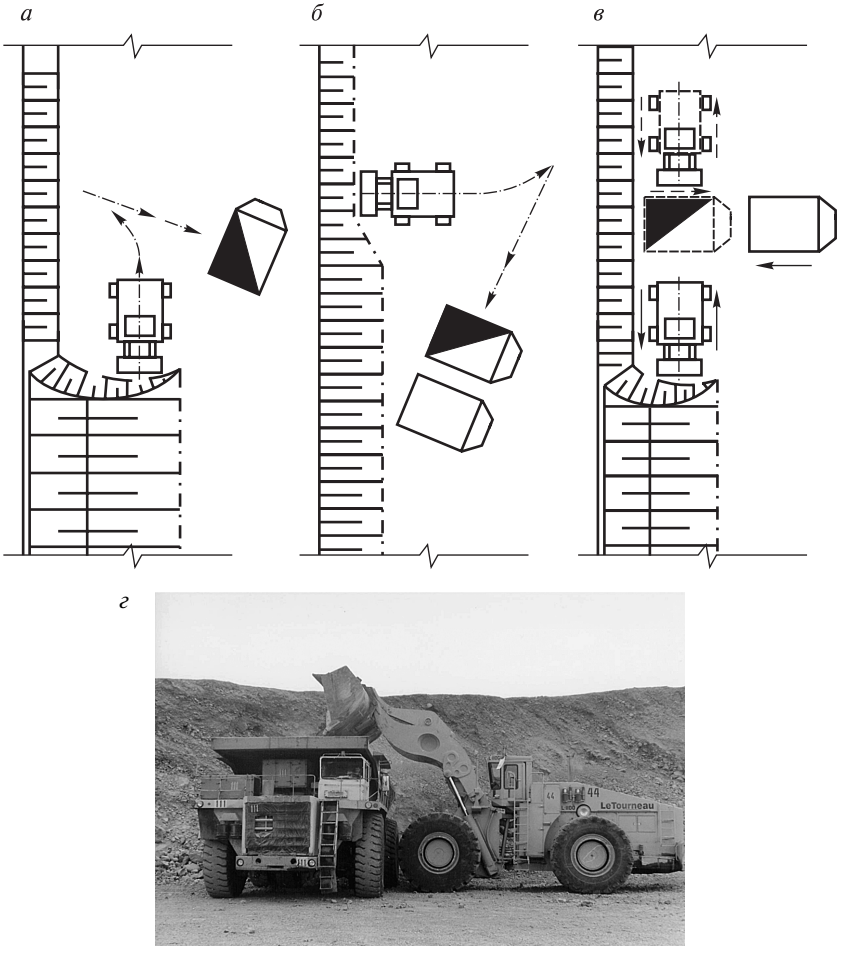


Рис. 2.15. Схемы подачи автосамосвалов к колесному погрузчику (*а*, *б*, *в*) и погрузка породы в автосамосвал (*г*)

погрузки автосамосвал стоит на месте, а погрузчик, заполнив ковш, отъезжает задним ходом от забоя, разворачивается и, подъехав к автосамосвалу сбоку, поднимает ковш и разгружает его в кузов автосамосвала. При такой схеме может осуществляться спаренная подача автосамосвалов (рис. 2.15, *б*).

В узких заходках, когда недостаточно места для разворота погрузчика, возможно использовать схему с челночным движе-

нием автосамосвала и погрузчика (рис. 2.15, *в*). Автосамосвал при этом устанавливается позади погрузчика, за пределами заходки. Погрузчик после заполнения ковша отъезжает задним ходом от забоя на расстояние 8–10 м, а автосамосвал подается назад, ближе к откосу уступа, после чего погрузчик подъезжает к автосамосвалу сбоку и разгружается (рис. 2.15, *г*). Затем автосамосвал отъезжает на прежнее место, а погрузчик направляется к забою, и цикл повторяется.

При работе автосамосвалов в комплексе с погрузчиками должны выполняться те же требования безопасности и меры по обеспечению высокой производительности погрузчиков, что и при экскаваторной погрузке.

Работа экскаваторно-автомобильных комплексов может быть организована с закреплением в течение смены определенного количества автосамосвалов за каждым конкретным экскаватором по так называемому *закрытому циклу*. Или по *открытому циклу* с подачей порожних автосамосвалов к тем экскаваторам, которые в данный момент свободны или возле которых наименьшая очередь из ожидающих погрузки машин. При более простом в плане организации работы «закрытом цикле» создаются условия для хорошего взаимопонимания и слаженной работы экскаваторной бригады и водителей и для оптимизации скоростного режима автосамосвалов, передвигающихся по хорошо изученной дороге. Однако возникновение каких-либо неполадок в работе экскаватора или обслуживающих его машин неизбежно приводит к их простоям и снижению эффективности работы комплекса.

«Открытый цикл» обеспечивает гибкое распределение автосамосвалов по забоям в соответствии с готовностью экскаваторов. В этом случае, например, возможно полностью исключить простои машин под экскаватором, если он по тем или иным причинам временно остановил работу. Или, наоборот, исключаются простои экскаватора, если выходит из строя то или иное количество обслуживающих его автосамосвалов. Организация работы по «открытому циклу» более сложна, но современные средства и системы автоматизации управления

позволяют при этом обеспечить эффективную работу экскаваторов и автосамосвалов.

Системы управления включают бортовые контроллеры, устанавливаемые на экскаваторах и автосамосвалах, которые фиксируют, обрабатывают и передают информацию средствами радиосвязи в диспетчерский центр. На основе этой информации здесь с использованием специального модуля в автоматическом режиме решается задача по распределению автосамосвалов к экскаваторам с учетом складывающейся на данный момент в карьере ситуации. Необходимые команды немедленно передаются исполнителям. На целом ряде карьеров к настоящему времени уже действуют автоматизированные системы диспетчеризации управления работой горно-транспортного оборудования (например, системы типа «Карьер» или «Карат»). Их использование позволяет увеличить производительность выемочно-погрузочного и транспортного оборудования на 20–25%.

2.6. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Сменная производительность автомобиля, определяемая по его номинальной грузоподъемности ($q_а$):

$$Q_{см}^{а} = q_а n_р, \text{ т/смену}, \tag{2.9}$$

где $n_р$ — количество рейсов автомобиля в смену.

Фактическая масса груза в кузове ($q_а^{ф}$) зависит от его геометрического объема ($V_а$), степени заполнения кузова и плотности загружаемой породы (γ):

$$q_а^{ф} = \frac{V_а \gamma k_н}{k_р}, \text{ т}, \tag{2.10}$$

где γ — плотность породы в целике, м^3/т; $k_н$ — коэффициент заполнения кузова (при загрузке «с шапкой» величину коэффициента $k_н$ можно принимать равной 1,2–1,3 и 1,3–1,4 для автосамосвалов с номинальной грузоподъемностью соответственно $q_а \le 60$–80 т и $q_а > 80$–100 т); $k_р$ — коэффициент разрыхления породы в кузове, который зависит от кусковатости породы и объема кузова.

Коэффициент использования грузоподъемности $\left(k_{\text{иг}} = \frac{q_{\text{а}}^{\text{ф}}}{q_{\text{а}}} \right)$ должен быть не меньше 0,6 или не больше 1,05. Если его величина превышает 1,05, то при расчете $q_{\text{а}}^{\text{ф}}$ следует уменьшить коэффициент наполнения кузова ($k_{\text{н}}$).

С учетом фактической массы породы в кузове сменная производительность автомобиля определяется по формуле

$$Q_{\text{см}}^{\text{а}} = q_{\text{а}}^{\text{ф}} n_{\text{р}}, \text{ т/смену.} \tag{2.11}$$

Количество рейсов в смену $n_{\text{р}}$:

$$n_{\text{р}} = \frac{60 T k_{\text{и}}}{t_{\text{р}}}, \tag{2.12}$$

где T — продолжительность смены (обычно $T = 8$ ч); $k_{\text{и}}$ — коэффициент использования сменного времени ($k_{\text{и}} = 0{,}75–0{,}85$); $t_{\text{р}}$ — продолжительность рейса автосамосвала, мин.

Продолжительность рейса слагается из следующих элементов:

$$t_{\text{р}} = t_{\text{п}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{раз}} + t_{\text{м}}, \text{ мин,} \tag{2.13}$$

где $t_{\text{п}}$, $t_{\text{дв}}$, $t_{\text{раз}}$, $t_{\text{м}}$ — затраты времени соответственно на погрузку, движение, разгрузку и выполнение маневров автосамосвала в забое и на месте разгрузки, мин.

Время погрузки автосамосвала ($t_{\text{п}}$) определяется массой вмещающейся в кузов породы ($q_{\text{а}}^{\text{ф}}$) и количеством разгружаемых ковшей ($n_{\text{к}}$) или количеством циклов экскаватора и длительностью цикла.

При установленной фактической массе породы в кузове ($q_{\text{а}}^{\text{ф}}$) количество ковшей, необходимое для загрузки автосамосвала:

$$n_{\text{к}} = \frac{q_{\text{а}}^{\text{ф}}}{q_{\text{к}}}, \tag{2.14}$$

где $q_{\text{к}}$ — масса породы, загружаемой в кузов автосамосвала за один цикл экскаватора:

$$q_{\text{к}} = E \gamma \frac{k_{\text{н.к}}}{k_{\text{р.к}}}, \text{ т,} \tag{2.15}$$

где E — вместимость ковша экскаватора, м^3; $k_{\text{н.к}}$ и $k_{\text{р.к}}$ — коэффициенты наполнения ковша и разрыхления породы в ковше.

Количество ковшей округляется до 0,5. При этом для загрузки, например, 5,5 ковшей экскаватор должен сделать 6 циклов.

Тогда продолжительность загрузки автосамосвала:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{ц}}^{\text{ф}} n_{\text{к}} / 60 \text{ , мин,} \qquad (2.16)$$

где $t_{\text{ц}}^{\text{ф}}$ — фактическая продолжительность цикла экскаватора, с.

При укрупненных расчетах время погрузки может быть установлено также, исходя из технической производительности экскаватора ($Q_{\text{т}}^{\text{э}}$, м^3/ч):

$$t_{\text{п}} = \frac{60 q_{\text{а}}^{\text{ф}}}{Q_{\text{т}}^{\text{э}} \gamma} \text{, мин.} \qquad (2.17)$$

Время движения автосамосвала ($t_{\text{дв}}$) от забоя до места разгрузки и обратно определяется расстоянием транспортирования и скоростью его движения на различных участках дороги:

$$t_{\text{дв}} = \sum_{i=1}^{n} 60 l_i / v_i \text{ , мин,} \qquad (2.18)$$

где n — количество участков с различными покрытием и элементами трассы; l_i — длина i-го участка, км; v_i — скорость движения на i-м участке, км/ч (табл. 2.5).

При укрупненных расчетах для определения времени движения можно использовать величину средней технической скорости движения ($v_{\text{ср}}$).

Таблица 2.5

Средняя расчетная скорость движения по карьерным дорогам*

Назначение дороги	Категория дороги	Скорость движения, км/ч
Магистральные дороги от карьера до отвалов, складов, ОФ	I	до 30–40
Главные съезды в карьере	I	до 25–30
Дороги на поверхности отвалов, связывающие отдельные участки отвала	II	до 20–25
Заезды на отвалы	II	до 15–20
Временные дороги на уступах и отвалах	III	до 10–15
* В весенний и осенний периоды скорость снижается на 23–25%, в ночное время — на 8–10%.		

$$t_{\text{дв}} = \frac{60(l_{\text{гр}} + l_{\text{пор}})}{v_{\text{ср}}}, \text{ мин}, \tag{2.19}$$

где $l_{\text{гр}}$ и $l_{\text{пор}}$ — расстояние движения автосамосвала в грузовом и порожняковом направлениях, км.

Данные практики показывают, что средняя техническая скорость движения автосамосвалов на угольных разрезах составляет фактически 12–16 км/ч и на рудных карьерах — до 14,5–20,0 км/ч.

Время, затрачиваемое на выполнение маневров и различные задержки в пути, можно принимать $t_{\text{м}} = 3–4$ мин за рейс.

Количество автосамосвалов в одном экскаваторно-автомобильном комплексе

$$N_{\text{а}} = \frac{Q^{\text{э}}_{\text{см}}\gamma}{Q^{\text{а}}_{\text{см}}}, \text{ шт.}, \tag{2.20}$$

где $Q^{\text{э}}_{\text{см}}$ — сменная производительность экскаватора, м^3/смену.

Годовая производительность автосамосвала

$$Q^{\text{а}}_{\text{год}} = Q^{\text{а}}_{\text{см}} n_{\text{см}} N_{\text{р}}, \text{ т/год}, \tag{2.21}$$

где $n_{\text{см}}$ — количество рабочих смен в сутки; $N_{\text{р}}$ — количество рабочих дней в году (зависит от принятого режима работы предприятия).

Рабочий парк автосамосвалов в карьере

$$N^{\text{р}}_{\text{а}} = \frac{Q_{\text{см}}}{Q^{\text{а}}_{\text{см}}} k_{\text{р}}, \text{ шт.}, \tag{2.22}$$

где $Q_{\text{см}}$ — сменный грузооборот карьера, т/смену; $k_{\text{р}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность работы транспорта ($k_{\text{р}} = 1{,}15–1{,}2$).

Инвентарный парк автосамосвалов

$$N^{\text{и}}_{\text{а}} = \frac{N^{\text{р}}_{\text{а}}}{k_{\text{и.п}}}, \text{ шт.}, \tag{2.23}$$

где $k_{\text{и.п}}$ — коэффициент использования парка автосамосвалов ($k_{\text{и.п}} = 0{,}7–0{,}85$).

На угольных разрезах Кузбасса годовая производительность автосамосвалов грузоподъемностью 40, 120–130 и 200–220 т составляет соответственно около 600 тыс. т/год, 2000–2100 тыс. т/год и 2500–2600 тыс. т/год.

Расстояние транспортирования автосамосвалами на разрезах компании «Кузбассразрезуголь» составляет в основном от 2 до 4,4 км. На рудных карьерах при доставке горной массы от забоев до перегрузочных пунктов внутри карьера (например, при применении ЦПТ) расстояние уменьшается до 0,7–0,9 км. На кимберлитовых карьерах по добыче алмазов, где автосамосвалы являются единственным видом транспорта, расстояние транспортирования уже сейчас в ряде случаев достигает 10 км и более.

2.7. БОРЬБА С НАЛИПАНИЕМ И ПРИМЕРЗАНИЕМ ПОРОД

При перевозке мягких и связных пород с влажностью 10–15% и более происходит их налипание на днище и борта кузова автосамосвалов. Количество налипшей породы увеличивается с увеличением количества рейсов, в результате чего вместимость кузова уменьшается иногда на 25–30%. Соответственно снижается производительность машин. Для предотвращения налипания используется профилактическая механизированная обработка внутренней поверхности кузовов путем покрытия днища слоем сухих сыпучих материалов (песок, мелкий шлак и др.) или путем обработки смачивающими жидкостями (соляровое масло, мазут, растворы натриевой или калиевой соли, гидрофобные жидкости и др.). Обработка машин производится на специальных профилактических пунктах через каждые 5–6 рейсов.

Ситуация осложняется при низкой температуре окружающего воздуха, когда налипшая порода начинает примерзать к кузову. Для предотвращения примерзания в этих условиях необходима еще более тщательная профилактическая обработка кузовов, исключающая налипание породы. Для борьбы

с примерзанием используется обогрев днища кузова и бортов большегрузных автосамосвалов отработанными газами от двигателя, которые пропускаются через имеющиеся под кузовом и в бортах полости. Этот способ борьбы с примерзанием дает хорошие результаты.

Очистка кузовов от налипшей или примерзшей породы производится с помощью специальных скребков, которые навешиваются на экскаватор строительного типа или монтируются на тракторах.

Глава 3

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

3.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Применение железнодорожного транспорта эффективно в карьерах средней и большой мощности (до 100–120 млн т в год и более по горной массе), при больших размерах в плане и относительно небольшой глубине карьеров (до 200–250 м), при большом расстоянии транспортирования (5–15 км и более).

Его применение связано с необходимостью крупных капитальных вложений в подвижной состав и в строительство транспортных коммуникаций и объектов инфраструктуры. Поэтому данный вид транспорта экономически целесообразно применять в карьерах с длительным сроком существования, который увеличивается с увеличением их мощности. Сроки амортизации затрат для таких карьеров увеличиваются, а ежегодные размеры амортизационных отчислений снижаются, что положительно сказывается на экономике горного предприятия.

Разместить внутри карьера железнодорожные пути, характеризующиеся малой величиной подъемов (обычно до 30–50‰) и большими радиусами кривых (свыше 80–100 м), возможно только при больших размерах карьеров в плане. Указанная выше ограниченная глубина ввода в карьеры железнодорожного транспорта объясняется тем, что с увеличением глубины разработки уменьшаются поперечные размеры карьера понизу, что усложняет размещение железнодорожных путей на его бортах. Исключением является один из старейших в России Коркинский угольный разрез, где при уникальной по сложности транспортной системе железнодорожный транспорт введен на глубину более 450 м.

Свойственное железнодорожному транспорту большое расстояние транспортирования позволяет сократить удельный вес времени на погрузку и разгрузку поездов в общем времени рейса. Дело в том, что операции погрузки и разгрузки производятся повагонно, в то время как все остальные вагоны поезда и локомотив простаивают в ожидании. При большом расстоянии транспортирования возрастает время нахождения поезда в движении, в процессе которого собственно и происходит перемещение породы, и снижается отношение времени простоев в ожидании к общему времени рейса.

Железнодорожный транспорт на карьерах используется только в комплексе с одноковшовыми (ЭКГ, ЭШ) и многоковшовыми экскаваторами. С его помощью можно перемещать любые породы — от мягких и сыпучих до наиболее крепких и крупнокусковатых.

Достоинства железнодорожного транспорта:

- высокая надежность работы независимо от климатических условий;
- возможность достижения высокой производительности при любом расстоянии перевозки за счет увеличения полезной массы поезда (при использовании тяговых агрегатов полезная масса поезда достигает 1500–1700 т);
- небольшой расход энергии на перемещение поезда в связи с малым сопротивлением движению по рельсовым путям;
- малый штат поездных бригад и значительно более низкие эксплуатационные затраты на перевозку пород по сравнению с автомобильным транспортом (при наличии на локомотиве устройств автоматической остановки на случай внезапной потери машинистом способности к ведению поезда допускается управление локомотивом одним машинистом).

К недостаткам железнодорожного транспорта следует отнести:

- жесткие требования к плану и профилю путей (малые подъемы и большие радиусы кривых), в результате чего возрастает их протяженность и расстояние транспортирования внутри карьера;

– высокие капитальные затраты, в том числе на строительство имеющих большую длину и большой объем наклонных траншей;
– сложная организация движения и большие потери времени при обмене поездов у экскаватора, которые нередко сопоставимы со временем погрузки состава; это приводит к значительному снижению коэффициента использования экскаваторов (до 0,5–0,6) и их эксплуатационной производительности;
– ограниченные параметры подвижного состава (прежде всего думпкаров), что не позволяет эффективно использовать железнодорожный транспорт при работе в комплексе с мощными экскаваторами с вместимостью ковша 20 м^3 и выше и противоречит мировым тенденциям в экскаваторостроении и техническом перевооружении карьеров.

Несмотря на указанные недостатки, железнодорожный транспорт продолжает играть заметную роль в перемещении горных пород на многих рудных карьерах (Качканарский, Михайловский, Лебединский и др.), угольных разрезах (Бородинский, Междуреченский и др.), на карьерах других отраслей. Его возможности по увеличению глубины ввода в карьеры за счет совершенствования существующих и создания новых образцов подвижного состава до конца еще не исчерпаны. Тем более что в будущем железнодорожный транспорт, безусловно, сохранит свое значение в качестве магистрального в комбинации с автомобильным и другими видами транспорта.

3.2. ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Подвижной состав железнодорожного транспорта включает локомотивы и вагоны.

Локомотивы. На современных карьерах используются локомотивы на электрической или тепловой тяге — электровозы, тяговые агрегаты и реже тепловозы. Важнейшим технологическим параметром локомотива любого типа является его *сцепная масса* ($Q_{сц}$), т.е. часть массы локомотива, приходящаяся на движущие

оси. Именно от сцепной массы локомотива прежде всего зависит *сила тяги* ($F_к$), оказывающая определяющее влияние на массу прицепной части поезда:

$$F_к = 1000 Q_{сц} \psi g, \qquad (3.1)$$

где ψ — коэффициент сцепления между колесами локомотива и рельсами (при движении со скоростью 15–30 км/ч составляет 0,22–0,29 и при трогании с места 0,28–0,36); g — ускорение свободного падения, м/с^2.

К основным технологическим параметрам локомотивов относятся также *скорость движения*, *нагрузка от оси на рельсы*, *ширина колеи* и *наименьший радиус кривой*. Все локомотивы строятся на колею шириной 1520 мм.

Электровозы (рис. 3.1) получают питание от контактной сети постоянного или переменного тока напряжением соответственно 1,5 (3,0) кВ и 10 кВ. Сцепная масса электровозов не превышает 180 т. Они могут эффективно работать при величине подъема, не превышающей 30–45‰, и при радиусе кривых не менее 50–80 м. Электровозы широко применяются в карьерах различной мощности (в основном до 20–30 млн т горной массы в год) при глубине разработки до 150 м.

На карьерах России используются в основном электровозы типа EL1 и EL2 (Германия), 26Е (Чехия), Д94 (Украина) и др. (табл. 3.1).

Рис. 3.1. Электровоз EL2

Таблица 3.1

Техническая характеристика карьерных электровозов

Параметры	Д94	EL2	EL1	26E
Сцепная масса, т	94	100	150	180
Осевая формула	2о+2о	2о+2о	2о+2о+2о	2о+2о+2о
Нагрузка от оси на рельсы, кН	230,5	245,3	245,3	294,3
Часовой режим:				
мощность, кВт	1635	1350	2100	2480
сила тяги, кН	196	162	242	311
скорость, км/ч	30	30	30,5	28,7
Длина по осям автосцепок, мм	16 400	13 770	21 320	21 470
Ширина колеи, мм	1520	1520	1520	1520
Наименьший радиус кривой, м	80	50	60	60
Ток	Переменный	Постоянный		
Напряжение, кВ	10	1,5	1,5	1,5
Страна-поставщик	Украина	Германия		Чехия

Примечание. Число слагаемых в осевой формуле — количество тележек электровоза; цифра — количество осей в тележке; индекс «о» означает наличие индивидуального привода оси.

Достоинствами электровозов являются их высокая удельная мощность, способность выдерживать высокие кратковременные перегрузки, высокая скорость движения (26,5–30,5 км/ч), сравнительно дешевый вид используемой энергии и экологическая чистота. К их недостаткам относятся, во-первых, ограниченная сцепная масса, которая, в свою очередь, ограничивает количество перевозимой поездом породы и величину преодолеваемого подъема. Во-вторых, это необходимость сооружения соответствующих объектов инфраструктуры, в том числе сооружения и содержания контактной сети на постоянных и временных путях на рабочих уступах и отвалах. Наличие контактной сети значительно осложняет и увеличивает трудоемкость переукладки путей. Кроме того, контактная сеть подвергается различного рода повреждениям, в частности от разлетающихся при взрыве кусков породы, что приводит к нарушению работы транспорта и увеличению простоев поездов и выемочно-погрузочного оборудования.

Электровозы оснащаются центральным и боковым токосъемниками. Последний используется на временных путях, в местах

погрузки поездов, где контактный провод подвешивается не по оси пути, а сбоку от него.

Тяговые агрегаты (рис. 3.2, *а*, *б*) — это многосекционные локомотивы, в состав которых входят электровоз управления, секция автономного питания с дизель-генераторной установ-

а

б

в

Рис. 3.2. Электровоз управления и секция автономного питания тягового агрегата (*а*); тяговый агрегат с одним моторным думпкаром в карьере (*б*); моторные думпкары (*в*)

кой и один или два моторных думпкара. Все оси этих секций оснащены тяговыми электродвигателями и, имея собственную сцепную массу, участвуют в создании общего тягового усилия. Моторные думпкары (подобно моторным вагонам электро- или метропоездов) выполняют две функции — перемещают породу и участвуют в создании тягового усилия (рис. 3.2, *в*).

Сцепная масса тяговых агрегатов различного типа составляет от 360 до 372 т (табл. 3.2), за счет чего их сила тяги при кратковременном режиме достигает 960–1200 кН, что примерно в три раза выше, чем у электровозов. Поэтому тяговые агрегаты способны перемещать более тяжелые поезда по более крутым подъемам, величина которых может составить 55–60‰.

Применение тяговых агрегатов эффективно на крупных карьерах с производственной мощностью до 100 млн т в год и выше при глубине разработки до 200–250 м. Более предпочтительны тяговые агрегаты на переменном токе напряжением 10 кВ, характеризующиеся более высоким коэффициентом сцепления и большей силой тяги (при кратковременном режиме).

Отличительная особенность тяговых агрегатов — их тяговые электродвигатели могут получать питание либо от контактной сети, а там, где она отсутствует, — от дизель-генератора секции автономного питания. Это позволяет убрать контактную сеть с временных путей на рабочих уступах и отвалах, сократить потери времени на переукладку путей и ремонт контактной сети, а за счет этого увеличить производительность выемочно-погрузочного и транспортного оборудования. Устанавливается контактная сеть лишь на постоянных путях, где она служит в течение длительного времени, сопоставимого иногда со сроком службы самого карьера. Таким образом, на постоянных путях тяговые агрегаты работают как электровозы, а на временных — как тепловозы. Это обстоятельство, наряду с возможностью перемещать тяжелые поезда по более крутым подъемам, является серьезным преимуществом тяговых агрегатов перед электровозами. По скорости движения они также не уступают электровозам. Этим объясняется все более широкое распространение тяговых агрегатов на крупных карьерах.

Таблица 3.2

Техническая характеристика тяговых агрегатов

Показатели	ОПЭ1А (ОПЭ1АМ)	ОПЭ1Б	ОПЭ2	EL10 (EL20)	ПЭ2У	ПЭ2М	ПЭ3Т
Сцепная масса, т	372(368)	372	372	366	368	368	372
Состав локомотива	ЭУ+ДС+МД	ЭУ+ДС+МД	ЭУ+2МД	ЭУ+2МД	ЭУ+МД+МД	ЭУ+МД+МД	ЭУ+ДС+МД
Грузоподъемность моторного думпкара, т	44	44	44	55	45,4	44	44
Осевая формула	3(2о+2о)	3(2о+2о)	3(2о+2о)	3(2о+2о)	3(2о+2о)	3(2о+2о)	3(2о+2о)
Нагрузка от оси на рельсы, т	310	310	310	300	310	310	310
Часовой режим:							
мощность, кВт	5325	5325	5325	4770 (2367)	5520 (2640)	5460 (2570)	6480
сила тяги, кН	662,4	662,4	662,4	668 (690)	663	694	662
скорость, км/ч	29,8	29,8	29,8	25,7 (28)	29,5(13,9)	28,9(12,5)	30 (24)
Длина по осям автосцепок, мм	51 300	51 300	51 300	52 300	51 306	51 306	51 306
Ширина колеи, мм	1520					1520	
Наименьший радиус кривой, м	80	80	80	80	Н/д	80	80
Ток	Переменный				Постоянный		
Напряжение, кВ	10	10	10	10	3/1,5	3/1,5	3/1,5
Страна-поставщик	Украина			Германия	Украина		

Примечание. 1. ЭУ — электровоз управления; ДС — дизельная секция автономного питания; МД — моторный думпкар.
2. Осевая формула: цифра перед скобкой — количество секций.

Тяговые агрегаты постоянного и переменного тока, работающие на карьерах России, строятся на Днепропетровском и Новочеркасском электровозостроительных заводах (Украина), а также на заводах Германии.

Тепловозы (рис. 3.3) являются полностью автономным средством тяги. Применяемые на карьерах тепловозы с электромеханической передачей оснащены дизель-генератором постоянного или переменного тока, от которого электроэнергия передается тяговым электродвигателям, установленным на всех осях тепловоза. Сцепная масса тепловозов составляет от 120 до 180 т, что соизмеримо со сцепной массой электровозов (табл. 3.3). Но они работают при величине подъема не более 20–30‰ при низкой скорости движения на подъеме, не превышающей обычно 10–11 км/ч, что существенно ограничивает пропускную способность транспортной системы. Поэтому тепловозы целесообразно применять лишь на карьерах небольшой мощности при глубине разработки не более 50–100 м.

Вагоны. Основным типом вагонов, применяемых на карьерах для перемещения вскрышных горных пород и руды с насыпной плотностью до 1,9–2,2 т/м^3, являются полнометаллические саморазгружающиеся *вагоны-самосвалы* (*думпкары*) с открытым кузовом и двухсторонней боковой разгрузкой (рис. 3.4). При разгрузке кузов думпкара с помощью пневмо- или гидроцилиндров наклоняется в ту или другую сторону, соответствующий борт думпкара откидывается (или поднимается вверх), и порода свободно высыпается наружу. Думпкары имеют высокую механическую прочность, позволяющую при экскаваторной

Рис. 3.3. Тепловоз ТЭМ-2

Таблица 3.3

Техническая характеристика тепловозов

Показатели	ТЭМ-1	ТЭМ-2	ТЭМ-3	ТЭ-3	ТЭ-10М	ТЭМ-7
Сцепная масса, т	120	122,4	120	127	138	180
Осевая формула	3о–3о	3о–3о	3о–3о	3о–3о	3о–3о	(2о+2о)–(2о+2о)
Мощность дизеля, кВт	735	880	880	1470	2206	1470
Сила тяги, кН	200	205,5	210	205,5	245	350
Скорость, км/ч	9	11	11,1	20	24,6	10,3
Длина по осям автосцепок, мм	16 970	16 970	16 900	16 970	16 060	21 500
Поставщик	Машиностроительные заводы					
	Брянский			Луганский		Людиновский

погрузке выдерживать удары от падения кусков породы массой до 3 т с высоты до 3 м. Но при погрузке столь крупных кусков экскаватор должен предварительно подсыпать на дно кузова слой мелкой породы толщиной 0,3–0,5 м.

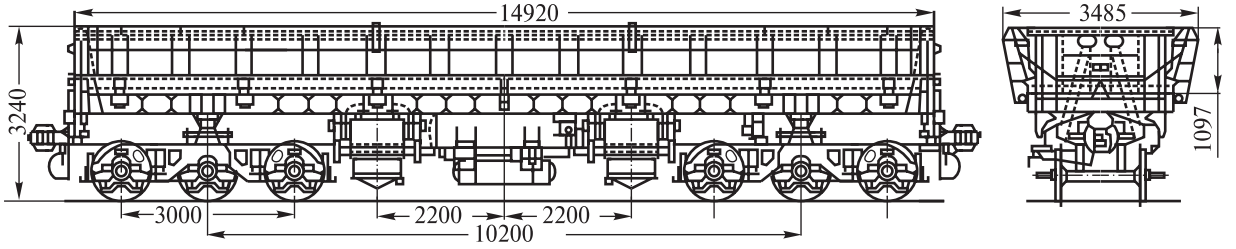
Основными технологическими параметрами карьерных вагонов являются: грузоподъемность, вместимость кузова, собственная масса, коэффициент тары, радиус вписывания в кривые, а также нагрузка на ось. *Грузоподъемность* (q) думпкаров отечественного производства составляет от 60 до 180 т (табл. 3.4). Однако основу парка вагонов составляют думпкары грузоподъемностью до 105 т. Большегрузные думпкары (180 т) пока не получили достаточно широкого применения ввиду ряда конструктивных недостатков. В соответствии с грузоподъемностью количество осей у думпкаров составляет от 4 до 8.

Геометрическая вместимость кузова ($V_в$) соответствует его геометрическому объему и изменяется от 26 до 68–80 м^3. При нормальной загрузке она должна обеспечивать полное использование грузоподъемности вагона. При загрузке «с шапкой» вместимость кузова увеличивается на 10–20%. По условиям загрузки и прочности думпкара его вместимость должна быть в 4–6 раз больше вместимости ковша экскаватора, т.е.

$$V_в = (4 \div 6)E, \tag{3.2}$$

где E — вместимость ковша экскаватора, м^3.

а



б

Рис. 3.4. Габариты (*а*) и общий вид (*б*) саморазгружающегося вагона-самосвала (думпкара) грузоподъемностью 105 т

Таблица 3.4

Техническая характеристика думпкаров

Показатели	2ВС-60	ВС-85	2ВС-105	ВС-145	2ВС-180
Грузоподъемность, т	60	85	105	145	180
Вместимость кузова, м^3	30	38	50	68	80
Собственная масса, т	27	35	48,5	78	68
Коэффициент тары	0,45	0,41	0,46	0,54	0,38
Число осей	4	4	6	8	8
Нагрузка на ось, т	212,7	245,2	245,2	255	304,1
Основные размеры, мм:					
высота вагона	2680	3236	3240	3635	3285
длина кузова	10 000	10 580	13 400	н/д	16 216
ширина кузова	3215	3520	3750	3500	3460
длина вагона по осям автосцепок	11 830	12 170	14 920	17 630	17 580

Исходя из соотношения (3.2) современные думпкары можно использовать при работе в комплексе с экскаваторами, вместимость ковша которых не превышает 8–12,5 м^3 (табл. 3.5).

Коэффициент тары ($k_т$) для разных моделей думпкаров изменяется от 0,38 до 0,54. Его величина у думпкаров существенно ниже коэффициента тары автосамосвалов. А с уменьшением коэффициента тары возрастает экономичность перевозок. Допустимая *нагрузка на ось* определяется прочностью верхнего строения пути и у современных думпкаров составляет от 213 до 304 кН. Наименьший *радиус вписывания в кривые* зависит от длины жесткой базы вагона и составляет 50–80 м, что соответствует радиусам кривых для локомотивов.

Для доставки менее плотных и мелкокусковатых полезных ископаемых, например угля, из карьеров до потребителя (электростанция, обогатительная фабрика и т.п.) используются открытые универсальные полувагоны (гондолы) с разгрузкой через

Таблица 3.5

Соотношение основных параметров экскаваторов и думпкаров

Вместимость ковша экскаватора, м^3	6	8	12,5	12,5
Насыпная плотность породы, т/м^3	1,8–2,2	1,8–2,2	До 1,7	1,75–2,2
Вместимость кузова думпкара, м^3	26,2	48,5	68	80
Грузоподъемность думпкара, т	60	105	145	180
Модель думпкара	6ВС-60	2ВС-105	ВС-145	ВС-180

а

б

Рис. 3.5. Универсальный полувагон грузоподъемностью 69 т (*а*) и полувагон-хоппер (*б*)

расположенные в горизонтальном полу люки (рис. 3.5, *а*). Груз при этом скатывается по занимающим при разгрузке наклонное положение люкам и высыпается по обе стороны от железнодорожного пути. Полувагоны типа «хоппер» имеют наклонные торцевые стенки (рис. 3.5, *б*) и разгружаются также через люки, расположенные в нижней части вагона. Такие вагоны обычно используются для доставки и дозированной выгрузки балласта при строительстве и ремонте пути.

3.3. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПУТИ В КАРЬЕРЕ

Железнодорожные пути в карьерах, равно как и автомобильные дороги, подразделяются на постоянные (стационарные) и временные. *Постоянные пути* сооружаются на поверхности (от

карьера до пункта приема груза), в капитальных траншеях и на транспортных бермах внутри карьера. Они используются в течение длительного времени, нередко соответствующего сроку существования самого карьера, поэтому строятся с соблюдением всех требований Строительных норм и правил (СНиП 2.05.07–91 «Промышленный транспорт»). *Временные пути* располагаются на рабочих площадках уступов и на отвалах. Эти пути периодически переносятся вслед за перемещением фронта горных работ, в связи с чем к их сооружению предъявляются менее жесткие требования, а скорость движения поездов по временным путям обычно не превышает 15–20 км/ч.

Железнодорожный путь (рис. 3.6) включает нижнее и верхнее строения. *Нижнее строение* постоянных путей представляет собой земляное полотно и искусственные инженерные сооружения (путепроводы, мосты, кюветы, трубы для пропуска воды и др.). Земляное полотно, которое является основанием для верхнего строения пути, за пределами карьера размещается в выемках, на насыпях или непосредственно на земной поверхности. Внутри карьера земляным полотном является подошва траншей, поверхность транспортных берм и рабочих площадок, а на отвалах — поверхность отвала. Временные пути, как правило, не имеют каких-либо инженерных сооружений.

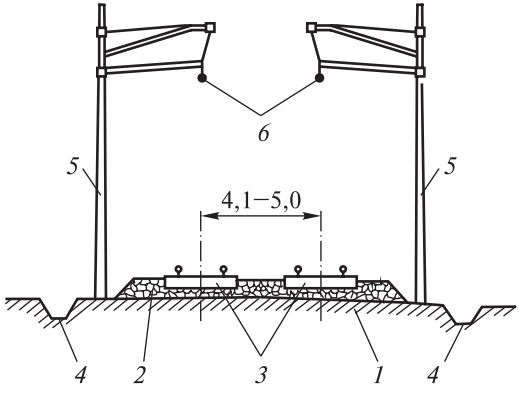


Рис. 3.6. Схема поперечного сечения двухколейного постоянного пути на поверхности карьера:

1 — земляное полотно; *2* — балластная призма; *3* — шпалы; *4* — кюветы; *5* — опоры контактной сети; *6* — контактный провод

К *верхнему строению* пути относятся рельсы с рельсовыми скреплениями и противоугонными устройствами, шпалы и балластный слой. На карьерах используются преимущественно *рельсы* тяжелого типа Р50, Р65 и Р75 (цифра указывает массу 1 пог. м рельса) и лишь на путях с весьма ограниченной интенсивностью движения — рельсы типа Р43. На постоянных путях укладывают рельсы длиной по 12,5 или 25 м, а на временных — 12,5 м. Допускается использовать старые рельсы, снимаемые с дорог общего пользования (после их восстановления). Тип рельсов для постоянных путей выбирается с учетом нагрузки на ось подвижного состава, интенсивности и скорости движения. На временных путях обычно укладываются рельсы Р50.

Шпалы являются опорами для рельсов. Они воспринимают вертикальное давление и горизонтальные силы, возникающие при движении поездов, и передают их на балласт. Деревянные шпалы имеют длину 2,75 м. Они дешевы, но недолговечны. Для увеличения срока службы их пропитывают септиком. Шпалы укладывают на балласт с интервалом не менее 0,25 м. Их количество на 1 км пути, в зависимости от интенсивности движения и величины нагрузок от подвижного состава, составляет от 1440 до 2000 штук. Подлежащие передвижке временные пути укладываются практически только на деревянные шпалы.

Для изготовления железобетонных шпал используется цемент марки не ниже 500 и арматура из проволоки диаметром 3 мм. Масса одной такой шпалы составляет 265 кг (против 55–70 кг для деревянной шпалы), и в основном по этой причине их используют только на постоянных путях. Металлические шпалы (сварные конструкции коробчатого сечения) используются на карьерах в единичных случаях.

В зависимости от типа шпал применяются различные виды крепления к ним рельсов (подкладки, костыли, шурупы, болты и др.). Для предотвращения продольного перемещения рельсов, особенно на участках торможения, используют элементы, называемые *противоугонами*. Противоугоны крепятся к рельсам и устанавливаются вплотную к боковой поверхности шпал (рис. 3.7). Упираясь в шпалы, они удерживают рельсы от продольного смещения. Количество устанавливаемых противо-

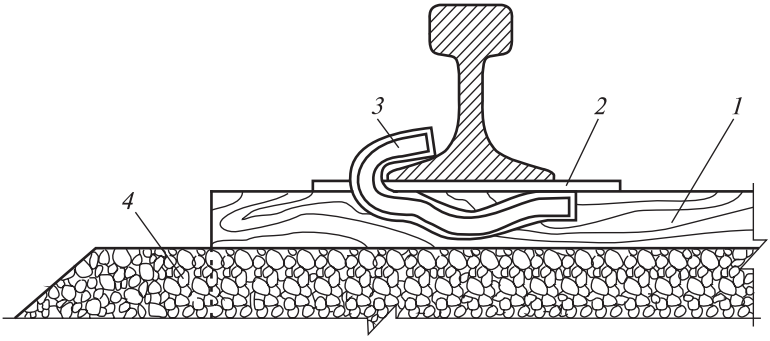


Рис. 3.7. Схема установки противоугона на рельс:
1 — шпала; *2* — металлическая подкладка; *3* — противоугон; *4* — балласт

угонов на разных участках пути составляет от 3 и более штук на один рельс.

Балласт служит основанием для шпал. Он должен воспринимать возникающие при движении поездов динамические удары и давление от шпал и равномерно распределять их на земляное полотно. На постоянных путях в качестве материала для балласта используется высококачественный щебень из крепких горных пород с размером фракций от 25 до 70 мм. На временных путях допускается использовать гравий, гальку, отходы обогатительных фабрик и другие материалы. Толщина балластной призмы на постоянных путях составляет 0,25–0,4 м и на временных путях при неустойчивом основании — 0,15–0,2 м. Ее ширина поверху при одном пути составляет 3,1 м и при двух путях — 7,2 м.

На электрифицированных участках постоянных путей контактный провод подвешивается на опорах по оси пути (см. рис. 3.6). На временных путях на рабочих уступах, где ведется погрузка поездов, чтобы избежать касания провода ковшом экскаватора, опоры и контактный провод располагают сбоку от пути, с противоположной от экскаватора стороны. Опоры на временных путях либо закрепляются на удлиненных шпалах, либо устанавливаются на грунт. Расстояние между опорами на постоянных путях — до 50 м, на временных — 18 м.

Главным параметром железнодорожного пути является *ширина колеи*, т.е. расстояние между внутренними сторонами

головок рельсов. На наших карьерах принята стандартная колея шириной 1520 мм. На малых карьерах с весьма ограниченным грузооборотом могут использоваться узкоколейные пути с шириной колеи 750 мм (редко 900 или 1000 мм).

Профиль трассы пути состоит из горизонтальных и наклонных участков. Допустимая величина подъема (уклона) зависит прежде всего от типа и сцепной массы локомотива (см. п. 3.2). На трассе железнодорожного пути всегда есть несколько участков с различными значениями величины подъема. При этом максимальный по величине затяжной подъем в грузовом направлении, по которому определяется полезная масса поезда, называется *руководящим подъемом* ($i_р$). Если участок пути с руководящим подъемом включает кривую, то подъем уменьшают (смягчают) на величину, соответствующую дополнительному сопротивлению движению от кривой.

План трассы пути состоит из прямолинейных участков и кривых. Минимально допустимый радиус кривых определяется радиусом вписывания подвижного состава. Внутри карьера на передвижных путях радиусы кривых составляют не менее 100–120 м, а на постоянных — не менее 200 м. Для обеспечения устойчивости подвижного состава при движении на закруглениях шпально-рельсовую решетку укладывают на балласт с небольшим наклоном к центру кривой так, чтобы головка наружного рельса оказалась на 15–60 мм выше по отношению к внутреннему. Конкретная величина превышения зависит от радиуса кривой и от принятой скорости движения поездов.

Железнодорожный путь может быть одно- или двухколейным. В первом случае груженые и порожние поезда движутся по однопутному пути с разминовкой на разъездах или станциях. Во втором случае груженые поезда идут по одному пути, а порожние — по другому. Расстояние между осями путей двухпутной трассы зависит от габаритов подвижного состава. С увеличением грузоподъемности думпкаров с 85 до 180 т это расстояние увеличивается с 4,1 до 5 м и более.

Форма трассы пути внутри карьера выбирается в зависимости от условий залегания полезного ископаемого, размеров карьера

в плане, глубины разработки и принятой величины подъема ($i_р$). *Теоретическая* ($L_т$) и *действительная* ($L_д$) длина трассы устанавливаются по формулам (2.3) и (2.4) с учетом величины руководящего подъема ($i_р$). При этом коэффициент удлинения трассы ($K_у$) зависит от способа примыкания наклонных участков трассы (съездов) к рабочим горизонтам карьеров (рис. 3.8). При примыкании на *руководящем подъеме* коэффициент удлинения составляет 1,1–1,2. При таком примыкании обеспечивается минимальная действительная длина трассы. При примыкании на *смягченном подъеме* предусматривается уменьшение подъема пути на участке примыкания до (0,6–0,65)$i_р$. Коэффициент удлинения трассы при этом увеличивается до 1,2–1,3. Наибольший коэффициент удлинения, а значит, наибольшая длина трассы соответствует случаю *примыкания на горизонтальной площадке* ($K_у$ — 1,4–1,6). Несмотря на это наиболее широко применяется примыкание именно на горизонтальных площадках, поскольку оно наиболее просто в обустройстве и удобно для работы локомотивосоставов. Площадки примыкания, длина которых составляет обычно 200–250 м, используются для устройства разъездов и постов. Приращение действительной длины трассы по отношению к теоретической в этом случае соответствует суммарной длине всех площадок примыкания.

Форма трассы внутри карьера называется *простой*, если она по всей длине не меняет своего направления. Простую трассу можно отстроить, если ее действительная длина не превышает длины карьера. Однако при железнодорожном транспорте, как правило, используются *сложные* формы трассы — *тупиковые* и *спиральные* (рис. 3.9) или *комбинированные*, которые состоят из отдельных участков разного направления.

Наиболее распространены тупиковые трассы, при которых на каждом участке трассы поезд изменяет направление движения. Каждый раз это связано с необходимостью торможения, остановки поезда в тупике и трогания с места, в результате чего существенно снижается средняя скорость движения.

Необходимое количество тупиков на борту карьера определяется соотношением действительной длины трассы и длины борта, на котором она размещается. При этом длина отрезка

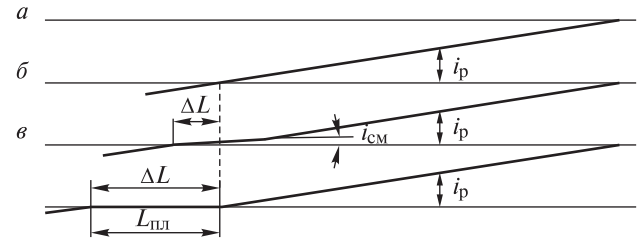


Рис. 3.8. Схемы примыкания наклонных съездов к рабочим горизонтам:
а — на руководящем подъеме; *б* — на смягченном подъеме; *в* — на горизонтальной площадке; ΔL — величина удлинения трассы при съезде с одного горизонта на другой

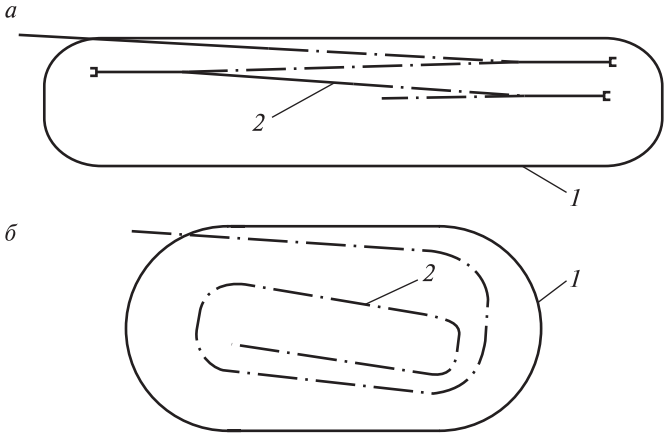


Рис. 3.9. Тупиковая (*а*) и спиральная (*б*) формы трассы:
1 — верхний контур карьера; *2* — положение оси трассы

трассы между двумя уступами высотой 15 м обычно составляет порядка 600 м. Тогда, например, при длине борта карьера 1,8 км и $L_д$ = 5500 м на его борту необходимо будет отстроить три тупика (см. рис. 3.9, *а*).

При движении поезда по тупиковой трассе локомотив на каждом ее участке оказывается попеременно то в голове, то в хвосте состава. При движении вагонами вперед сопротивление движению поезда возрастает на 20–25%, что следует учитывать при определении его полезной массы. Такой порядок движения разрешается только при наличии у переднего вагона тормозной площадки, на которой должен находиться кондуктор.

3.4. ПУТЕВОЕ РАЗВИТИЕ В КАРЬЕРАХ

Система железнодорожных коммуникаций карьеров включает следующие различающиеся по своему назначению пути (рис. 3.10):

- *забойные* (погрузочные) и *отвальные*, находящиеся на рабочих уступах и отвалах. Эти пути являются временными и периодически переносятся на новое место по мере подвигания фронта горных работ;
- *соединительные*, находящиеся на транспортных бермах и связывающие забойные пути с постоянными путями в капитальных траншеях;
- *пути капитальных траншей*, связывающие рабочие горизонты карьера с постоянными путями на поверхности;
- *главные пути* на поверхности, соединяющие карьер с породными отвалами, обогатительной фабрикой и т.п.;

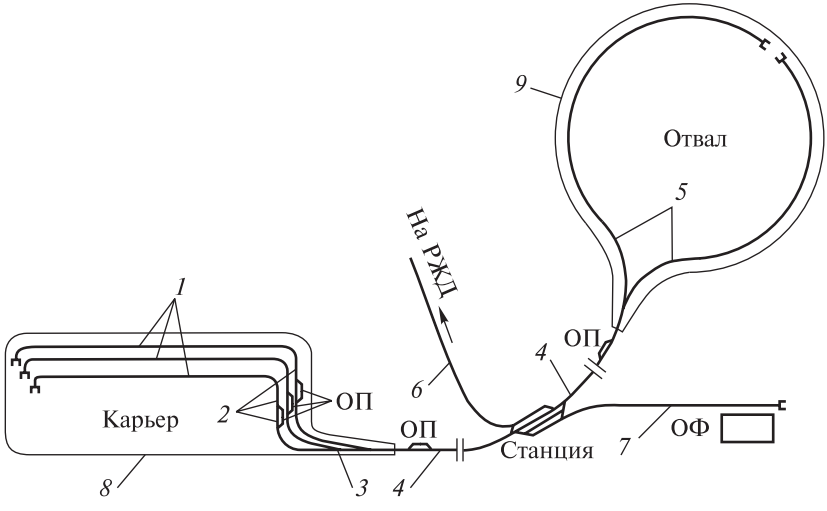


Рис. 3.10. Принципиальная схема путевого развития карьера:

1 — временные пути на рабочих уступах; *2* — соединительные пути; *3* — наклонные пути в капитальной траншее; *4* — постоянные (главные) пути на поверхности; *5* — временные пути на отвале; *6* — ветка магистрального пути с выходом на пути РЖД; *7* — ветка пути с выходом к обогатительной фабрике; *8* и *9* — внешние контуры карьера и отвала; ОП — обменные пункты (разъезды); ОФ — обогатительная фабрика

– *хозяйственные и цеховые пути* на поверхности, а также *магистральные пути*, связывающие карьер с путями общего пользования.

Все пути, за исключением забойных и отвальных, строятся как постоянные.

Общая протяженность железнодорожных путей на карьерах составляет десятки, а иногда и сотни километров. Вся путевая сеть карьеров разбивается *раздельными пунктами* (РП) на отдельные участки, называемые *перегонами*. Раздельными пунктами являются путевые посты, разъезды и станции. Одна из основных задач каждого РП состоит в регулировании и обеспечении безопасности движения поездов на прилегающих к нему перегонах. В соответствии с правилами безопасности движения на каждом перегоне одновременно может находиться только один поезд.

Простейшие *путевые посты* не имеют путевого развития. Они оборудуются светофорами и служат для регулирования движения на прилегающих к ним перегонах и для остановки поездов, если смежный перегон занят. Простейшие посты устраивают на главных путях при разделении длинных перегонов на блок-участки. Посты в местах примыкания путей наклонных траншей к путям рабочих горизонтов оборудуются предохранительными тупиками.

Разъезды служат для обмена поездов на уступах и отвалах (*обменные пункты*), для скрещения (встречи) и обгона поездов. Размещаются они на соединительных путях, находящихся на транспортных бермах (см. рис.3.10), в пунктах примыкания траншей (съездов) к рабочим горизонтам, на поверхности, в непосредственной близости от карьера и отвала, а иногда (при большой длине фронта работ) — на забойных и отвальных путях. Простейший разъезд одноколейного пути включает главный путь, один или два приемоотправочных пути и стрелочные переводы (рис. 3.11, *а*). Длина разъезда определяется длиной поезда ($l_п$), расстоянием от начала стрелочного перевода до предельного столбика ($l_о$) и резервом на неточность установки поезда ($l_{рез}$).

$$l_р = l_п + 2l_о + l_{рез}. \qquad (3.3)$$

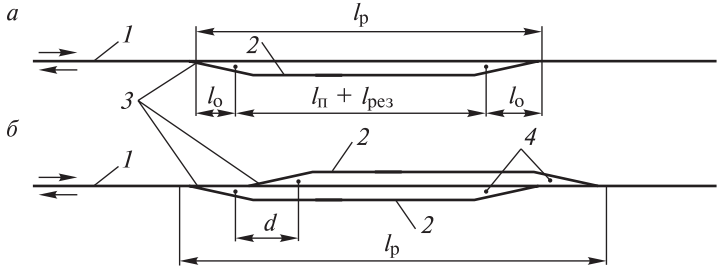


Рис. 3.11. Схемы путевого развития разъездов (ОП) с одним (*а*) и двумя (*б*) приемоотправочными путями:

1 — главный путь; *2* — приемоотправочные пути; *3* — стрелочные переводы; *4* — предельные столбики

Расстояние $l_о$ зависит от ширины колеи и типа крестовины стрелочного перевода и составляет до 65 м, а резерв на неточность установки поезда — 15–20 м. Длина трехпутного разъезда (рис. 3.11, *б*) увеличивается по сравнению с двухпутным на величину продольного смещения путей *d*, составляющего 45 или 62 м. С увеличением количества путей и функций разъездов их схемы становятся более сложными.

Станции строятся, как правило, на поверхности, но иногда — внутри карьера. Они предназначены для приема и отправления поездов, для обгона и скрещения поездов, их технического осмотра, мелкого ремонта подвижного состава, экипировки локомотивов и др. Для выполнения этих функций на станциях иногда укладывается до 10–12 и более ниток путей, а длина станций достигает 1,0 км и более (рис. 3.12). На станциях обычно располагаются диспетчерские посты, откуда осуществляется все управление движением поездов. Если грузопотоки вскрыши и полезного ископаемого выдаются из карьера по разным направлениям, то строятся две и даже более станций (например, станции «Породная», «Угольная»).

Каждый перегон имеет свою длину, свои профиль и план пути и характеризуется соответствующим этим условиям временем его занятия поездом. Перегон, который поезд проходит за наиболее продолжительный (по сравнению со всеми другими перегонами) отрезок времени, называется *ограничивающим*. Именно по этому перегону определяется пропускная и провозная способность транспортной сети карьера.

Рис. 3.12. Общий вид станции

3.5. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ НА РАБОЧИХ УСТУПАХ И ОТВАЛАХ

Путевое развитие на рабочих уступах зависит от количества работающих на них экскаваторов и количества транспортных выходов с уступа. Оно должно обеспечивать минимальные затраты времени на обмен груженых поездов на порожние, поскольку простои экскаваторов в ожидании подачи под погрузку порожнего поезда являются одной из основных причин снижения их эксплуатационной производительности. Эффективность операций обмена оценивается через *коэффициент обеспечения экскаватора порожняком* $\eta_о$:

$$\eta_о = \frac{t_п + t_о}{t_п}, \tag{3.4}$$

где $t_п$ — время погрузки поезда, мин; $t_о$ — затраты времени на обмен поездов, мин.

Время погрузки поезда ($t_п$) зависит от технической производительности экскаватора и полезной массы (вместимости) поезда:

$$t_п = \frac{60G_{л-с}}{Q_т^э \gamma}, \text{ мин}, \tag{3.5}$$

где $G_{л-с}$ — полезная масса поезда, т (определяется по формуле (3.10)); $Q_т^э$ — техническая производительность экскаватора, м^3/ч; γ — плотность породы в массиве, т/м^3.

Время, затрачиваемое на обмен груженого поезда на порожний, зависит исключительно от схемы путевого развития на уступе и от скорости движения груженых и порожних поездов по временным и соединительным путям:

$$t_о = \frac{60(L_ф + 2L_с)}{V_{дв}} + \tau, \text{ мин}, \qquad (3.6)$$

где $L_ф$ — длина фронта работ на уступе, км (при расчетах исходят обычно из того, что экскаватор находится посредине фронта); $L_с$ — длина соединительного пути от обменного пункта до начала фронта работ, км; $V_{дв}$ — средняя скорость движения поезда по временному и соединительному путям, км/ч (при расчетах может быть принята равной 15 км/ч); τ — время, затрачиваемое на связь при обмене поездов (τ = 1,5–2 мин).

Коэффициент обеспечения экскаватора порожняком, по сути, определяет величину коэффициента использования экскаватора во времени ($K_и$), от которого зависит его эксплуатационная производительность. Время, в течение которого экскаватор простаивает в ожидании обмена, машинист экскаватора использует обычно для выполнения вспомогательных работ — откладывание негабаритных кусков, рыхление забоя, приведение его в безопасное состояние и др.

При одном транспортном выходе с уступа движение поездов осуществляется по *тупиковой* (*маятниковой*) схеме. Если при этом на уступе работает один экскаватор, то для его обслуживания используется один путь, а обмен поездов происходит на обменном пункте (ОП), расположенном обычно за пределами фронта работ, на транспортной берме (рис. 3.13, *а*). Коэффициент обеспечения экскаватора порожняком при этой схеме не превышает 0,55–0,65. При большой длине фронта и, следовательно, больших затратах времени на движение поездов от ОП до экскаватора и обратно на уступе целесообразно иметь еще один, дополнительный ОП (рис. 3.13, *б*). При этом коэффи-

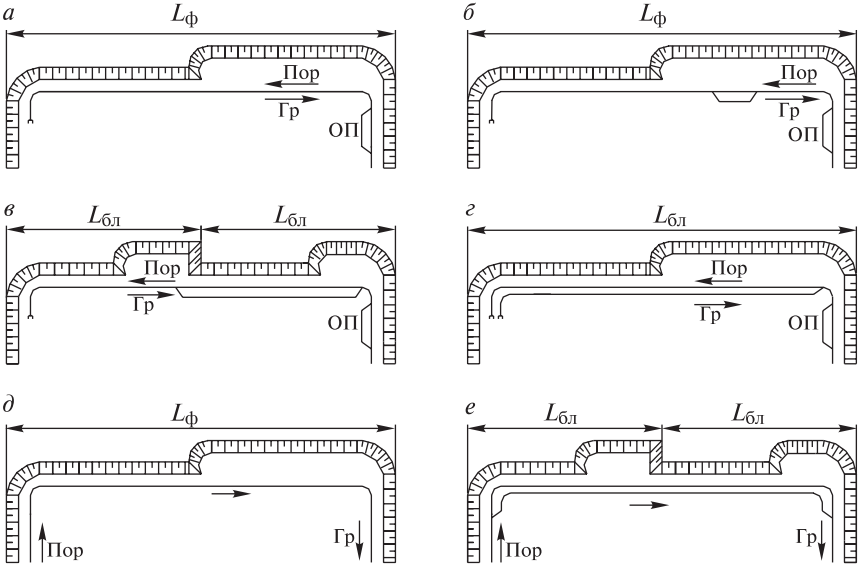


Рис. 3.13. Схемы путевого развития на уступах (стрелками показано направление движения порожних и груженых поездов)

циент обеспечения экскаватора порожняком можно увеличить до 0,75–0,8.

Если на уступе работают два экскаватора в одной заходке, то для обеспечения независимости их транспортного обслуживания на уступе укладывается дополнительный соединительный забойный путь ко второму экскаватору (рис. 3.13, *в*). При двух последних схемах на временном пути необходимы стрелочные переводы, что существенно осложняет работы по переукладке путей.

Для обеспечения бесперебойной работы высокопроизводительных многоковшовых экскаваторов целесообразно иметь на уступе два пути (рис. 3.13, *г*). При этом, когда на одном пути происходит погрузка поезда, на другом в это время осуществляется обмен груженого поезда на порожний. При такой схеме коэффициент обеспечения экскаваторов порожняком достигает 0,9–1,0.

При наличии двух транспортных выходов с уступа возможна *сквозная* (*поточная*) схема движения поездов (рис. 3.13, *д*).

В этом случае отпадает необходимость в сооружении обменных пунктов, а время обмена сокращается до 2–3 минут и менее, поскольку при разделении забойного перегона на отдельные блок-участки порожний поезд может стоять вблизи поезда, находящегося под погрузкой. При сквозной схеме движения и двух экскаваторах на уступе необходимы два пути, которые обеспечивают независимую работу экскаваторов с высоким η_o (рис. 3.13, *е*). Кроме показанных на рис. 3.13 могут использоваться и другие схемы путевого развития на уступах.

Разгрузка поездов производится на *отвальных тупиках*. Движение поездов здесь чаще всего происходит по маятниковой схеме, а путевое развитие в тупике аналогично путевому развитию на рабочем уступе. Обменный пункт при этом располагается обычно за пределами фронта работ на отвале.

В целях безопасности забойные и отвальные пути в тупиках должны заканчиваться предохранительными упорами и ограждающими сигналами, предотвращающими сход локомотивов или вагонов с рельсов. Подача и передвижение поезда в процессе погрузки и разгрузки в забоях и на отвалах производятся только по разрешающим сигналам машиниста экскаватора или оператора погрузочного устройства (при погрузке многоковшовым экскаватором).

3.6. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛОКОМОТИВОСОСТАВОВ

Полезная масса поезда, т.е. масса груза, перевозимого локомотивосоставом за один рейс ($G_{л-с}$), определяется из условия равномерного движения поезда на участке с руководящим подъемом ($i_р$) при полном использовании тяговых возможностей локомотива.

Движение поезда в этих условиях возможно, если сила тяги локомотива ($F_к$) достаточна для преодоления сил сопротивления движению, т.е. если соблюдается условие

$$F_к \geq \omega G_п g, \qquad (3.7)$$

где ω — общее удельное сопротивление движению поезда, Н/кН; $G_{\text{п}}$ — масса поезда (локомотив + груженые вагоны), т; g — ускорение свободного падения, м/с^2.

Общее удельное сопротивление движению (ω) слагается из основного удельного сопротивления на горизонтальном прямолинейном пути ($\omega_{\text{о}}$), которое возникает от трения в буксах, а также между колесами и рельсами, и из дополнительного удельного сопротивления движению поезда на подъем (ω_i). Величину $\omega_{\text{о}}$ при расчетах можно принимать равной 2,5–3,5 Н/кН, а сопротивление от подъема численно равно величине подъема, выраженной в ‰ (например, при подъеме 40‰ ω_i = 40 Н/кН). Если наклонный участок пути с руководящим подъемом включает кривую, то возникает дополнительное удельное сопротивление движению по кривой (ω_R), величина которого для постоянных путей с радиусом свыше 300 м может быть определена по выражению

$$\omega_R = 700/R, \tag{3.8}$$

где R — радиус кривой, м.

Таким образом, общее удельное сопротивление движению на подъем определяется по формуле

$$\omega = \omega_{\text{о}} + \omega_i + \omega_R. \tag{3.9}$$

Из приведенных данных следует, что основную часть общего удельного сопротивления движению поезда составляет сопротивление от подъема (ω_i).

При известных значениях сцепной массы локомотива, удельного сопротивления движению и коэффициента тары вагонов полезная масса поезда определяется по формуле

$$G_{\text{л–с}} = \frac{G_{\text{сц}}[1000\psi k_{\text{с}} - (\omega_{\text{о}} + \omega_{\text{i}} + \omega_R)]}{(\omega_{\text{о}} + \omega_i + \omega_R)(1 - k_{\text{т}})}, \text{ т}, \tag{3.10}$$

где $G_{\text{сц}}$ — сцепная масса локомотива, т; ψ — коэффициент сцепления между колесами локомотива и рельсами (см. формулу (3.1)); $k_{\text{с}}$ — коэффициент использования сцепной массы локомотива ($k_{\text{с}}$ = 0,95÷0,98); $k_{\text{т}}$ — коэффициент тары вагонов (см. табл. 3.4).

Количество вагонов в поезде при полном использовании номинальной грузоподъемности вагона (q):

$$n_{\text{в}} = \frac{G_{\text{л–с}}}{q}, \text{ шт.} \tag{3.11}$$

Фактическая грузоподъемность вагона:

$$q_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{в}} k_{\text{нв}}}{k_{\text{рв}}} \gamma, \text{ т,} \tag{3.12}$$

где $V_{\text{в}}$ — геометрическая вместимость кузова, м^3; $k_{\text{нв}}$ — коэффициент наполнения вагона (при загрузке «с шапкой» $k_{\text{нв}} = 1{,}1–1{,}2$); $k_{\text{рв}}$ — коэффициент разрыхления породы в кузове (обычно $k_{\text{рв}} = 1{,}3–1{,}4$; более точно его величину можно установить в соответствии с кусковатостью породы и вместимостью кузова думпкара по аналогии с коэффициентом разрыхления породы в ковше экскаватора); γ — плотность породы в массиве, т/м^3.

При перевозке породы с высокой плотностью и при загрузке думпкара с $k_{\text{нв}} = 1{,}0–1{,}2$ фактическая грузоподъемность вагонов ($q_{\text{ф}}$) может оказаться выше номинальной. В этом случае необходимо установить допустимый коэффициент наполнения кузова, исходя из того что фактическая масса породы в вагоне не может превышать его номинальную грузоподъемность более чем на 5–10%. Если перевозятся породы с относительно небольшой плотностью, то вагоны, наоборот, могут оказаться недогруженными. Тогда количество вагонов в поезде необходимо увеличить:

$$n_{\text{ф}} = \frac{G_{\text{л–с}}}{q_{\text{ф}}}, \text{ шт.} \tag{3.13}$$

Суточная производительность локомотивосостава при работе в комплексе с находящимся на том или ином горизонте карьера экскаватором определяется по формуле

$$Q_{\text{л–с}} = q_{\text{ф}} n_{\text{ф}} N_{\text{р}} = q_{\text{ф}} n_{\text{ф}} \frac{60T}{T_{\text{р}}}, \text{ т/сут,} \tag{3.14}$$

где $N_{\text{р}}$ — количество рейсов локомотивосостава в сутки; T — число часов работы локомотивосостава в сутки (при расчетах

можно принимать $T = 20–22$ ч); $T_р$ — продолжительность одного рейса, мин.

Продолжительность рейса:

$$T = t_п + t_{дв} + t_р + t_з, \text{ мин}, \quad (3.15)$$

где $t_п$, $t_{дв}$, $t_р$, $t_з$ — соответственно время погрузки состава, время движения, время разгрузки и задержек в пути, мин.

Время погрузки поезда определяется его полезной массой и технической производительностью экскаватора (см. формулу (3.5)). Время движения груженого и порожнего поезда зависит от расстояния транспортирования от забоя до места разгрузки и от скорости движения по отдельным участкам трассы:

$$t_{дв} = 60\sum \frac{L_i}{V_i}, \text{ мин}, \quad (3.16)$$

где L_i — длина каждого i-го участка пути в грузовом и порожняковом направлениях, км; V_i — скорость движения груженого и порожнего поезда по соответствующим участкам пути, км/ч.

Расстояние от карьера до места разгрузки, например до отвала, остается обычно постоянным. Суммарная же длина внутренних съездов от поверхности до экскаватора неуклонно увеличивается по мере углубления горных работ.

При выемке породы на уступе или при отсыпке отвальной заходки экскаватор перемещается от одного конца фронта работ или заходки до другого, т.е. его положение на уступе постоянно меняется. Поэтому при расчетах времени движения поезда по уступу обычно принимается, что экскаватор находится посредине фронта работ. Практика показывает, что время движения составляет в среднем от 30 до 40% общей продолжительности рейса.

Затраты времени на разгрузку поезда определяются временем разгрузки одного вагона ($t_р^в$) и количеством вагонов в составе:

$$t_р = t_р^в n_ф, \text{ мин}. \quad (3.17)$$

Время разгрузки вагона (думпкара) изменяется от 1,5–2,0 мин в летнее время до 3–5 мин — в зимнее.

Задержки поезда в пути (ожидание погрузки и разгрузки, технический осмотр, экипировка локомотива, другие непредвиденные остановки) возрастают за рейс с 7,5–8 мин до 12–13 мин и более при увеличении расстояния транспортирования с 3–5 до 10–12 км.

Средние значения некоторых основных элементов рейса локомотивосостава

Расстояние транспортирования, км	3,1–4	4,1–5,2	5,3–6,5	6,6–8	8,1–10	10,1–12
Средняя скорость движения, км/ч	18,8	19,4	19,9	20,3	20,5	21,2
Время движения за рейс, мин	22,4	28,5	85,3	42,8	52	62,4
Время задержек в пути, мин	7,5	8,2	9,1	10,2	11,4	12,9

После определения продолжительности рейса по формуле (3.14) устанавливается суточная производительность локомотивосостава, в соответствии с которой определяется необходимое количество находящихся в работе локомотивосоставов для обслуживания одного экскаватора:

$$N_{\text{л–с}} = \frac{Q^{\text{э}}_{\text{сут}}\gamma}{Q_{\text{л–с}}}, \text{ шт.}, \tag{3.18}$$

где $Q^{\text{э}}_{\text{сут}}$ — суточная производительность экскаватора, м^3/сут; $Q_{\text{л–с}}$ — суточная производительность локомотивосостава, т/сут.

С достаточной степенью точности необходимое количество локомотивосоставов может быть установлено также по отношению времени рейса к суммарным затратам времени на погрузку состава и обмен поездов в забое:

$$N_{\text{л–с}} = \frac{T_{\text{р}}}{t_{\text{п}} + t_{\text{о}}}, \text{ шт.} \tag{3.19}$$

Требуемое количество локомотивов в работе соответствует количеству локомотивосоставов, а необходимое количество вагонов определяется по формуле

$$N_{\text{в}} = n_{\text{ф}} N_{\text{л–с}}, \text{ шт.} \tag{3.20}$$

3.7. ПРОПУСКНАЯ И ПРОВОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЕРЕГОНОВ И РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Пропускная способность перегонов (или раздельных пунктов) оценивается количеством поездов, которые можно пропустить по данному участку трассы пути в единицу времени (час, смена, сутки).

Пропускная способность перегонов зависит от количества путей на перегоне (обычно один или два), времени занятия перегона поездом и способа связи между раздельными пунктами, ограничивающими перегон. Для однопутных перегонов, по которым в одну сторону проходят груженые, а в другую — порожние поезда, суточная пропускная способность оценивается в *парах поездов*.

$$N = \frac{60T}{t_{\text{гр}} + t_{\text{пор}} + 2\tau}, \text{ пар поездов,} \tag{3.21}$$

где T — время исчисления пропускной способности (для суток $T = 20–22$ ч); $t_{\text{гр}}$ и $t_{\text{пор}}$ — время прохождения перегона груженым и порожним поездом, мин; τ — время, расходуемое на связь между раздельными пунктами, мин ($\tau = 1{,}5–2$ мин).

Время движения поездов по перегону в грузовом и порожняковом направлениях:

$$t_{\text{гр}} = \frac{60L}{v_{\text{гр}}}; \quad t_{\text{пор}} = \frac{60L}{v_{\text{пор}}}, \tag{3.22}$$

где L — длина перегона, км; $v_{\text{гр}}$ и $v_{\text{пор}}$ — скорость движения груженого и порожнего поезда, км/ч.

Пропускная способность двухпутных перегонов для грузового направления рассчитывается по формуле

$$N_{\text{гр}} = \frac{60T}{t_{\text{гр}} + \tau}, \text{ поездов.} \tag{3.23}$$

При автоматической блокировке, когда $\tau = 0$, пропускная способность перегона:

$$N = \frac{60T}{I}, \text{ поездов,} \tag{3.24}$$

где I — интервал движения поездов в грузовом направлении, мин,

$$I = \frac{60 L_{б}}{v_{гр}}, \text{ мин}, \tag{3.25}$$

где $L_{б}$ — безопасное расстояние между поездами, км.

Аналогично определяется пропускная способность забойных (уступных) перегонов и отвальных тупиков (с учетом затрат времени на погрузку и разгрузку поездов), приемо-отправочных путей и др.

Пропускная способность всей сети железнодорожных путей карьера лимитируется *ограничивающим перегоном*, для которого она минимальна. Чаще всего ограничивающий перегон включает капитальную траншею вместе с нижним пунктом примыкания и участок пути на поверхности от выхода траншеи до ближайшего обменного пункта (см. рис. 3.10).

Провозная способность сети карьерных путей — это количество груза, которое возможно перевезти по ограничивающему перегону в единицу времени. Суточная провозная способность:

$$M = q_{ф} n_{ф} N, \text{ т/сут}, \tag{3.26}$$

где N — суточная пропускная способность ограничивающего перегона в грузовом направлении.

При одном транспортном выходе из карьера, т.е. при *сосредоточенном грузопотоке*, провозная способность ограничивающего перегона должна соответствовать общей мощности грузопотока карьера. При наличии двух или более транспортных выходов (*рассредоточенный грузопоток*) провозная способность ограничивающих перегонов каждого грузопотока должна быть не меньше его мощности.

Пропускную и провозную способность перегонов при необходимости возможно увеличить за счет увеличения скорости движения поездов (при соответствующем улучшении состояния пути), сокращения длины ограничивающего перегона с устройством на перегоне еще одного раздельного пункта, увеличения мощности подвижного состава и полезной массы поезда и др.

3.8. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ И ИХ ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ

Перемещение путей на новую трассу на рабочих уступах производится после отработки каждой заходки, а на отвалах — после заполнения каждой отвальной заходки. Шаг перемещения пути соответствует ширине заходки, а объем путепереукладочных работ на каждые 100 тыс. $м^3$ породы составляет в среднем 0,8–1,0 км пути на рабочих уступах и 0,4–0,6 км на отвалах.

Перемещение пути может производиться с предварительной его разборкой на отдельные звенья — *переукладка пути* или без разборки — *передвижка пути*.

Переукладку пути отдельными звеньями производят на уступах при выемке пород одноковшовыми экскаваторами или многоковшовыми экскаваторами на гусеничном ходу (при их работе торцовым забоем) и на отвалах. В качестве средств механизации используются стреловые краны, тракторные путепереукладчики-планировщики и путеукладочные поезда.

Наиболее широко применяются *стреловые краны* (рис. 3.14) на железнодорожном, гусеничном или пневмоколесном ходу, к основным параметрам которых относятся вылет стрелы и грузоподъемность крана (табл. 3.6).

Переукладка кранами на железнодорожном ходу производится *отступающим* либо *наступающим ходом* (рис. 3.15). В первом случае кран перемещается от тупика к пункту примыкания (к выезду с уступа) по старой подготовленной к переукладке трассе (рис. 3.15, *а*), где уже произведено разъединение стыков рельсов и демонтирована контактная сеть. Звенья пути укладываются краном на заранее спланированную новую трассу, где одновременно производится сборка пути. Поэтому такой способ переукладки характеризуется достаточно высокой производительностью: на переукладку пути длиной 1500–2000 м уходит обычно не более 2–3 дней. Но погрузка породы на новый путь при этом возможна только после полного завершения работ по переносу пути и последующей выправке, балластировке и ре-

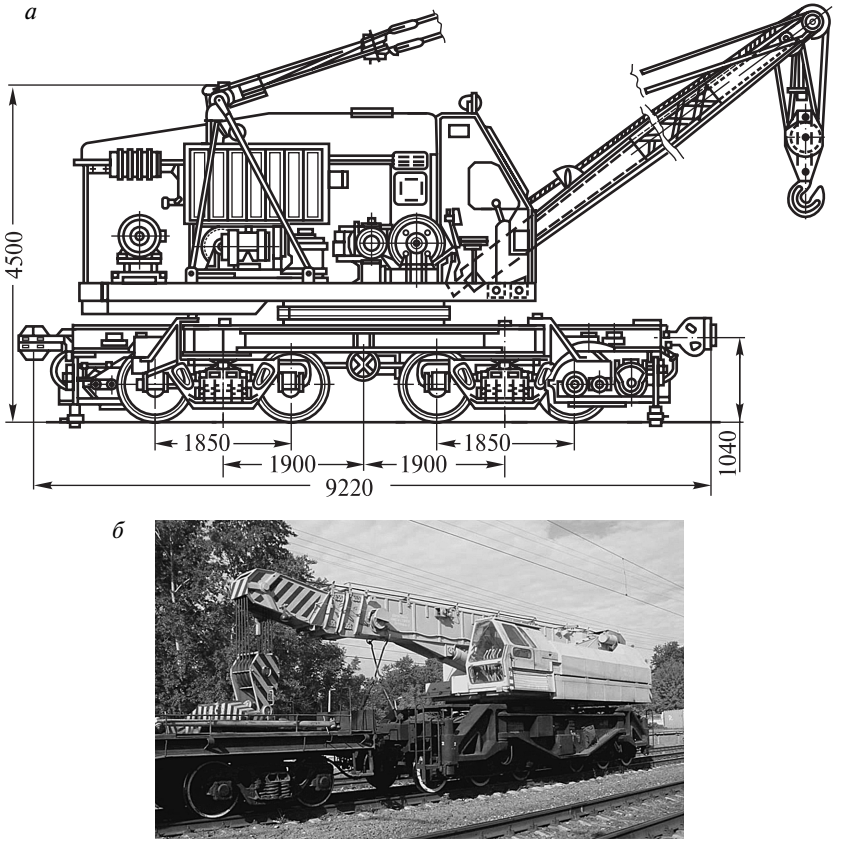


Рис. 3.14. Габариты (*а*) и общий вид (*б*) стрелового крана на железнодорожном ходу

монту участка пути на новой трассе длиной не менее длины локомотивосостава.

При переукладке пути наступающим ходом кран перемещается по новому пути (рис. 3.15, *б*). При этом упрощается подготовка к переукладке звеньев старого пути, в том числе ничто не мешает заранее оторвать рельсо-шпальные решетки от грунта, что особенно важно в зимнее время. Однако после укладки каждого очередного звена кран вынужден простаивать в ожидании стыковки звена, рихтовки и ремонта, обеспечивающих устойчивость крана. Поэтому производительность переукладки здесь ниже, чем в первом случае. Преимущество

Таблица 3.6

Техническая характеристика кранов на железнодорожном ходу

Показатели	КЭД-253	ЕДК-300/2	ЕДК-500/1	THG-6304
Грузоподъемность, т	16,7–25	58,8	40–80	98
Вылет стрелы, м	20–15	15	28–20	28
Длина укладываемого звена, м	12,5	12,5	12,5 и 25	
Шаг переукладки, м	20–36	15–28	20–36	20–36
Техническая производительность, м/ч:				
при непосредственной переукладке	100	100	77–88	113–120
при переукладке с промежуточной трассы	45	45	45	45–60
Масса, т	63,9	80	111	120

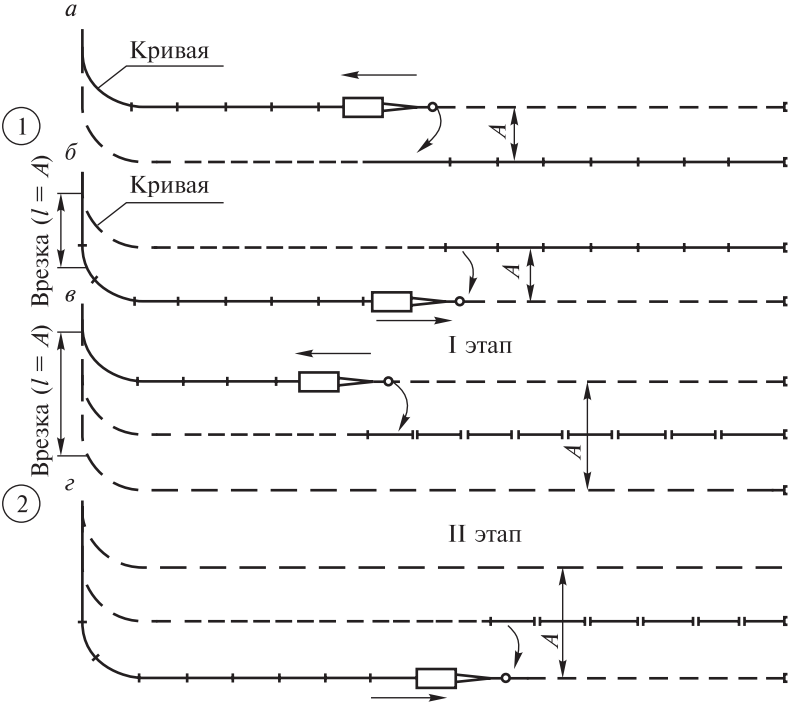


Рис. 3.15. Схемы непосредственной (1) и кратной (2) крановой переукладки пути:

а — отступающим ходом; *б* — наступающим ходом; *в* — перенос звеньев на промежуточную трассу; *г* — укладка звеньев на основную трассу

этого способа состоит, однако, в том, что выемку экскаватором новой заходки можно начинать, не дожидаясь переукладки всего пути, а уже после того, как новый путь будет уложен на длину, соответствующую длине локомотивосостава.

Если шаг переукладки пути превышает максимальный вылет стрелы крана, то при использовании крана на железнодорожном ходу применяют *кратную переукладку*, при которой звенья пути при обратном ходе крана временно переносятся на промежуточную площадку, а затем наступающим ходом укладываются на новую трассу (рис. 3.15, *в*, *г*). Производительность крана при этом снижается до 160–180 м/смену против 500 м/смену при переукладке отступающим ходом. Переукладка пути с большим шагом упрощается при использовании крана на гусеничном ходу, который, располагаясь между старой и новой трассами, перемещает звенья в новое положение с разворотом на 180°. Производительность крана в этом случае достигает 300 м/смену.

Опоры контактной сети (если они прикреплены к шпалам) после снятия контактного провода переносятся вместе с рельсо-шпальной решеткой. Если же опоры установлены на грунт, их перемещают с помощью специальных машин для переноса опор.

Производительность крановой переукладки путей можно определить по формуле

$$Q_{\text{кр}} = \frac{60 T_{\text{см}} K_{\text{и}} l_{\text{зв}}}{t_{\text{ц.п}}}, \text{ м/смену,} \qquad (3.27)$$

где $T_{\text{см}}$ — продолжительность смены, ч; $K_{\text{и}}$ — коэффициент использования крана во времени ($K_{\text{и}} = 0{,}65–0{,}75$); $l_{\text{зв}}$ — длина рельсового звена, м; $t_{\text{ц.п}}$ — продолжительность цикла переукладки одного звена, мин (летний период — 8–10 мин; зимой — 10–13 мин; при кратной переукладке — 18–22 мин).

На отвалах при шаге переукладки до 35 м возможно использовать краны на гусеничном или пневмоколесном ходу, а при шаге до 50 м — путепереукладчики-планировщики. Если же шаг переукладки превышает 50 м, что характерно для отвалообразования с помощью шагающих экскаваторов, то в этом случае перемещение пути производится с помощью путеукла-

дочных поездов (рис. 3.16), которые включают локомотив, кран и платформу. При движении поезда отступающим ходом кран снимает рельсовые звенья со старой трассы и укладывает их на платформу. После ее заполнения поезд перемещается на новую трассу, где наступающим ходом производится укладка звеньев с платформы. Производительность этого способа переукладки ниже, а трудоемкость выше, чем при крановой переукладке.

Передвижка путей производится без их разборки на отдельные звенья. Возможность передвижки пути без разборки обусловлена определенным запасом вертикальной и горизонтальной подвижности пути. Перед передвижкой пути необходимо производить планировку не только новой трассы, но и части поверхности уступа или отвала между старой и новой трассами, по которой будет передвигаться путь. Для передвижки пути без

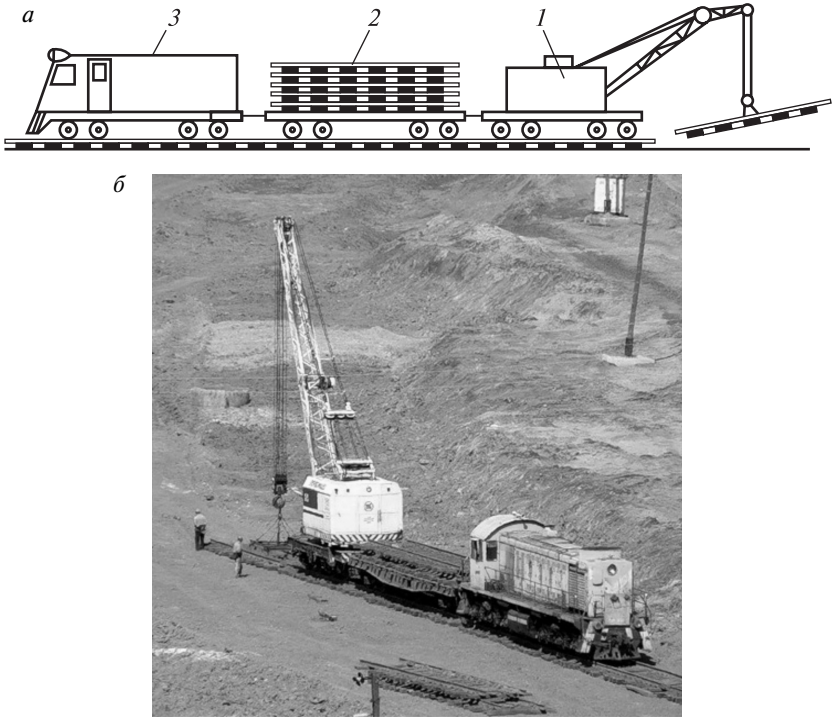


Рис. 3.16. Схема (*а*) и общий вид (*б*) путеукладочного поезда:
1 — кран на ж/д ходу; *2* — платформа для перевозки звеньев; *3* — тепловоз

разборки звеньев используются путепередвигатели цикличного или непрерывного действия, а также турнодозеры.

Путепередвигатель цикличного действия (рис. 3.17) — это достаточно легкая двухосная платформа на железнодорожном ходу, оборудованная подъемно-реечным механизмом, который приводится в действие от двигателя внутреннего сгорания, и рельсовыми захватами (клещами). После установки платформы в точке передвижки оба рельса захватываются клещами, а башмак реечного механизма опускается на грунт между шпалами так, чтобы зубчатая рейка была наклонена в ту сторону, куда будет передвигаться путь. При включении реечного механизма платформа вместе с рельсошпальной решеткой, опираясь на башмак, приподнимается на высоту 0,5–0,6 м до отрыва шпал от грунта. Система при этом теряет равновесие, и участок пути длиной от 6 до 17 м передвигается в горизонтальной плоскости на расстояние 0,5–0,9 м. После этого платформа с поднятыми захватами переезжает на новую точку и все операции повторяются. Таким образом, путепередвигатель проходит по всему участку передвигаемого пути несколько раз, до тех пор пока путь не оказывается на новой трассе. Общий шаг передвижки обычно ограничен и не превышает 3–4 м, поэтому путепередвигатели цикличного действия целесообразно применять, например, для передвижки отвальных путей при плужном отвалообразовании при малой ширине отвальной заходки. Их применяют также как вспомогательное оборудование для предварительного подъема (отрыва от грунта) рельсошпальных решеток при крановой переукладке путей.

Путепередвигатели непрерывного действия представляют собой машины, оборудованные механизмами для роликового захвата рельсов, подъема пути на высоту 0,2–0,4 м и его смещения в сторону на 0,2–0,4 м. У путепередвигателей *мостового* типа этот механизм расположен между ходовыми тележками (рис. 3.18), а у *консольных* он находится на консоли. Используются также *комбинированные* путепередвигатели. После захвата рельсов роликами, подъема пути и его смещения в сторону путепередвигатель начинает движение со скоростью 8–12 км/ч. У мостовых путе-

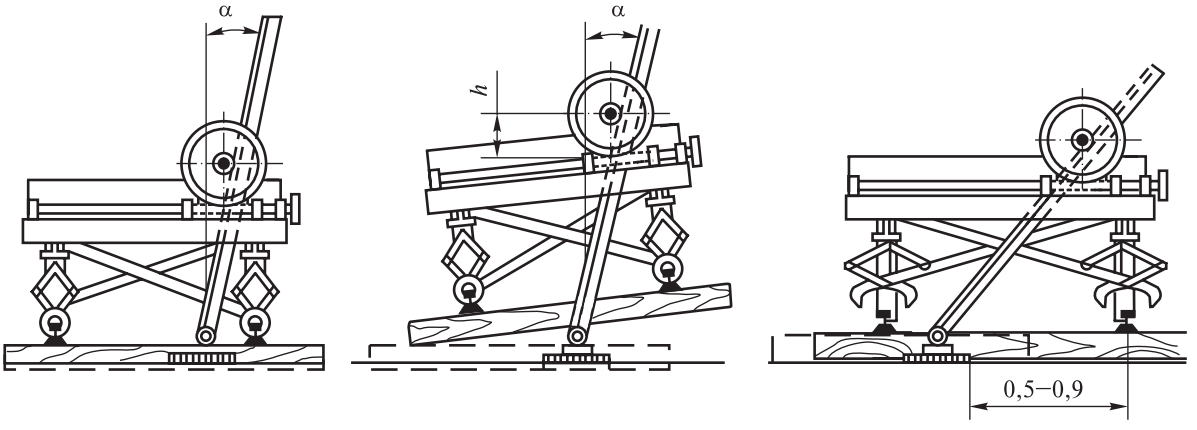


Рис. 3.17. Схема передвижки пути путепередвигателем цикличного действия

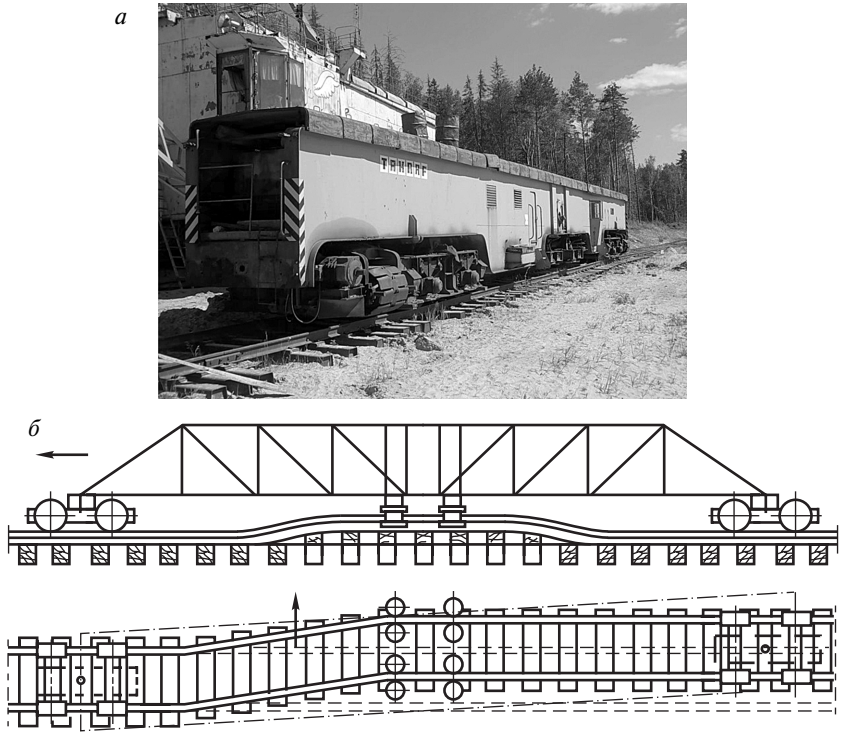


Рис. 3.18. Общий вид путепередвигателя непрерывного действия мостового типа (*а*) и схема передвижки пути (*б*)

передвигателей передняя по ходу тележка движется по старому, а задняя — по новому положению пути (см. рис. 3.18, *б*). В связи с этим они не в состоянии передвинуть тупиковый участок пути на длину до 15 м. Консольные путепередвигатели лишены этого недостатка. Необходимое количество проходов путепередвигателя вдоль фронта определяется общим шагом передвижки пути и величиной смещения пути за один проход.

Путепередвигатели непрерывного действия могут использоваться только при отсутствии на путях стрелочных переводов. Это, в частности, характерно при работе цепных экскаваторов или транспортно-отвальных мостов на рельсовом ходу. Захватные механизмы в этих случаях монтируются заодно с опорами экскаватора или моста, что обеспечивает возможность пере-

двигать рельсошпальные решетки, содержащие до 7–8 ниток рельсов. Передвижка пути происходит при этом одновременно с перемещением экскаватора и отработкой стружки. Шаг передвижки соответствует толщине стружки.

Техническая производительность путепередвигателей непрерывного действия определяется площадью, перекрываемой передвигаемым путем:

$$Q_{\text{п.н}} = 60\ v_{\text{п}} b,\ \text{м}^2/\text{ч}, \qquad (3.28)$$

где $v_{\text{п}}$ — скорость движения путепередвигателя, м/мин ($v_{\text{п}}$ = = 130–200 м/мин); b — шаг передвижки пути за один проход, м.

Максимальная производительность достигает 1200–1500 м^2/ч.

Турнодозер — это гусеничный трактор или колесный тягач, который оснащен навесным оборудованием, включающим подъемный кран с лебедкой и роликовый рельсозахватный механизм. Процесс передвижки пути состоит в следующем (рис. 3.19). Сначала осуществляется захват головки рельса и подъем одного края пути на высоту 0,15–0,2 м. После этого, продвигаясь вдоль пути, турнодозер отъезжает в сторону от него на расстояние шага передвижки (0,8–2 м), подтягивая путь к себе. Далее, продолжая движение со скоростью 3,8–5,8 км/ч, турнодозер передвигает путь в новое положение. Количество проходов определяется общим шагом передвижки (до 30 м и более) и величиной передвижки за один проход. В зимний период шаг передвижки за один проход не должен превышать 0,5 м.

Передвижка пути турнодозерами характеризуется высокой производительностью (до 5000–8000 м^2/ч), небольшим объемом подготовительных работ, возможностью передвижки пути по неровным площадкам, простотой и невысокой стоимостью оборудования.

Текущее содержание путей. Поддержание путей в постоянной исправности весьма трудоемко (до 35% трудоемкости всех путевых работ). Оно включает систематическую проверку ширины колеи и уровня расположения рельсов, выправку просадок и перекосов пути за счет подсыпки и подбивки балласта, замену отдельных шпал и рельсов, регулировку стыковых зазоров

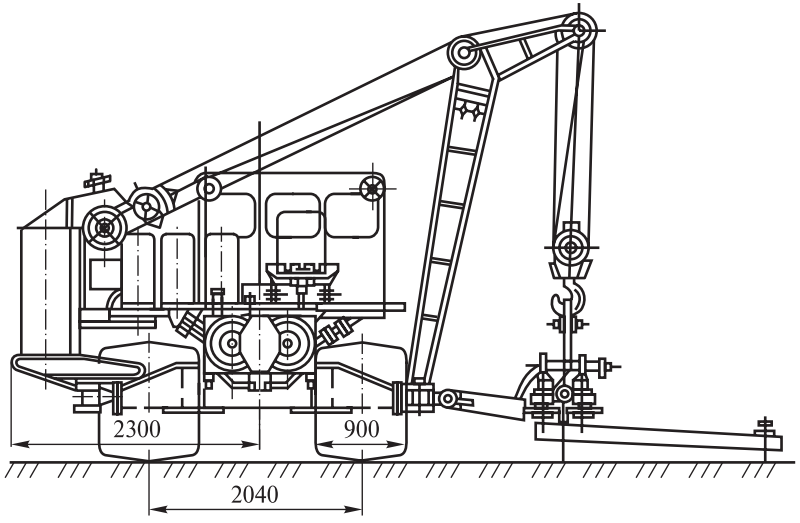


Рис. 3.19. Схема передвижки пути турнодозером

и текущую рихтовку пути (исправление пути в плане). Сюда входят также работы по очистке габаритов пути, канав и кюветов, по очистке путей от снега, особенно во время сильных снегопадов и метелей. Сюда же могут быть отнесены и работы по обслуживанию контактной сети при использовании электрической тяги.

Все работы по содержанию путей выполняются обычно отдельной путевой бригадой с использованием различных средств механизации. При выправке просадок и перекосов пути, при смене шпал и рельсов и т.п. используются универсальные путевые машины, путепередвигатели цикличного действия, шпалоподбивочные (рис. 3.20) и другие машины. Ширину колеи и уровень расположения рельсов проверяют с помощью путеизмерительных устройств и машин, а целостность рельсов — с помощью ультразвуковых или электромагнитных дефектоскопов. Очистка габаритов забойных путей производится обычно бульдозерами или экскаваторами строительного типа, а канав и кюветов — отвальными плугами, автогрейдерами, бульдозерами. Для очистки путей от снега при небольшой толщине заносов используют щеточные очистители путей или отвальные

Рис. 3.20. Шпалоподбивочная машина

плуги, а при высоте заносов до 1,2–1,5 м и более — плуговые снегоочистители или машины на базе отработавших свой ресурс авиационных реактивных двигателей.

При эксплуатации контактной сети особенно трудоемкими являются работы, связанные с переустройством сети при перемещении временных путей на новую трассу. Они включают демонтаж сети и опор на старой трассе, их перенос на новую, установку опор и монтаж сети на новом месте. Основную часть времени на переустройство контактной сети занимает при этом установка опор и монтаж сети.

Глава 4

КОНВЕЙЕРНЫЙ ТРАНСПОРТ

4.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Конвейерный транспорт, как самостоятельный способ перемещения горных пород, применяется преимущественно при разработке мягких и сыпучих пород, при добыче бурого и каменного угля, песка, гравия и др. С его помощью перемещают также предварительно взорванные полускальные и скальные породы после их дополнительного механического дробления. Область применения конвейерного транспорта — это в основном карьеры средней и большой мощности с грузооборотом 20–30 млн т в год и выше при расстоянии транспортирования 4–6 км, а в условиях пересеченной местности до 10–15 км и более. Максимальная известная в мировой практике длина конвейерной линии составляет 20,7 км.

Как поточный вид транспорта конвейеры характеризуются исключительно высокой производительностью. По одной конвейерной линии можно перемещать до 10–12 тыс. $м^3$ и более горной массы в 1 ч. В полной мере эти возможности используются при работе конвейеров в комплексе с высокопроизводительными многоковшовыми роторными или цепными экскаваторами при выемке и транспортировке мягких пород. В этом случае при согласованности принципа непрерывности выемки и транспортирования породы реализуется наиболее высокопроизводительная *поточная технология горных работ*, при которой горная масса перемещается непрерывным потоком от забоя до места ее приема (отвал, склад, обогатительная фабрика и др.).

При выемке мягких пород одноковшовыми экскаваторами между конвейером и экскаватором должно находиться устройство с аккумулирующей емкостью, с помощью которого обеспечивается непрерывная и равномерная подача горной массы на конвейер. Если же разрабатываются взорванные скальные породы, то между экскаватором и конвейером устанавливается передвижной дробильный агрегат, обеспечивающий дополнительное измельчение породы до размеров кусков, пригодных для перемещения конвейером.

В технологическом плане конвейеры на карьерах используются, во-первых, в качестве самостоятельного способа перемещения горных пород от забоев выемочных машин до места их доставки. Во-вторых, их вводят в транспортную схему карьера как поточное звено в структуре циклично-поточной технологии (ЦПТ) для подъема горной массы от дробильно-перегрузочных пунктов на поверхность и для дальнейшего ее перемещения до места разгрузки. Наконец, конвейеры широко используются в качестве транспортирующих органов горных машин и оборудования (роторные и цепные экскаваторы, отвалообразователи, транспортно-отвальные мосты, перегрузочные устройства и др.).

К достоинствам конвейерного транспорта следует отнести, во-первых, его высокую производительность и возможность увеличения производительности работающего в комплексе с ним выемочно-погрузочного оборудования за счет повышения коэффициента использования выемочных машин. По сравнению с железнодорожным транспортом их производительность возрастает на 25–30%. Во-вторых, конвейеры позволяют осуществлять подъем породы из карьера под углом до 18–22°, а при использовании крутонаклонных конвейеров (конвейеры с прижимной лентой, трубчатые конвейеры и др.) угол подъема достигает 45–55° и более. В результате многократно сокращаются расстояние транспортирования до поверхности и протяженность транспортных коммуникаций при соответствующем сокращении объема и стоимости горно-капитальных работ. В-третьих, при конвейерном транспорте значительно сокращается количество обслуживающего персонала и снижается трудоемкость работ, поскольку конвейер объединяет в себе как подвижной состав,

так и путевое хозяйство. Наконец, при конвейерном транспорте значительно упрощается организация и повышается безопасность работ благодаря возможности автоматизации и централизованного управления работой конвейеров, что позволяет снизить влияние «человеческого фактора» на работу транспорта. Конвейерный транспорт характеризуется значительно меньшей энергоемкостью, поскольку здесь практически отсутствуют затраты энергии на перемещение собственной массы подвижного состава.

Основными его недостатками являются интенсивное налипание на ленту влажных глинистых пород и последующее их намерзание при низких температурах окружающего воздуха, что вносит серьезные осложнения в работу конвейеров и приводит к значительным их простоям и потере производительности. Кроме того, при низких температурах резиновая поверхность конвейерных лент теряет свою эластичность и упругость, что приводит к снижению срока службы ленты. Другой серьезный недостаток состоит в быстром износе дорогостоящей ленты при транспортировании абразивных скальных пород, несмотря на их дополнительное механическое дробление. Одной из основных причин износа ленты являются ударные нагрузки, возникающие прежде всего при загрузке породы на ленту и при ударах о ролики в процессе перемещения материала. Этот недостаток особенно сильно проявляется при переходе на циклично-поточную технологию, которая, как правило, используется при разработке пород нижних горизонтов карьеров, отличающихся повышенной прочностью, плотностью и абразивностью.

Во всех указанных выше технологических схемах применения конвейеров для перемещения горных пород используются практически только ленточные конвейеры (рис. 4.1), обладающие наиболее высокой, по сравнению с другими видами конвейеров, производительностью, простотой в обслуживании и надежностью в эксплуатации. Грузонесущим и одновременно тяговым органом этих конвейеров является замкнутая в вертикальной плоскости конвейерная лента *1*, перемещающаяся по поддерживающим ее роликовым опорам *2*. Грузовая ветвь ленты опирается обычно на трехроликовые, а для очень широких лент (свыше 1200 мм) — на четырех- или пятироликовые опоры, придающие ленте желобчатую (лотковую) форму

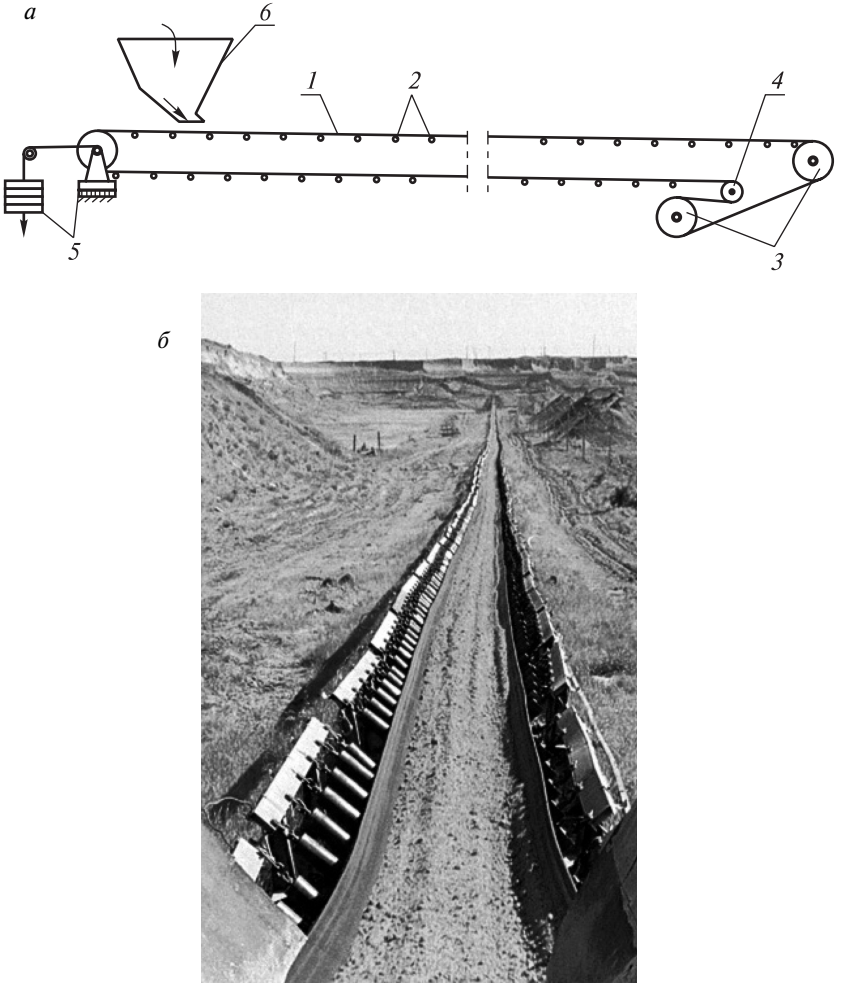


Рис. 4.1. Принципиальная схема (*а*) и общий вид (*б*) ленточного конвейера: *1* — конвейерная лента; *2* — роликовые опоры грузовой и порожней ветвей ленты; *3* — приводные барабаны; *4* — отклоняющий ролик; *5* — натяжное устройство; *6* — загрузочное устройство

(рис. 4.2). Угол наклона боковых роликов трехроликовых опор составляет 30–35°, а в отдельных случаях принимается равным 45°, что позволяет увеличить желобчатость ленты, а значит, и ее несущую способность. Порожняя ветвь поддерживается однороликовыми или двухроликовыми опорами. Расстояние между

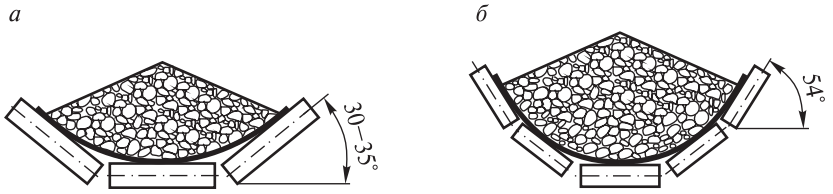


Рис. 4.2. Схема трехроликовой (*а*) и пятироликовой (*б*) опор ленточного конвейера

роликоопорами грузовой ветви составляет обычно 0,9–1,2 м и порожней — 2,5–3 м.

Роликоопоры монтируются на жестких металлических конструкциях, которые имеют вид отдельных линейных или переходных секций длиной от 3,6 до 12 м (рис. 4.3). Секции *передвижных конвейеров* устанавливают на деревянные или металлические шпалы и с помощью шарнирных сцепок соединяют их между собой в единый став необходимой длины. С одного или с обоих боков става на шпалы укладываются рельсы, которые используются при передвижке конвейера с помощью турнодозера. Секции *стационарных конвейеров* устанавливаются обычно на железобетонных шпалах. При монтаже ленточных конвейеров должна обеспечиваться прямолинейность трассы.

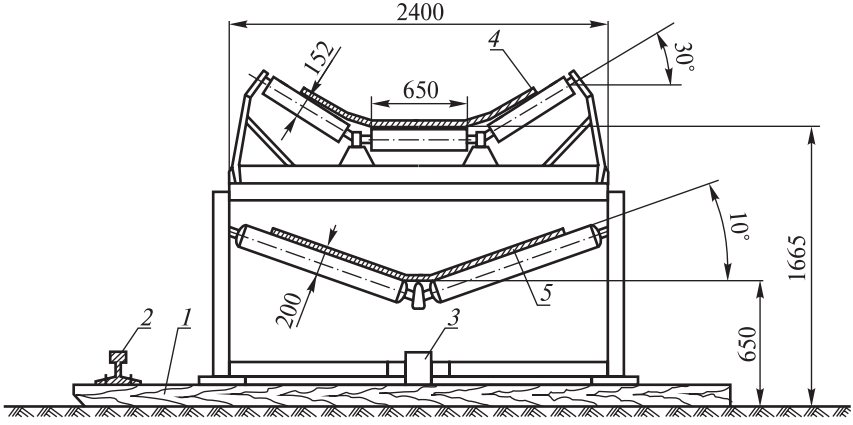


Рис. 4.3. Поперечное сечение секции передвижного конвейера:

1 — шпалы; *2* — рельс, закрепленный на шпалах; *3* — шарнирная сцепка для соединения секций между собой; *4* и *5* — грузовая и порожняя ветви конвейера

Приводные станции и натяжные устройства передвижных конвейеров монтируют на отдельных основаниях, а иногда на гусеничном ходу (для приводных станций). Приводные станции стационарных конвейеров монтируют на фундаменте.

Принцип работы конвейера (см. рис. 4.1) состоит в следующем. Конвейерная лента с грузом приводится в движение за счет тягового усилия, возникающего через силу сцепления между приводным барабаном приводной станции и самой лентой. Необходимая сила сцепления обеспечивается натяжением ленты, то есть силой ее прижатия к приводному барабану, которая создается с помощью натяжного устройства (используются устройства грузового, лебедочного типа или ручные). Для увеличения коэффициента сцепления и тягового усилия используют футеровку поверхности приводного барабана различного рода покрытиями (керамические, резиновые). Тяговое усилие возможно увеличить также за счет увеличения угла обхвата лентой приводного барабана с помощью отклоняющих роликов.

Для *ленточных конвейеров* используются резинотканевые или резинотросовые ленты, которые обладают необходимой продольной прочностью, продольной и поперечной гибкостью и достаточной сопротивляемостью как ударному воздействию кусков породы, так и абразивному износу. Ленты того и другого типа имеют каркас, обеспечивающий им необходимую прочность, и резиновые обкладки рабочей и нерабочей поверхностей. Причем именно каркас предназначен для восприятия тягового усилия.

У *резинотканевых многопрокладочных лент* каркас состоит из 2–6 тканевых прокладок, разделенных прослойками резины толщиной 0,2–0,3 мм (рис. 4.4, *а*). В качестве материала для прокладок используются комбинации из высокопрочных полиамидных, полиэфирных и хлопковых волокон. Разрывная прочность такой ленты в зависимости от ее толщины составляет от 3000 до 6000 Н на 1 см ширины ленты. Общая толщина лент составляет 5,6–20,9 мм и более, а толщина наружных обкладок с рабочей стороны — от 2 до 8 мм и с нерабочей — 2–3 мм. Каркас ленты может также состоять из одной прочной цельнотканой прокладки.

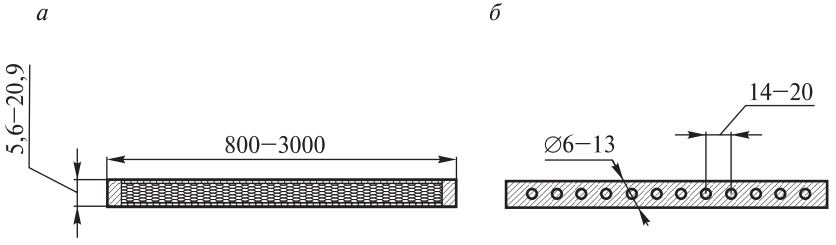


Рис. 4.4. Поперечное сечение резинотканевых (*а*) и резинотросовых (*б*) конвейерных лент

Каркасом *резинотросовых лент* служит ряд расположенных на расстоянии 14–20 мм друг от друга и запрессованных в резину стальных тросов диаметром от 6 до 13 мм (рис. 4.4, *б*). Разрывная прочность таких лент во много раз превосходит прочность резинотканевых и достигает 15 000–60 000 Н/см. Резинотросовые ленты выдерживают весьма значительные усилия натяжения, а значит, позволяют развивать большое тяговое усилие. Поэтому их применяют при большой протяженности магистральных конвейерных линий, а длина одного става конвейера с резинотросовой лентой может составить до 3–4 км и более. Резинотросовые ленты выпускаются как в обычном, так и в морозостойком исполнении. Ленты с повышенной морозостойкостью предназначаются для работы при температуре окружающей среды до –60°.

Техническая характеристика резинотросовых лент приведена в табл. 4.1.

У *ленточно-канатных конвейеров* функцию несущего органа выполняет лента, которая своими краями крепится к канатам, а роль тягового органа играют два стальных каната. Канаты, а вместе с ними и лента перемещаются с помощью приводных шкивов за счет трения между канатами и шкивами. Число роликоопор у этих конвейеров в 4–5 раз меньше, чем у ленточных. Поэтому лента в значительно меньшей степени подвергается ударным нагрузкам, а срок ее службы увеличивается в 1,5–2 раза.

Лента таких конвейеров отличается повышенной поперечной жесткостью от чрезмерного поперечного прогиба. Высокая прочность канатов на разрыв позволяет создавать большие тяговые

Таблица 4.1

Техническая характеристика резинотросовых лент

Параметры	Тип ленты					
	РТЛ-1500У	РТЛ-2500	РТЛ-3150	РТЛ-4000	РТЛ-5000	РТЛ-6000
Расчетная прочность ленты, Н/мм	1500	2500	3150	4000	5000	6000
Диаметр троса, мм	6	7,5	8,25	10,6	10,6	12,9
Шаг троса в ленте, мм	15±1,5	14±1,5	14±1,5	20±1,5	17±1,5	18±1,5
Расчетная толщина наружных резиновых обкладок, мм	8	10	10	10	10	14; 16 — с рабочей стороны; 8 — с нерабочей
Общая толщина ленты, мм	22	26	29	31	31	35; 37
Расчетная масса 1 м^2 ленты, кг	33	43	49	55	58	70; 72
Расстояние от центра крайнего троса до борта ленты, мм	25	25	25	30	30	30
Ширина ленты, мм	1000±20	1000±20	–	–	–	–
	1200±20	1200±20	1200±20	–	–	–
	1600±20	1600±20	1600±20	1600±20	1600±20	1800±14
	1800±20	1800±20	1800±20	1800±20	1800±20	2000±14
	2000±20	2000±20	2000±20	2000±20	2000±20	2500±15

усилия, что, в свою очередь, позволяет увеличить длину одного става конвейера до 5–6 км и более.

Аналогичный принцип работы характерен и для *ленточно-цепных конвейеров*, у которых роль тягового органа выполняют не канаты, а цепи. Это позволяет использовать промежуточные привода, поэтому длина става конвейера может быть неограниченной.

Однако ленточно-канатные и ленточно-цепные конвейеры отличаются ограниченной шириной ленты (не более 1400 мм) и небольшой скоростью ее движения (соответственно не более

4 м/с и 1,5 м/с), а значит, и низкой производительностью, что существенно ограничивает их применение.

Тяговым органом *пластинчатых конвейеров* служат цепи, а несущим — пластинчатое полотно, опирающееся на ролики. Такие конвейеры способны воспринимать значительные ударные нагрузки, перемещать крупнокусковатые породы и работать под завалом. Другая их особенность состоит в возможности использования криволинейной трассы конвейера с небольшими радиусами изгиба в горизонтальной плоскости (до 40 м). Область применения пластинчатых конвейеров ограничена, но они достаточно широко применяются в качестве питателей, обеспечивающих равномерную подачу породы на ленту конвейеров. Например, пластинчатыми питателями оборудуются приемные устройства при погрузке породы на конвейер одноковшовыми экскаваторами.

К *технологическим параметрам конвейеров* относятся ширина ленты, скорость ее движения, допустимый угол подъема груза и длина става. *Ширина ленты конвейера* ($B_л$) определяется необходимой его производительностью ($Q_ч$) при допустимой скорости движения ленты ($v_л$) и при известных форме и площади поперечного сечения груза на ленте:

$$B_л = 1,1\left(\sqrt{\frac{Q_ч}{C_п v_л k_у}} + 0,05\right), \text{ м}, \qquad (4.1)$$

где $C_п$ — коэффициент производительности; зависит от формы и площади поперечного сечения груза, которые, в свою очередь, зависят от типа роликоопор, угла наклона боковых роликов

Таблица 4.2

Величина коэффициента $C_п$ (при угле откоса груза на ленте 15–20°)

Показатели	Тип роликоопор					
	Двухроликовые		Трехроликовые		Пятироликовые	
Угол наклона боковых роликов, град	15	20	30	36	54	54
Величина $C_п$*	450–535	470–550	550–625	585–655	600	675
* Меньшее значение $C_п$ соответствует углу откоса груза 15°, большее — 20°.						

и угла откоса груза на ленте в движении (табл. 4.2); $k_у$ — коэффициент, учитывающий необходимость снижения высоты насыпки породы при угле наклона конвейера 12° и более (с увеличением угла наклона с 12 до 20° величина $k_у$ снижается с 0,98 до 0,9).

При перемещении кусковатых пород установленную по формуле (4.1) ширину ленты необходимо проверить по размеру находящихся на ленте кусков породы:

– при сравнительно небольшом (до 15%) содержании в транспортируемой горной массе крупных кусков ширина ленты определяется по формуле

$$B_л \geq (2{,}7 \div 3{,}2) a_{max}, \text{ м}, \qquad (4.2)$$

где a_{max} — максимальный размер кусков на ленте, м;

– при содержании крупных кусков свыше 15%

$$B_л \geq (3{,}3 \div 4) a_{max}, \text{ м}. \qquad (4.3)$$

По результатам расчетов принимается бóльшая из полученных значений ширина ленты, а по ней — ближайшая бóльшая стандартная ширина (от 800 до 3000 мм).

Скорость движения конвейерной ленты принимается в соответствии с ее шириной, характеристиками перемещаемых пород (насыпная плотность, кусковатость) и эффективностью работы оборудования погрузочных и перегрузочных устройств. Диапазон скоростей ленты составляет от 1,6 до 6,3 м/с, а общая закономерность здесь состоит в том, что скорость движения увеличивается с увеличением ширины ленты и производительности конвейера и снижается с увеличением кусковатости горной массы (табл. 4.3).

Скорость движения ленты подъемных конвейеров, в том числе крутонаклонных, несколько ниже максимального ее значения и обычно не превышает 4–5 м/с. Некоторые зарубежные компании предлагают к поставке конвейерные системы со скоростью ленты до 11 м/с.

Угол подъема (*спуска*) *груза* зависит прежде всего от свойств горных пород и конструктивных особенностей конвейеров. При перемещении мягких пород с использованием обычных ленточных конвейеров наибольший угол подъема может достигать

Таблица 4.3

Рекомендуемая скорость движения ленты

Производительность конвейера, $м^3/ч$	Скорость ленты (м/с) при перемещении пород	
	рыхлых и полускальных	скальных
400–800	1,6; 2,0; 2,5	1,6; 2,0
1000–2500	2,5; 3,15	2,0; 2,5
2500–5000	3,15; 4,5	2,5; 3,15
5000–8000	4,5; 5,3	3,15
8000–12 000	5,3; 6,3	3,15; 4,5
Свыше 12 000	6,3	4,5

20–22°. При перемещении взорванных полускальных и скальных пород после их дополнительного механического дробления допустимый угол подъема снижается до 16–18°. Безопасность подъема скальных пород под углом более 14° и мягких пород под углом более 18° обеспечивается применением специальных устройств, предотвращающих скатывание породы при ее движении вверх. При спуске породы максимальный наклон конвейера должен быть на 2–3° меньше допустимого подъема.

Максимальный угол подъема (до 45–55° и выше) допускают *крутонаклонные конвейеры* в различном конструктивном исполнении.

Длина става конвейеров определяется их назначением и конструкцией и изменяется в широких пределах — от 80–100 м для забойных конвейеров до 4–5 км и более — для магистральных. Длина става изменяется за счет изменения длины и количества его отдельных секций. Привод коротких конвейеров имеет один приводной барабан. При длинных ставах для надежного перемещения ленты требуется два, а иногда и три приводных барабана.

4.2. СХЕМА КОНВЕЙЕРИЗАЦИИ КАРЬЕРА И ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОРОД КОНВЕЙЕРАМИ

В зависимости от своего назначения и места расположения в карьере (при его полной конвейеризации) конвейеры подраз-

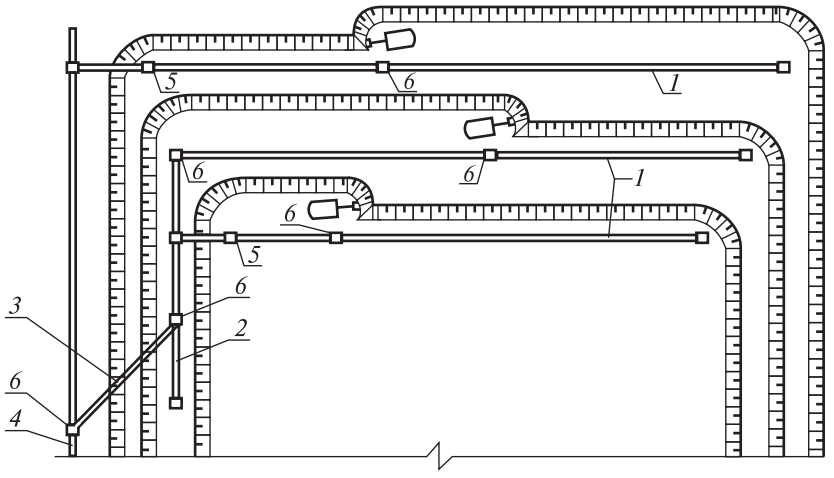


Рис. 4.5. Принципиальная схема конвейеризации карьера:
1 — забойные конвейеры; *2* — сборочный конвейер; *3* — подъемный конвейер; *4* — магистральный конвейер; *5* — межуступный перегружатель; 6 — загрузочные и перегрузочные устройства

деляются на забойные, сборочные, подъемные, магистральные и отвальные (рис. 4.5).

Забойные конвейеры располагаются на рабочей площадке уступа. Они предназначены для приема горной массы от выемочной машины (обычно это многоковшовый или одноковшовый экскаватор) и передачи ее на сборочный конвейер. Ширина ленты и производительность забойных конвейеров должны соответствовать производительности экскаватора с определенным запасом в 15–25%. Длина става конвейеров определяется длиной фронта работы экскаватора и составляет от 80–100 до 1000–1800 м.

При работе конвейера в комплексе с многоковшовым экскаватором поток горной массы направляется на ленту конвейера с разгрузочной консоли экскаватора через передвижное загрузочное приемное устройство (рис. 4.6). Загрузочное устройство передвигается вдоль конвейера вслед за продвижением экскаватора либо по рельсам, закрепленным на шпалах станины конвейера, либо на салазках. Основное назначение любого загрузочного устройства состоит в том, чтобы придать посту-

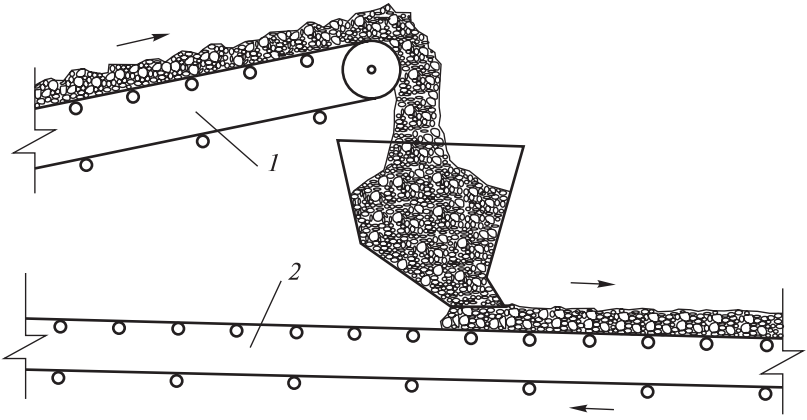


Рис. 4.6. Схема перегрузки потока породы с разгрузочной консоли роторного экскаватора (*1*) на забойный конвейер (*2*)

пающему в него потоку горной массы направление и скорость движения, совпадающие с направлением и скоростью движения самой ленты, в результате чего обеспечивается ее безударная загрузка и продлевается срок службы ленты.

При работе конвейеров в комплексе с одноковшовыми экскаваторами на выемке мягких пород в качестве загрузочного устройства используются самоходные или несамоходные бункеры-дозаторы с питателем, являющимся дном бункера (рис. 4.7). Основное назначение бункера-дозатора состоит в обеспечении равномерной и непрерывной подачи потока горной массы на забойный конвейер. В этой технологической цепочке должно

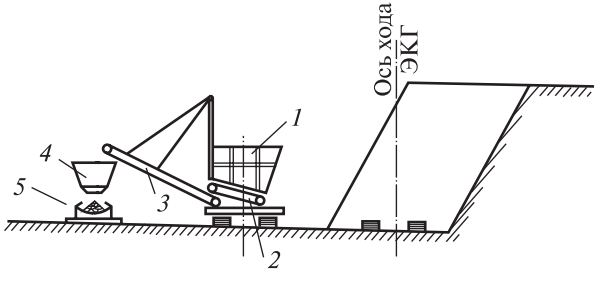


Рис. 4.7. Схема погрузки мягких пород на забойный конвейер одноковшовым экскаватором через самоходный бункер-дозатор:

1 — приемный бункер; *2* — питатель; *3* — разгрузочная консоль бункера-дозатора; *4* — загрузочное устройство забойного конвейера; *5* — конвейер

быть обеспечено соответствие производительности экскаватора, питателя, разгрузочного конвейера бункера-дозатора и самого забойного конвейера.

Самоходные бункеры имеют обычно гусеничный ход, а несамоходные устанавливаются на салазках и передвигаются по мере подвигания забоя с помощью самого экскаватора или с помощью бульдозера. Объем бункера ($V_б$) должен быть кратен вместимости ковша экскаватора и обычно принимается $V_б = (2 \div 5)E$. Его высота должна соответствовать высоте разгрузки экскаватора.

При выемке и погрузке на конвейеры предварительно взорванных пород вместо бункеров-дозаторов используют передвижные самоходные грохотильные или дробильные агрегаты на гусеничном или шагающем ходу (рис. 4.8). Горная масса загружается экскаватором в приемный бункер дробильного агрегата *1*, откуда она пластинчатым питателем *2* подается на ленточный конвейер *3*, доставляющий породу к приемному отверстию дробилки *4*. После дробления поток породы через поворотную (неповоротную) разгрузочную консоль агрегата *5* подается к загрузочному устройству забойного конвейера.

Самоходные дробильные агрегаты оборудуются дробилками с относительно небольшими массой и габаритами — валковые, роторные, щековые или конусно-валковые. Размеры кусков после дробления обычно не превышают 300–350 мм. Масса таких агрегатов достигает 1500–1600 т, а производительность — 2000–2500 м^3/ч. Производительность самоходных дробильных агрегатов, выпускаемых зарубежными фирмами и оснащенных валковыми дробилками, достигает 9000 т/ч.

После отработки экскаваторной заходки забойные конвейеры (подобно железнодорожному пути) должны перемещаться на новую трассу. Перемещение конвейеров может производиться без разборки става или с его предварительной разборкой на отдельные секции. Став без разборки передвигают с помощью турнодозера по предварительно спланированной площадке уступа. Передвижка производится по аналогии с передвижкой железнодорожного пути. Турнодозер рельсозахватным механизмом захватывает головку рельса, уложенного на шпалах става,

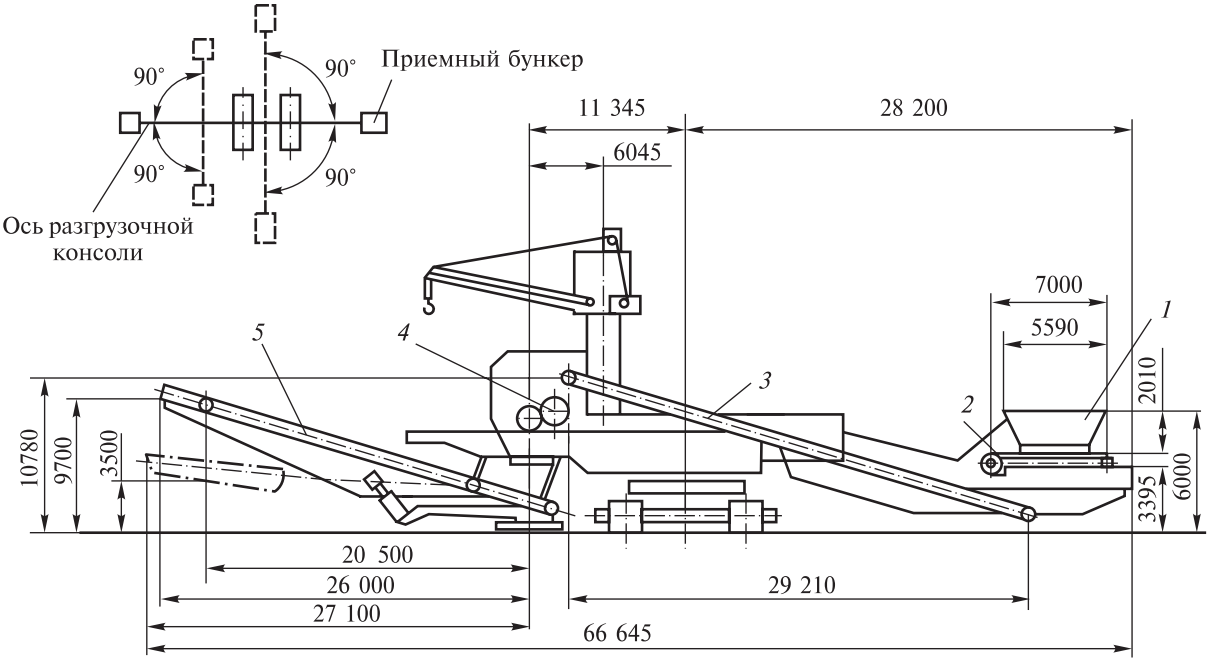


Рис. 4.8. Конструктивная схема самоходного дробильно-перегрузочного агрегата

приподнимает один край става, отъезжает в сторону на 0,5–1 м и, двигаясь вдоль конвейера со скоростью 5–6 км/ч, перемещает его на указанное расстояние (рис. 4.9). Конвейерную ленту при этом не снимают, а лишь ослабляют ее натяжение. Турнодозер проходит вдоль конвейера столько раз, сколько необходимо, чтобы передвинуть его на расстояние, соответствующее ширине заходки экскаватора. Приводные станции и натяжные устройства передвигают лебедками, тракторами и др. На новом месте устраняются возникшие при передвижке деформации става, производится натяжение ленты до необходимого усилия и опробование става на холостом ходу.

Если перемещение конвейера производится с разборкой става, то ленту при этом предварительно снимают и сматывают на барабан. Затем демонтируют секции, загрузочный и другие узлы конвейера и перемещают каждую отдельную секцию и узел на новое место с помощью стреловых кранов, бульдозеров или других технических средств. На новом месте став, приводную и натяжную станции, загрузочное устройство вновь монтируют, навешивают ленту, рихтуют став и проводят опробование

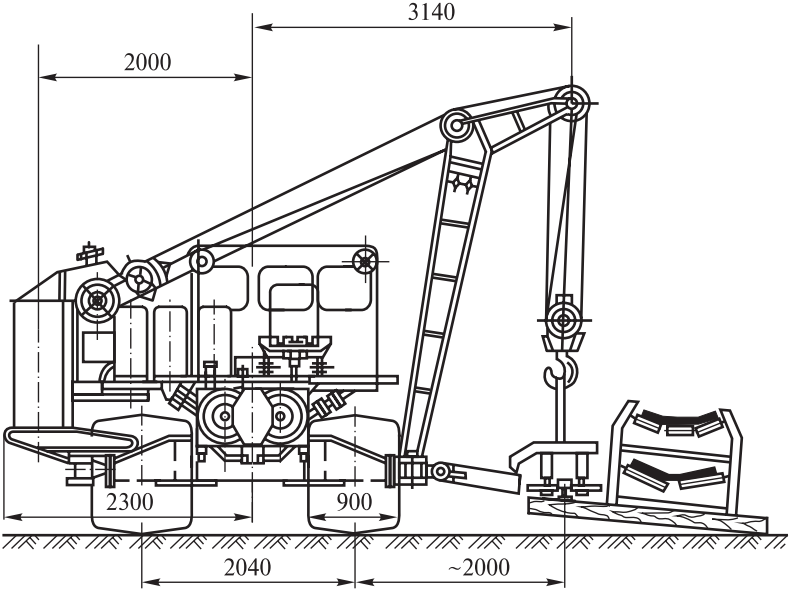


Рис. 4.9. Схема передвижки забойного конвейера турнодозером

конвейера. Такой способ перемещения конвейеров характеризуется значительно более высокой трудоемкостью по сравнению с непрерывной передвижкой турнодозером.

Сократить трудоемкость перемещения конвейеров возможно за счет включения в технологическую схему выемки и погрузки породы промежуточного звена — *ленточного конвейерного перегружателя*, который представляет собой самоходный передаточный механизм небольшой длины, составляющей обычно не более 60–70 м (см. рис. 4.24). При выемке мягких пород многоковшовыми или одноковшовыми экскаваторами перегружатель в первом случае устанавливается между забойным конвейером и экскаватором (рис. 4.10, *а*), а во втором — между конвейером и бункером-дозатором или между конвейером и дробильным агрегатом, если одноковшовый экскаватор производит отгрузку взорванных пород (рис. 4.10, *б*). При использовании перегружателей на одно положение забойного конвейера возможно произвести отгрузку породы не из одной, а из двух и даже из трех экскаваторных заходок, в результате чего пропорционально увеличивается шаг передвижки конвейера и значительно снижается трудоемкость комплекса связанных с этим работ.

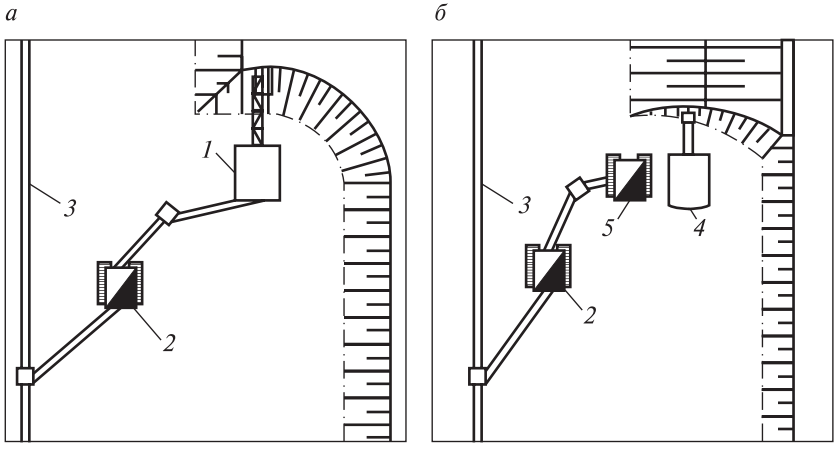


Рис. 4.10. Схема погрузки породы от роторного (*а*) и одноковшового (*б*) экскаваторов на забойный конвейер с использованием конвейерного перегружателя:

1 — роторный экскаватор; *2* — самоходный конвейерный перегружатель; *3* — забойный конвейер; *4* — экскаватор ЭКГ; *5* — самоходный дробильный агрегат

Сборочные конвейеры (см. рис. 4.5) концентрируют на себе грузопотоки с нескольких забойных конвейеров и перемещают породу к подъемному конвейеру. Их производительность должна соответствовать суммарной мощности сходящихся на них грузопотоков. Сборочные конвейеры располагают обычно на транспортных бермах в торцовой части карьеров. При таком расположении конвейеров они передвигаются по мере перемещения фронта работ вдоль их продольной оси или наращиваются дополнительными секциями с увеличением общей длины сборочного конвейера. Сборочные конвейеры, как и забойные, занимают горизонтальное положение или имеют небольшой продольный наклон, не превышающий 2–3°.

Подъемные конвейеры предназначаются для доставки горной массы на поверхность от находящихся в рабочей зоне карьера сборочных конвейеров или от дробильно-перегрузочных пунктов при циклично-поточной технологии. В отличие от забойных и сборочных подъемные конвейеры, как правило, стационарны. Их располагают в нерабочей или во временно нерабочей зоне карьеров в наклонных траншеях или в наклонных подземных выработках (стволах).

На поверхности поток горной массы с подъемного конвейера перегружается на магистральный конвейер.

При стандартной конструкции ленточного конвейера угол подъема груза обычно не превышает 18–20° для мягких пород и 14–16° для дробленых. Увеличение угла подъема груза возможно при применении конвейеров специальных конструкций, которые относятся к группе *крутонаклонных* (см. подразд. 4.3). Производительность подъемного конвейера должна соответствовать производительности сборочного при увеличенной примерно до двух раз мощности привода.

Магистральные конвейеры (рис. 4.11, *а*) сооружаются на поверхности карьера в стационарном исполнении. Секции конвейеров монтируют обычно на железобетонных шпалах. Предназначены магистральные конвейеры для приема горной массы с подъемного конвейера и ее дальнейшего перемещения либо к пункту приема полезного ископаемого, либо к отвалу вскрышных пород. Конвейеры укладываются горизонтально или

а

б

Рис. 4.11. Магистральный конвейер в обычном исполнении (*а*) и с установкой на металлических опорах (*б*)

с небольшим углом наклона и характеризуются, как правило, наибольшей протяженностью. Так, длина конвейера, с помощью которого уголь с разреза «Березовский-1» доставлялся на электростанцию, составляла 14,84 км при максимальной длине одного става 3770 м. В условиях пересеченной местности магистральные конвейеры могут монтироваться на опорах (рис. 4.11, *б*).

Отвальные конвейеры располагаются на отвалах вскрышных пород. С их помощью порода доставляется от магистрального конвейера к отвалообразователю. Отвальные конвейеры, как и забойные, периодически перемещаются вслед за перемещением фронта отвала, поэтому они устанавливаются на деревянные шпалы. Рельсы на отвальных конвейерах укладываются по обе стороны става. Они используются при передвижке конвейера с помощью турнодозера, но основным их назначением в этом случае является перемещение вдоль конвейера разгрузочной

тележки на рельсовом ходу (на рис. 4.12 контуры фермы тележки показаны тонкими линиями). При помощи разгрузочной тележки грузовая ветвь отвального конвейера *1* приподнимается с роликоопор так, чтобы разгрузочный барабан тележки *2* оказался над загрузочным устройством приемной консоли отвалообразователя *3*, расположенной перпендикулярно отвальному конвейеру. После разгрузки породы грузовая ветвь отвального конвейера через отклоняющий барабан *4* вновь ложится на роликоопоры *5* и продолжает движение. Таким образом, поток породы меняет направление движения и поступает к отвалообразователю. Тележка передвигается по рельсам отвального конвейера *6* по мере перемещения отвалообразователя вдоль фронта отвала.

Техническая характеристика некоторых из применяемых на карьерах ленточных конвейеров приведена в табл. 4.4.

На карьерах находят применение также *мобильные конвейеры*, которые представляют собой легко передвигаемые отдельные секции длиной от 20 до 80 м. Передвигаются секции либо

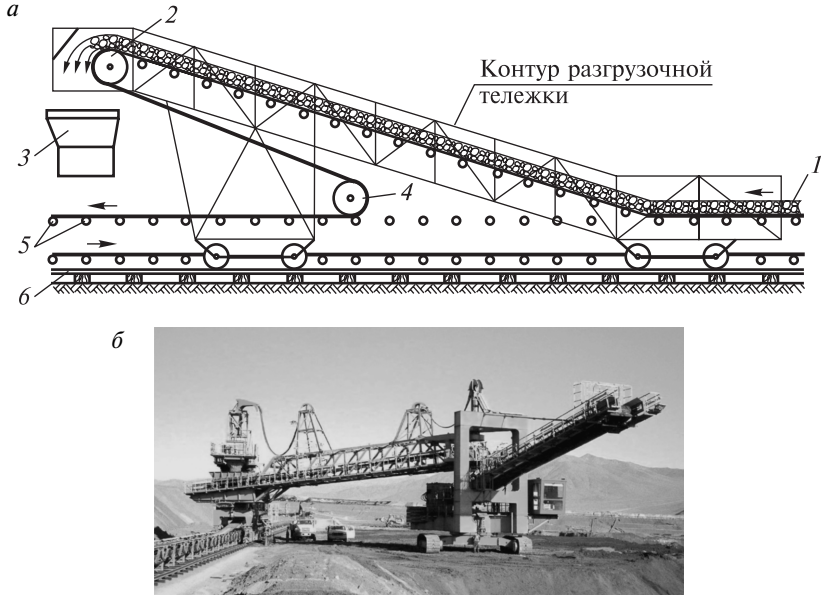


Рис. 4.12. Схема (*а*) и общий вид (*б*) устройства для перегрузки породы с отвального конвейера на приемную консоль отвалообразователя

Таблица 4.4

Техническая характеристика ленточных конвейеров для открытых работ

Конвейер	Ширина ленты, мм	Скорость ленты, м/с	Производительность по разрыхленной горной массе, $м^3/ч$	Длина става конвейера, м
КЛКЗ-1,2	1200	3,56	1500	250; 400; 500; 800
КЛКО-1,2	1200	3,56	1500	250; 400; 500; 750
КЛКМ-1,2	1200	3,56	1500	250; 400; 500; 800
КЛКЗ-1,8	1800	4,35	500	400; 800
КЛКО-1,8	1800	4,35	5000	700
КЛН-2,0	2000	3,15	4000	450
КЛМ-2,0	2000	3,15	4000	1750
КЛО-2,0	2000	3,15	4000	1900

Примечание. КЛК — карьерный ленточный конвейер; буквы З, О, М означают забойный, отвальный, магистральный; цифры 1,2; 1,8; 2,0 указывают ширину ленты конвейера в метрах.

с помощью собственного ходового механизма, либо с помощью бульдозера или крана. Использование мобильных конвейеров позволяет формировать в рабочей зоне карьеров и на отвалах различные варианты грузопотоков с учетом конкретных условий производства работ.

4.3. КРУТОНАКЛОННЫЕ КОНВЕЙЕРЫ

При циклично-поточной технологии открытых горных работ подъем полезного ископаемого или вскрышных пород на поверхность от дробильно-перегрузочного пункта (ДПП) может осуществляться с помощью подъемных ленточных конвейеров обычной конструкции. Но при ограниченных углах подъема кусковатых скальных пород, которые не превышают обычно 16°, с увеличением глубины расположения ДПП и высоты подъема породы существенно возрастает длина подъемного конвейера. Уже при высоте подъема 300 м длина подъемного конвейера составит более 1500 м. Стационарное размещение конвейеров такой длины на нерабочем борту карьера связано с серьезными трудностями и необходимостью выполнения больших объемов горно-капитальных работ, которые возрастают с дальнейшим увеличением глубины карьера и высоты подъема породы.

Резко сократить расстояние транспортирования до поверхности и длину подъемных конвейеров возможно при использовании конвейеров, называемых *крутонаклонными* (*КНК*). К ним принято относить конвейеры специальных конструкций, которые способны перемещать насыпные грузы под углами от 18–20° до 45–55° и даже до 80–90°. Это позволяет принимать угол наклона подъемного конвейера в соответствии с углом откоса нерабочего борта карьера и стационарно разместить КНК на борту практически без выполнения горно-капитальных работ. Общая принципиальная схема крутонаклонного конвейера (рис. 4.13) включает горизонтальную (или слабонаклонную, расположенную под углом 10–12°) загрузочную часть *1*, нижний переходный участок к крутонаклонной части *2*, основную крутонаклонную часть конвейера *3*, верхний переходный участок *4* и горизонтальную или тоже слабонаклонную разгрузочную часть *5*. Погрузка породы на конвейер производится, как обычно, через загрузочное устройство *6*.

Первые образцы КНК были созданы за рубежом в 60-х годах прошлого столетия и получили применение в практике открытых горных работ, в частности на карьерах США, Мексики, Югославии и других стран. К настоящему времени создано несколько видов КНК, различающихся между собой в основном способом удержания груза на ленте от сползания.

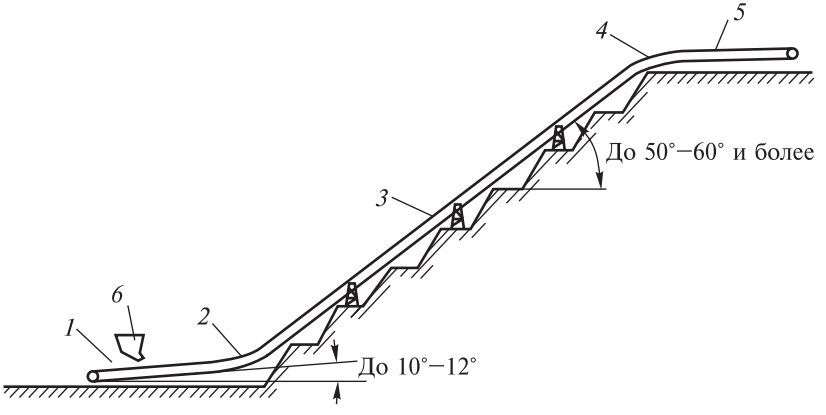


Рис. 4.13. Принципиальная схема крутонаклонного конвейера

К таким конвейерам относятся конвейеры, оснащенные лентами с *повышенным коэффициентом трения* между лентой и транспортируемым материалом, *рифлеными лентами* или лентами, к несущей поверхности которых привулканизированы невысокие *поперечные перегородки*. Такие конвейеры предназначаются для перемещения кусковатых пород с размером кусков до 150 мм и позволяют осуществлять подъем под углом не более 22–25°. За исключением конструкции самой ленты эти конвейеры практически ничем не отличаются от обычных ленточных конвейеров.

КНК с *лентой глубокой желобчатости* (рис. 4.14) существенно отличаются от стандартных конвейеров, в частности, тем, что они оборудуются подвесными многороликовыми опорами. Их загрузка производится как обычно через загрузочное устройство на горизонтальном участке конвейера. Но при подходе ленты с породой к переходному и крутому участкам трассы точки крепления гирлянд роликоопор грузовой ветви постепенно сближаются, отчего лента все более изгибается в поперечном сечении, обжимая находящуюся на ней породу. Увеличивающаяся при этом сила трения между лентой и породой предотвращает ее сползание вниз. После выхода ленты с грузом на поверхность точки крепления гирлянд роликоопор постепенно расходятся, лента расправляется и в обычном положении подходит к разгрузочному барабану. По производительности такие конвейеры почти не уступают стандартным ленточным при аналогичных требованиях к кусковатости перемещаемых пород. Однако при более сложной конструкции угол подъема для них также не превышает 22–25°, что связано с наличием свободной поверхности породного потока на ленте (см. рис. 4.14).

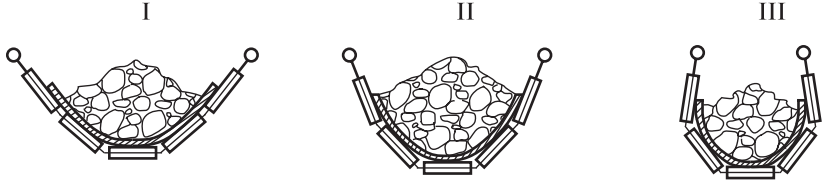


Рис. 4.14. Стадии трансформации ленты глубокой желобчатости

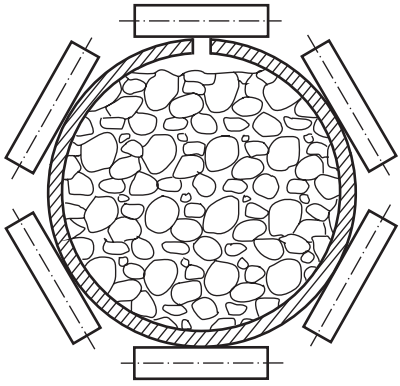
Дальнейшее развитие конструкции КНК с лентой глубокой желобчатости привело к созданию *трубчатых конвейеров*, у которых на подходе к участку подъема лента сворачивается в трубу, со всех сторон охватывая транспортируемую породу (рис. 4.15). При этом увеличиваются силы трения между породой и лентой, а свободная поверхность у транспортируемого потока породы может практически отсутствовать, что позволяет предотвратить сползание породы вниз и увеличить угол подъема до 50–60° и выше. Загрузка конвейера производится также с помощью загрузочного устройства на загрузочной части конвейера. Как и у конвейеров с лентой глубокой желобчатости, сворачивание ленты в трубу происходит на нижнем переходном участке от пункта загрузки до крутой части трассы за счет увеличения угла наклона роликов и их количества в роликоопорах до шести. На верхнем переходном участке лента одновременно с переходом в горизонтальное положение постепенно расправляется и перед разгрузкой принимает обычную форму.

Диаметр формирующейся трубы определяется требуемой производительностью конвейера и соответствующей шириной ленты и при транспортировании кусковатых пород может составлять до 850 мм, что соответствует ширине ленты 2400–2500 мм. Размер кусков при этом не должен превышать 0,3 диаметра трубы. Производительность трубчатых конвейеров при скорости движения ленты до 5 м/с может достигать 7–7,5 тыс. $м^3$/ч.

Трубчатые конвейеры, в отличие от стандартных, позволяют перемещать поток породы по криволинейной траектории с изгибом конвейера как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости (см. рис. 4.15, *б*).

У крутонаклонных конвейеров с *прижимной лентой* помимо основного грузонесущего конвейера *1* используется расположенный над ним конвейер прижимного контура *2* (рис. 4.16). Лента этого конвейера движется с той же скоростью, что и лента основного конвейера с грузом, и при этом с помощью специальных устройств с необходимой силой прижимает груз *3* к грузонесущей ленте. Увеличивающаяся сила трения между грузом и рабочими поверхностями грузонесущей и прижимной лент удерживает груз между лентами, предотвращая его сползание на

а



б

Рис. 4.15. Поперечное сечение трубчатого конвейера (*а*) и общий вид (*б*) конвейера

крутом участке. Как основной грузонесущий, так и прижимной контуры представляют собой обычные ленточные конвейеры с самостоятельными приводами и натяжными устройствами.

Загрузка конвейера производится на нижнем участке через загрузочное устройство. При подходе потока горной массы к переходному участку и к наклонной части конвейера груз накрывается прижимной лентой и далее перемещается, находясь при этом между двумя лентами (рис. 4.17). Наверху прижимная лента снимается с поверхности груза, который направляется далее к разгрузочному барабану.

КНК с прижимной лентой характеризуются высокой производительностью, сопоставимой с производительностью обычных ленточных конвейеров, при аналогичных требованиях к кус-

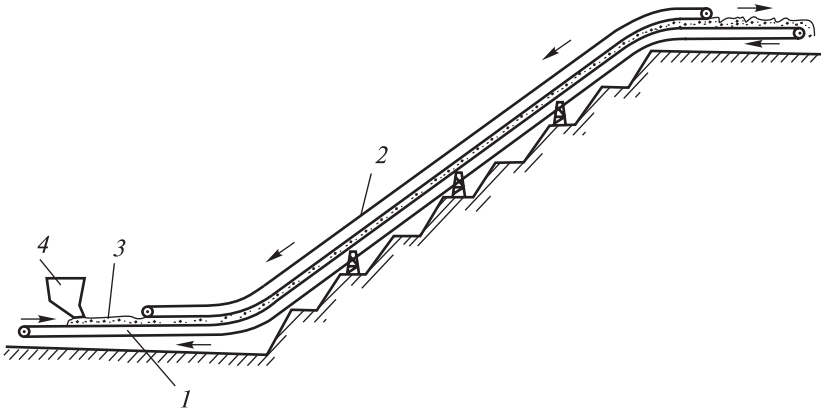


Рис. 4.16. Схема крутонаклонного конвейера с прижимной лентой:
1 — грузонесущий конвейер; *2* — конвейер прижимного контура; *3* — транспортируемая горная масса; *4* — загрузочное устройство

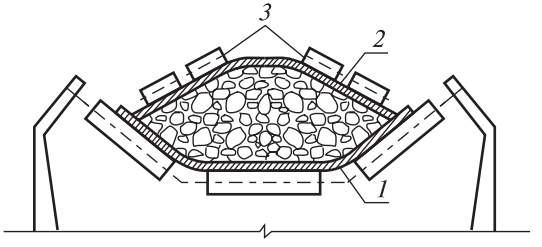


Рис. 4.17. Поперечное сечение КНК с прижимной лентой:
1 — грузонесущая лента; *2* — прижимная лента; *3* — прижимные ролики

коватости транспортируемых пород. Их достоинство состоит также в отсутствии просыпей породы, что существенно упрощает обслуживание конвейеров.

Именно такой вид КНК впервые в странах СНГ использован при реконструкции транспортной схемы в комплексе циклично-поточной технологии на карьере «Мурунтау» (Республика Узбекистан). Конвейер с прижимной лентой КНК-270, изготовленный в 2009 г. ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (НКМЗ), обеспечивает подъем руды от дробильно-перегрузочного пункта на поверхность при высоте подъема 270 м (табл. 4.5). По высоте подъема и производительности (3500 т/ч)

Таблица 4.5

Техническая характеристика подъемного конвейера КНК-270

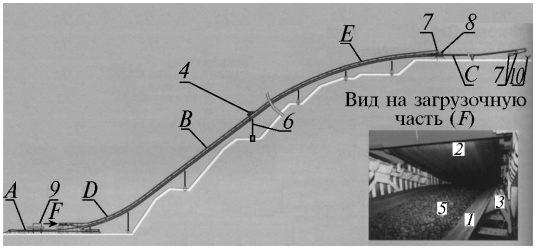
Показатели	Значение
Высота подъема, м	270
Техническая производительность:	
по массе, т/ч	3500
по объему, $м^3$/ч	2000
Эксплуатационная производительность:	
суточная, тыс. т	До 53,5
годовая, млн т	16
Угол подъема крутонаклонной части, град	37
Ширина грузонесущей и прижимной лент, мм	2000
Скорость движения ленты, м/с	3,15
Размер кусков на ленте (после дробления), мм	Не более 300
Насыпная плотность руды на ленте, $т/м^3$	1,75
Плотность руды в целике, $т/м^3$	2,6
Предел прочности при сжатии, МПа	До 250
Мощность приводов, кВт	5040

этот конвейерный комплекс в настоящее время является крупнейшим в мире.

Расположенная полого загрузочная часть (*A*) комплекса КНК-270 (рис. 4.18) через переходный участок (*D*) плавно переходит в крутонаклонную часть (*B*) с углом наклона 37°, соответствующим углу откоса борта карьера. Это позволило смонтировать наклонный конвейер на опорных стойках *6*, расположенных на межуступных бермах, практически без выполнения горно-капитальных работ. На поверхности наклонный конвейер через переходный участок (*E*) плавно переходит в горизонтальную разгрузочную часть комплекса (*C*) длиной 368 м.

Загрузка конвейера производится через загрузочное устройство *9*. При подходе грузонесущей ленты *1*, перемещающейся по роликам *3*, к нижнему переходному участку груз *5* накрывается лентой прижимного конвейера *2*, которая прижимается к поверхности рудного потока с помощью катков и специальных прижимных устройств, а по краям — непосредственно к поверхности грузонесущей ленты (см. рис. 4.17). Прижимная

а



б

Рис. 4.18. Схема КНК-270 (*а*) и вид сверху на холостую ветвь конвейера прижимного контура (*б*)

лента снимается с груза на поверхности, перед горизонтальной разгрузочной частью комплекса (*С*).

Приводные станции основного и прижимного конвейеров *7* расположены на поверхности. Для контроля за состоянием конвейера используется передвижная люлька *4*. Разгрузка руды с КНК-270 осуществляется на конвейер *10* складского комплекса карьера.

Крутонаклонный комплекс КНК-270 карьера «Мурунтау», общий вид которого показан на рис. 4.19, позволил сократить

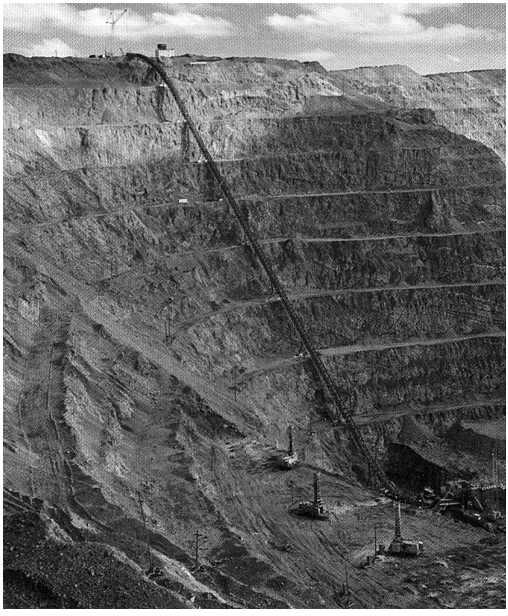


Рис. 4.19. Общий вид КНК-270 на борту карьера «Мурунтау»

расстояние транспортирования руды автосамосвалами на 3,5 км, уменьшить (по сравнению со стандартными подъемными конвейерами) удельные капитальные и эксплуатационные затраты соответственно на 20 и 50%, сократить численность персонала и расход дизельного топлива, снизить количество вредных выбросов в атмосферу.

На карьере «Мурунтау» крутонаклонные конвейеры приняты в качестве основного элемента стратегии его развития в связи с предполагаемым увеличением глубины открытой разработки месторождения до 1000 м.

4.4. КОНВЕЙЕРЫ КАК ТРАНСПОРТИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ ГОРНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

В качестве транспортирующих органов конвейеры используются в роторных и цепных экскаваторах, в отвалообразователях и транспортно-отвальных мостах, перегружателях и различного рода питателях.

У *роторных экскаваторов* ленточными конвейерами оснащены роторная стрела и разгрузочная консоль (рис. 4.20). Ковши ротора разгружаются прямо на ленту стрелового конвейера, с помощью которого поток породы или полезного ископаемого перемещается к месту перегрузки на конвейер разгрузочной консоли. Этим конвейером горная масса доставляется к загрузочному устройству забойного конвейера или к вагонам при погрузке в железнодорожный транспорт.

Производительность стрелового и разгрузочного конвейеров должна соответствовать производительности экскаватора.

У *цепных экскаваторов* с боковой разгрузкой (рис. 4.21) ленточный конвейер находится на разгрузочной консоли. С его помощью поток горной массы направляется для погрузки в средства транспорта (забойный конвейер либо вагоны).

Отвалообразователи (рис. 4.22) предназначены для укладки в отвал вскрышных пород, которые доставляются на отвал конвейером или поступают на приемную консоль отвалообразователя непосредственно от экскаватора (при складировании пород в выработанном пространстве). Отвалообразователи оснащены двумя ленточными конвейерами. Один из них находится на приемной, а другой — на отвальной консоли. И та и другая консоли могут быть поворотными, неполноповоротными или неповоротными. Производительность конвейеров отвалообразователя должна соответствовать производительности магистрального и отвального конвейеров, доставляющих породу к отвалообразователю.

Транспортно-отвальные мосты (*ТОМ*) используются при разработке горизонтальных месторождений для перемещения

Рис. 4.20. Роторный экскаватор

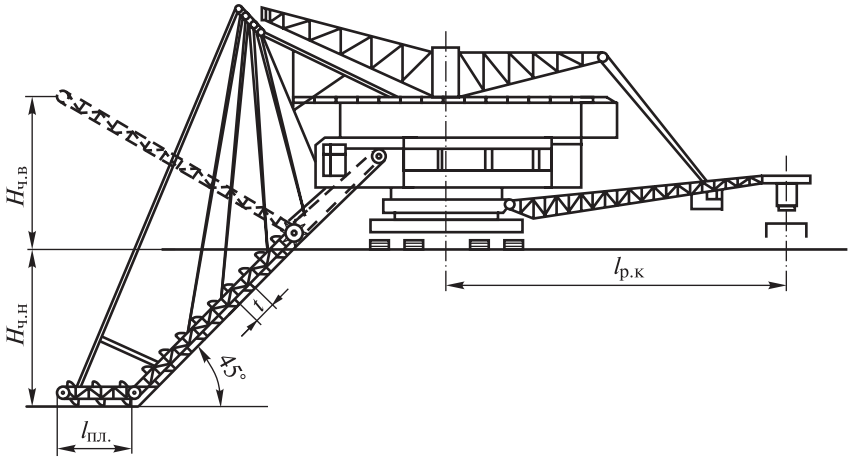


Рис. 4.21. Цепной экскаватор с боковой разгрузкой

Рис. 4.22. Консольный отвалообразователь

мягких и плотных вскрышных пород во внутренние отвалы. ТОМ представляют собой металлическую ферму, включающую *пролетное строение* и *отвальную консоль* (рис. 4.23). Мост опирается на две самоходные опоры — забойную и отвальную, которые обычно имеют железнодорожный ход. Забойная опора располагается на забойной стороне фронта горных работ, а отвальная — в выработанном пространстве на предотвале или (при недостаточно устойчивых породах) непосредственно на кровле пласта полезного ископаемого.

Рис. 4.23. Транспортно-отвальный мост

Ферма моста используется для размещения на ней двух (или более) ленточных конвейеров, один из которых располагается на пролетном строении, а другой — на отвальной консоли. Поток породы с первого конвейера перегружается на второй и по нему в конце отвальной консоли сбрасывается в отвал. Ширина ленты конвейеров составляет до 3 м при скорости движения до 10 м/с. Длина пролета моста достигает 250 м, а отвальной консоли — до 170 м при высоте отсыпки отвала до 65 м. Общая длина моста может составлять до 565 м.

Транспортно-отвальные мосты работают в комплексе с одним или двумя многоковшовыми цепными (см. рис. 4.23) или роторными экскаваторами. Поток породы от экскаваторов передается на конвейер моста по промежуточным ленточным конвейерам, которые смонтированы на фермах, связывающих мост с экскаваторами в единый комплекс машин. В процессе работы мост и экскаваторы непрерывно перемещаются вдоль фронта горных работ, совершая возвратно-поступательное движение от одного фланга карьера до другого со скоростью, соответствующей скорости перемещения экскаваторов (при работе в комплексе с цепными экскаваторами скорость может составлять от 2–3 до 8–9 м/мин). При перемещении моста железнодорожные пути под его опорами и под экскаваторами передвигаются в новое положение с помощью вмонтированных в опоры моста путепередвигателей непрерывного действия. Шаг передвижки путей определяется толщиной отрабатываемой экскаваторами стружки (шириной заходки).

Производительность наиболее крупных транспортно-отвальных мостов достигает 20–23 тыс. $м^3$/ч при мощности отрабатываемой вскрыши до 45–60 м.

Ленточными конвейерами с относительно небольшой длиной оснащаются также различного типа *самоходные перегружатели*. Они используются в качестве промежуточного звена для перегрузки потока горной массы от экскаватора на забойный конвейер, с отвального конвейера на отвалообразователь, с одного уступа на другой (межуступные перегружатели) или с одного конвейера на другой. Перегружатели имеют одну или две опоры, оборудованные, как правило, гусеничным ходом, и один или два конвейера (рис. 4.24). В последнем случае один из конвейеров размещается на приемной, а другой — на разгрузочной консоли с независимыми поворотом и подъемом. Это позволяет более эффективно использовать забойное и отвальное оборудование, уменьшить число передвижек конвейеров, отрабатывая на одно положение забойного конвейера не одну, а две или даже три экскаваторных заходки.

Двухопорные перегружатели (конвейерные мосты) устанавливаются на двух ходовых тележках (рис. 4.25, *а*). При работе в комплексе с роторным экскаватором или отвалообразователем второй опорой перегружателя может служить платформа экскаватора (рис. 4.25, *б*) или отвалообразователя. Перегружатель

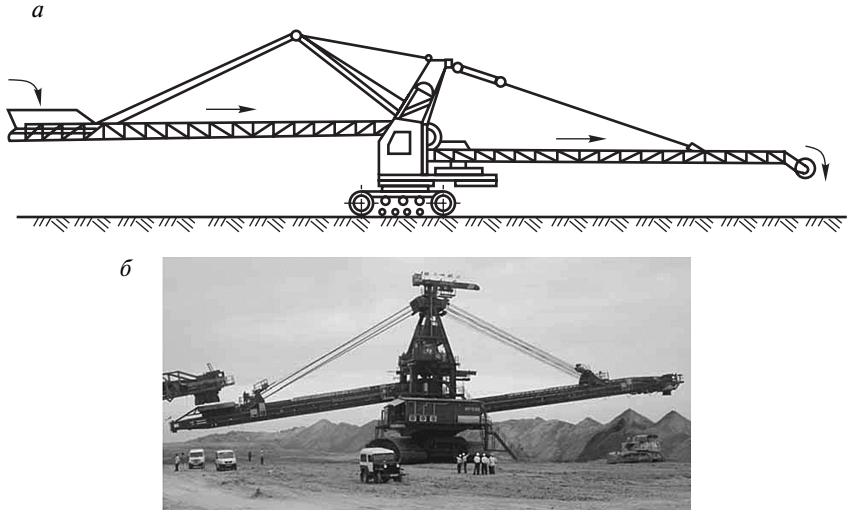
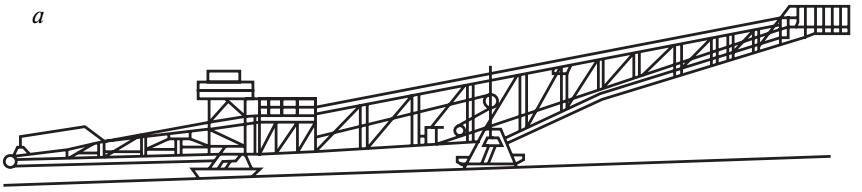


Рис. 4.24. Схема (*а*) и общий вид (*б*) одноопорного самоходного перегружателя

а



б

Рис. 4.25. Схема двухопорного перегружателя (*а*) и установка перегружателя с опорой на платформу роторного экскаватора (*б*)

в этих случаях выполняет одновременно функции разгрузочного устройства экскаватора и приемного устройства отвалообразователя. Суммарная длина приемной и разгрузочной консолей составляет от 60 до 148 м, ширина ленты — от 1200 до 2250 мм при скорости ее движения до 6,25 м/с. Производительность перегружателей достигает 9,3 тыс. $м^3$/ч.

Межуступные перегружатели могут быть оснащены обычными ленточными либо крутонаклонными конвейерами. Одна опора такого перегружателя располагается на нижележащем, а другая — на вышележащем уступе, и перегружатель перемещает поток горной массы с нижнего на верхний уступ. С помощью таких перегружателей можно концентрировать грузопотоки с нескольких нижележащих горизонтов на одну конвейерную линию.

На карьере «Мурунтау» межуступный перегружатель, оснащенный шнекозубчатой дробилкой и крутонаклонным конвейером с прижимной лентой (рис. 4.26), перемещает поток дробленой руды с нижнего на верхний горизонт под углом 40° на высоту 30 м. Руда к перегружателю доставляется автосамосвалами грузоподъемностью до 200 т.

Питатели бункеров-дозаторов и других загрузочных устройств для конвейеров оборудуются короткими ленточными

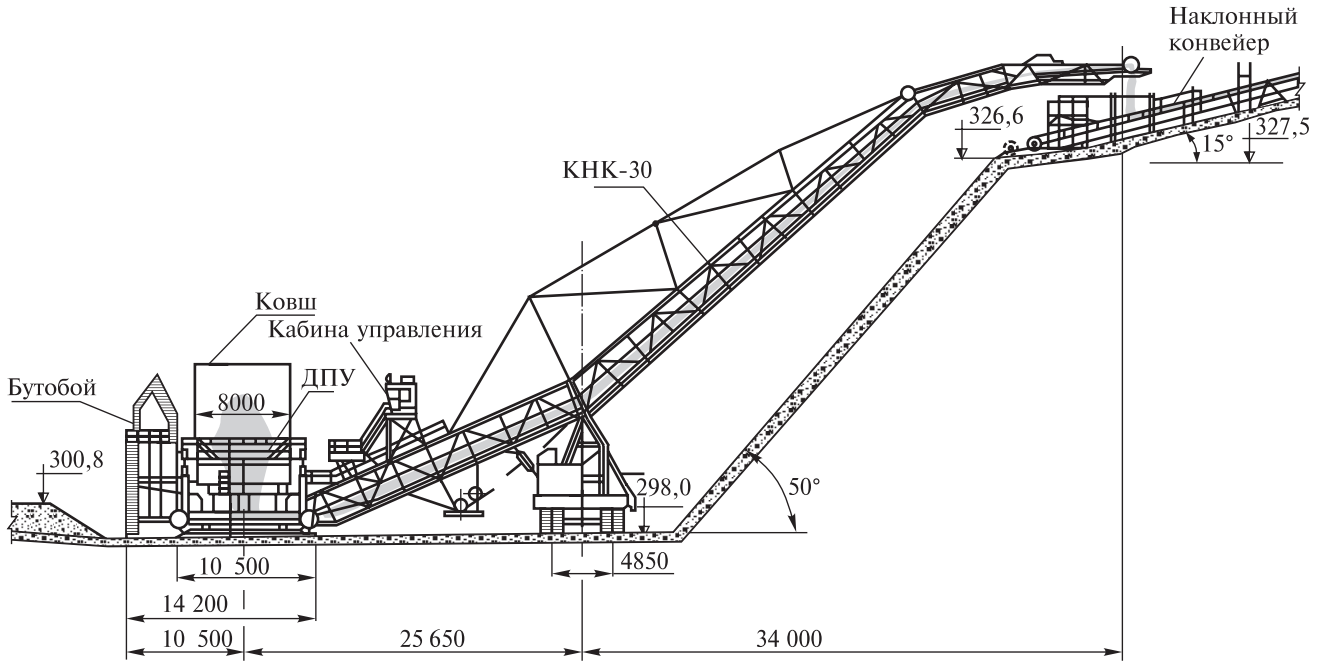


Рис. 4.26. Схема межуступного перегружателя с крутонаклонным конвейером КНК-30 (карьер «Мурунтау»)

или пластинчатыми конвейерами. *Пластинчатые конвейеры*, которые способны выдерживать достаточно высокие динамические нагрузки и давление от загружаемой в бункер породы, являются обычно дном бункера и используются для подачи крупнокусковатых пород из бункера к дробилке (рис. 4.27). *Ленточные конвейеры* в бункерах-дозаторах и других загрузочных устройствах дробильно-перегрузочных пунктов применяются для загрузки на конвейер сыпучих пород или потока дробленых скальных пород и руд после их измельчения в дробилках.

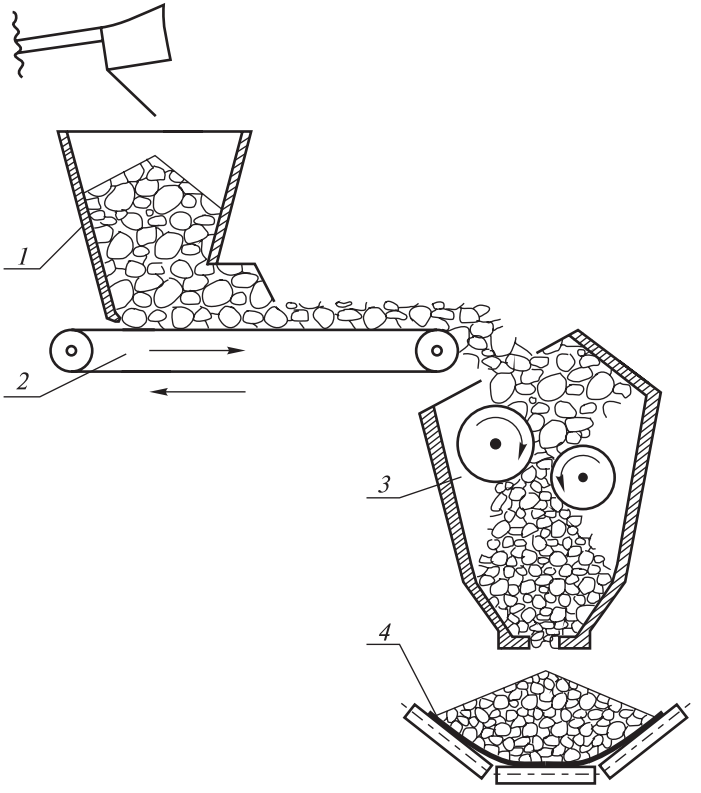


Рис. 4.27. Принципиальная схема дробильно-перегрузочного устройства, оснащенного пластинчатым питателем:

1 — бункер; *2* — пластинчатый питатель; *3* — дробилка; *4* — забойный ленточный конвейер

4.5. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОНВЕЙЕРОВ

Техническая производительность конвейера ($Q_т^к$) определяется скоростью движения ленты и массой (или объемом) породы, приходящейся на 1 пог. м длины ленты. В свою очередь, масса породы на ленте зависит от ширины ленты, формы поперечного сечения груза и насыпной плотности породы. С учетом этих факторов величину $Q_т^к$ можно определить по выражению

$$Q_т^к = C_п k_у (0,9B_л - 0,05)^2 v_л \gamma_н, \text{ т/ч}, \quad (4.4)$$

где $\gamma_н$ — насыпная плотность породы, т/м^3.

Расшифровка входящих в формулу (4.4) величин $C_п$, $k_у$ и $v_л$, а также их численные значения приведены в подразд. 4.1 (см. формулу (4.1)).

Ширину ленты после ее определения по формуле (4.1) и проверки по кусковатости транспортируемой породы (формулы (4.2) и (4.3)) следует принимать в соответствии со стандартными значениями: 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500 и 3000 мм. Скорость движения ленты возможно принимать по табл. 4.3 с учетом требуемой производительности конвейера и характеристики перемещаемых пород.

При определении *эксплуатационной производительности* системы последовательно соединенных конвейеров (забойные, сборочный, подъемный и т.д.) необходимо учитывать уровень надежности отдельных элементов системы, включающей сами конвейеры, перегрузочные пункты и др. Показателем их надежности является коэффициент готовности $k_г$:

$$k_г = T/(T + T_в), \quad (4.5)$$

где T — время непрерывной работы элемента системы между отказами; $T_в$ — время его восстановления.

Для системы, состоящей из n последовательно соединенных элементов, коэффициент готовности системы:

$$k_{г.с} = k_{г.1}\, k_{г.2}\, k_{г.3} \ldots k_{г.n-1}\, k_{г.n}. \quad (4.6)$$

Тогда ожидаемая эксплуатационная производительность системы конвейеров определяется по формуле

$$Q^{э}_{с.к} = Q^{т}_{к} T_{пл} k_{г.с}, \text{ т/сут (т/мес; т/год)}, \quad (4.7)$$

где $T_{пл}$ — планируемое время работы системы.

Значение коэффициента готовности конвейеров и перегрузочных пунктов при транспортировании рыхлых и скальных пород можно принимать равным соответственно 0,96–0,97 и 0,96–0,99.

4.6. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ

Увлажненные мягкие породы склонны к налипанию на рабочую поверхность конвейерной ленты, а при отрицательной температуре налипшая порода примерзает к ней. Сыпучие породы во время движения ленты частично осыпаются, образуя по обе стороны конвейера увеличивающиеся в высоту просыпи. Налипшая, а тем более намерзшая на ленту порода и ее просыпи под конвейер снижают срок службы ленты, приводят к ее пробуксовке и сбегу с роликов, к вынужденным остановкам конвейеров, что снижает их транспортирующую способность. Поэтому помимо поперечного перемещения забойных и отвальных конвейеров (способы перемещения описаны в подразд. 4.2) к основным видам вспомогательных работ при конвейерном транспорте относятся очистка конвейерной ленты от налипшей и примерзшей породы, а также очистка конвейеров от просыпей.

Для очистки ленты от прилипшей породы чаще всего используются механические устройства — металлические или пластмассовые скребки, щетки с эластичными или капроновыми ребрами, вращающиеся ролики с дисками и др. Эти устройства устанавливаются обычно под разгрузочным барабаном или рядом с ним (рис. 4.28). Они прижимаются к рабочей поверхности ленты с помощью пружины или груза и при движении ленты соскабливают с нее прилипшую породу. Для очистки ленты от примерзшей породы используют вращающиеся очистители, лопасти которых производят ударное воздействие на примерзшую породу и таким образом удаляют ее с поверхности ленты. Отделение породы от ленты может производиться также с помощью высоконапорной струи воды или сжатого воздуха.

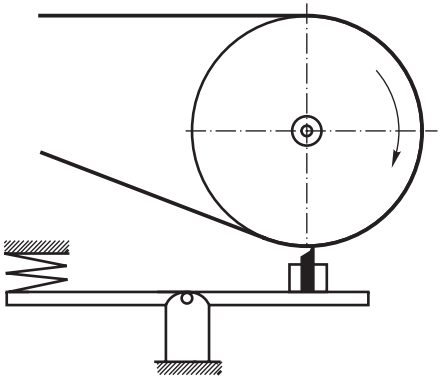


Рис. 4.28. Схема установки скребка для очистки ленты

Чтобы снизить интенсивность налипания и намерзания породы, в ряде случаев прибегают к орошению рабочей поверхности ленты химическими составами (например, раствором хлористого натрия).

Уборка просыпей породы под конвейером является довольно трудоемкой операцией из-за ограниченности пространства между почвой и холостой ветвью конвейера, а также наличия под ставом конвейера рельсошпальной решетки. Механизируют эту работу с помощью специальных самоходных подборщиков и погрузчиков.

Глава 5

КОМБИНИРОВАННЫЙ ТРАНСПОРТ

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Трасса любого грузопотока карьера между пунктами погрузки и разгрузки включает обычно три участка. Первый участок, на котором, собственно, и начинается формирование грузопотока, располагается на рабочих площадках уступов, где осуществляются выемочно-погрузочные работы. Он характеризуется, как правило, горизонтальным положением транспортных коммуникаций с включением наклонных съездов с относительно небольшим перепадом высотных отметок. Обслуживающий этот участок трассы транспорт принято называть *забойным транспортом*, или *транспортом первого звена*. Он должен обеспечивать высокую производительность выемочно-погрузочного оборудования, иметь высокую маневренность и свободный доступ к выемочным машинам в сложных условиях погрузки, возможность селективной отработки сложноструктурных забоев и т.д. Указанным требованиям в наибольшей степени отвечает автомобильный транспорт.

Вторым участком трассы грузопотока является участок подъема горной массы из карьера до уровня господствующей поверхности или ее спуска на эту поверхность при разработке нагорных месторождений. Высота подъема (спуска) груза в карьерах уже в настоящее время в ряде случаев достигает 500–700 м и более, а в перспективе может увеличиться до 800–1000 м. В этих условиях *подъемный транспорт*, или *транспорт второго звена*, обслуживающий участок подъема, должен прежде всего обеспечивать кратчайшее расстояние транспортирования при необходимой провозной способности. Этим требованиям в наибольшей мере отвечает в первую очередь конвейерный

транспорт. При относительно небольших глубинах разработки роль второго звена может выполнять автомобильный или железнодорожный транспорт, а также скиповые подъемники. При разработке нагорных (высокогорных) месторождений кратчайший путь доставки горной массы из рабочей зоны карьера до господствующей поверхности обеспечивается за счет ее перемещения сверху вниз под действием силы тяжести через рудоспуски или рудоскаты.

Третий участок простирается от выхода грузопотока на поверхность до конечного пункта выгрузки. Профиль и план этого участка трассы стремятся выполнить по возможности простыми, что, наряду со стационарностью транспортных коммуникаций участка, обеспечивает возможность движения средств транспорта на высоких скоростях. Другой особенностью этого участка является, как правило, его большая протяженность, нередко достигающая 8–10 км и более. Причем ввиду постепенного исчерпания свободных площадей для размещения отвалов вскрышных пород вблизи карьеров расстояние транспортирования пород по поверхности для большинства карьеров в перспективе будет только увеличиваться. Поэтому *транспорт третьего звена* должен обеспечивать возможность эффективного перемещения больших масс породы или полезного ископаемого на значительное расстояние. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют железнодорожный и конвейерный транспорт.

В относительно простых условиях разработки все три участка трассы грузопотока карьера могут обслуживаться каким-либо одним видом транспорта (автомобильным, железнодорожным или конвейерным). Однако с увеличением глубины открытых работ и усложнением условий транспортирования возникает необходимость использовать на отдельных участках трассы те виды транспорта, которые в условиях данного участка обеспечивают наибольшую эффективность перемещения груза. Таким образом, формируется так называемый *комбинированный транспорт*, представляющий собой комбинациию двух или более видов транспорта в одном грузопотоке. И поскольку каждый вид транспорта в этом случае работает в наиболее благоприятных

для него условиях, то это приводит к повышению общей эффективности транспортирования, снижению затрат на перемещение породы, а значит, и общих затрат на горные работы.

Наиболее широкое применение на карьерах, разрабатывающих месторождения, расположенные ниже господствующего уровня поверхности, получили комбинации *автомобильного и железнодорожного*, *автомобильного и конвейерного транспорта* и реже *автомобильного транспорта и скипового подъема*. При разработке месторождений нагорного или высокогорного типа применяется *автомобильно-гравитационно-железнодорожный* транспорт. Как видно, во всех перечисленных вариантах комбинированного транспорта в качестве транспорта первого звена, называемого еще *сборочным*, используется автомобильный транспорт, обеспечивающий наибольшую эффективность обслуживания забоев экскаваторов.

Комбинированный транспорт предполагает необходимость сооружения *перегрузочных пунктов*, которые являются связующими элементами транспортного потока и на которых горная масса перегружается с одного вида транспорта на другой. Перегрузочные пункты могут находиться на дневной поверхности, вблизи от борта карьера (рис. 5.1, *а*). Но обычно их сооружают внутри карьера, по возможности ближе к рабочим уступам (рис. 5.1, *б*), чтобы максимально сократить расстояние транспортирования горной массы автосамосвалами, производительность которых резко падает с увеличением длины откатки. Перегрузочные пункты могут находиться на одном месте в течение длительного периода времени. Однако, как правило, по мере углубления карьера их периодически переносят на нижележащие горизонты, с тем чтобы среднее расстояние доставки породы автосамосвалами от забоев до перегрузочного пункта не превышало 0,7–1,5 км.

Сооружение, содержание и переустройство (перенос) перегрузочных пунктов связано с дополнительными затратами, размеры которых зависят от конструкции и параметров перегрузочных пунктов. Однако эти затраты с лихвой окупаются в результате повышения общей экономической эффективности работы карьерного транспорта.

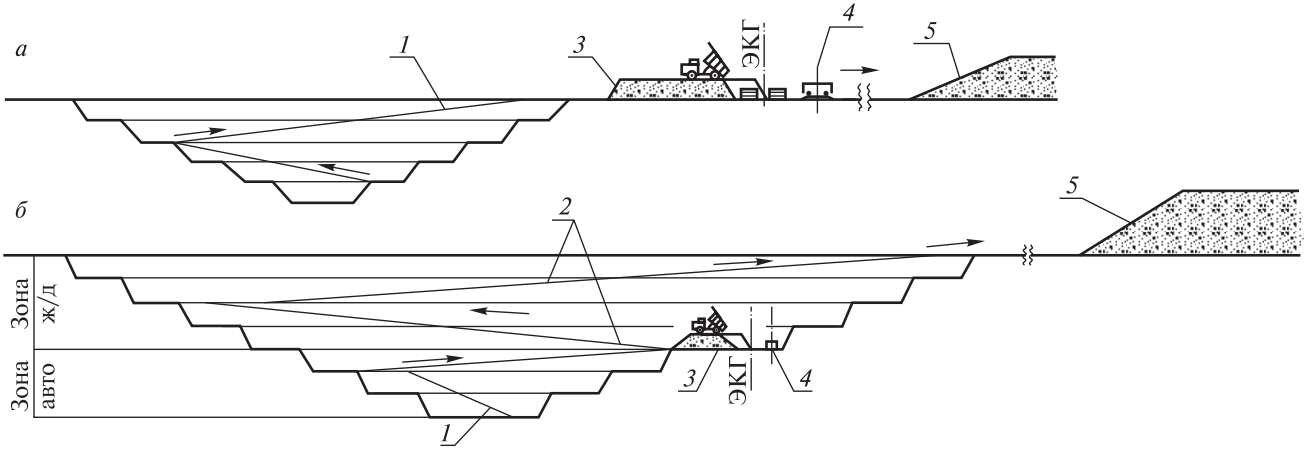


Рис. 5.1. Варианты расположения перегрузочных пунктов при автомобильно-железнодорожном транспорте:

а — на поверхности; *б* — на концентрационном горизонте внутри карьера; *1* — автосъезды; *2* — железнодорожные съезды; *3* — промежуточный склад горной массы; *4* — думпкары; *5* — внешний отвал

5.2. АВТОМОБИЛЬНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт эффективно применять на крупных карьерах с большими размерами в плане и при больших расстояниях перемещения горной массы от карьера до конечного пункта разгрузки. Изначально верхние горизонты таких карьеров отрабатываются с использованием железнодорожного транспорта. Но по мере углубления карьера и сокращения размеров его рабочей зоны существенно затрудняется ввод транспортных коммуникаций на нижние горизонты, усложняется форма трассы и организация движения поездов. В результате падает производительность локомотивосоставов, снижается эффективность работы карьера в целом. Обычно эти трудности возникают при глубине горных работ свыше 120–150 м, а иногда и при меньшей глубине.

В этих условиях при отработке нижележащих уступов целесообразно перейти на применение автомобильного транспорта с организацией внутрикарьерной перегрузки. Перегрузочный пункт (ПП) в виде промежуточного склада вскрышных пород или полезного ископаемого создается на площадке одного из рабочих горизонтов карьера, называемого *концентрационным* (см. рис. 5.1, *б*). Он должен обеспечивать не только эффективность самого процесса перегрузки, но и независимость работы автомобильного и железнодорожного транспорта. Расположение перегрузочного пункта вблизи от рабочей зоны карьера создает благоприятные условия для работы того и другого вида транспорта. При коротком плече откатки автосамосвалы работают с высокой производительностью, обеспечивая одновременно высокую производительность экскаваторов, а железнодорожный транспорт работает в основном на постоянных путях достаточно большой протяженности при высоких скоростях движения. На крупном карьере может быть несколько таких перегрузочных пунктов.

При разработке достаточно глубоко залегающих месторождений карьерами с ограниченными размерами в плане, когда в качестве внутрикарьерного транспорта используются автосамосвалы, а отвалы находятся на большом расстоянии

от карьера, перегрузочные пункты размещают на дневной поверхности, в непосредственной близости от борта карьера (см. рис. 5.1, *а*).

Перегрузка горной массы в думпкары на перегрузочных пунктах производится либо из *промежуточных складов* с помощью экскаваторов или одноковшовых погрузчиков, либо путем непосредственной разгрузки автосамосвалов в думпкары на ПП *эстакадного типа*. В первом случае промежуточный склад в виде насыпи создается на горизонтальной площадке концентрационного горизонта из доставляемой из забоев породы или руды. На таких складах может применяться односторонняя погрузка горной массы в локомотивосоставы (рис. 5.2, *а*), а при большой мощности грузопотока и при наличии площадки необходимой ширины — двухсторонняя. Длина склада составляет 150–200 м и более, а его ширина поверху, которая зависит от схемы погрузки (односторонняя, двухсторонняя) и от радиуса разворота автосамосвалов при маневрировании, — от 30–45 м до 50–55 м. Склад по длине разделяется на два участка. На одном из них происходит разгрузка автосамосвалов, а на другом в это время экскаватор ведет погрузку породы в думпкары (рис. 5.2, *б*). Затем экскаватор переходит на первый участок, а место разгрузки автосамосвалов перемещается на второй.

При использовании на перегрузке экскаваторов с вместимостью ковша 5–8 м^3 минимальная высота склада составляет 5–6 м, а максимальная определяется высотой черпания экскаватора.

$$H_{\text{с. max}} = H_{\text{ч}} + 1, \text{ м}. \tag{5.1}$$

Активная вместимость склада ($V_{\text{с.а}}$) должна быть равна 10–15-суточному грузообороту. В то же время она должна соответствовать объему одной заходки экскаватора.

$$V_{\text{с.а}} \geq H_{\text{с}} A L_{\text{с}}, \text{ м}^3, \tag{5.2}$$

где $H_{\text{с}}$ и $L_{\text{с}}$ — высота и длина склада, м; A — ширина заходки экскаватора, м.

При таких условиях отгрузку руды или породы возможно осуществлять без переноса погрузочного пути на складе.

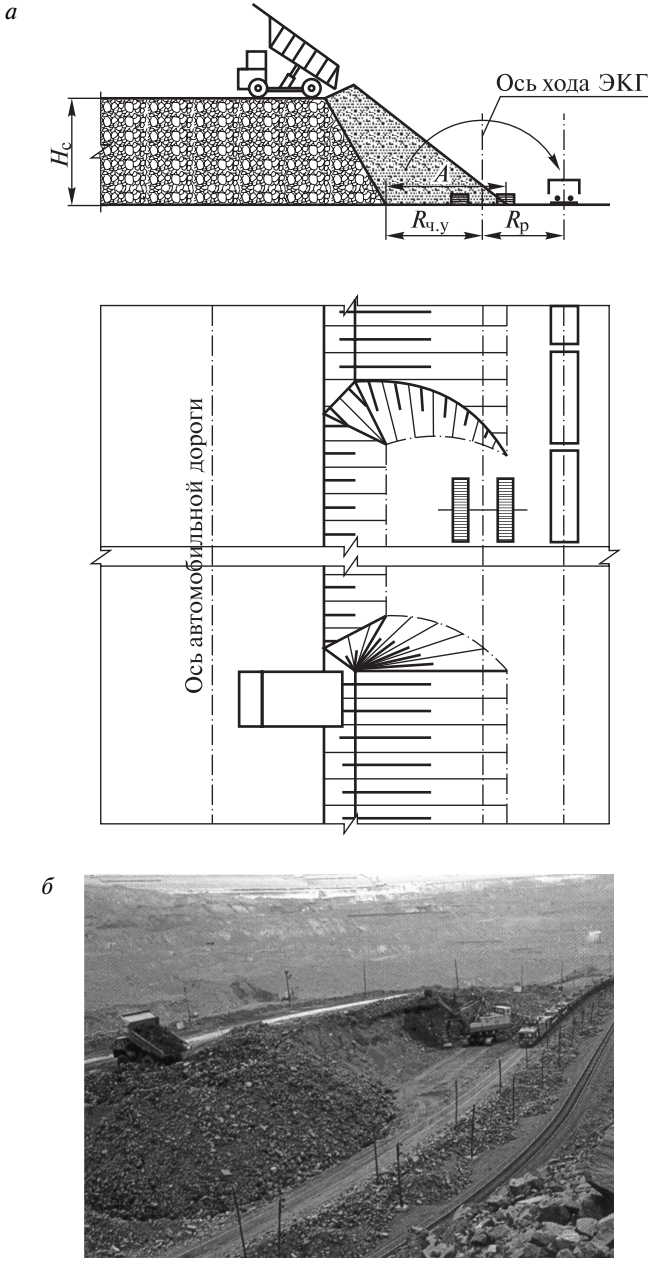


Рис. 5.2. Схема (*а*) и общий вид (*б*) экскаваторного перегрузочного пункта при автомобильно-железнодорожном транспорте

При узких площадках уступов может быть использован более простой способ формирования промежуточного склада путем отсыпки породы из автосамосвалов под откос уступа после его предварительной крутой заоткоски и тщательной зачистки площадки (рис. 5.3). Длина таких складов достигает 200–300 м при ширине разгрузочной площадки 35–40 м. Разгрузка автосамосвалов и погрузка в думпкары, как и в предыдущем случае, производится попеременно на отдельных участках склада.

Простейший перегрузочный пункт с приямком представляет собой траншею глубиной до 4–5 м и шириной до 30–40 м, с одной стороны которой укладывается железнодорожный путь, а с другой оборудуются подъезды для автосамосвалов (рис. 5.4). Глубина траншеи определяется высотой разгрузки экскаватора ($H_р$), который, стоя на ее дне, работает с верхней погрузкой и отгружает сбрасываемую в траншею из самосвалов породу в думпкары.

Достоинствами перегрузочных пунктов с экскаваторной перегрузкой из промежуточных складов является их высокая пропускная способность, поскольку пункты обмена поездов на-

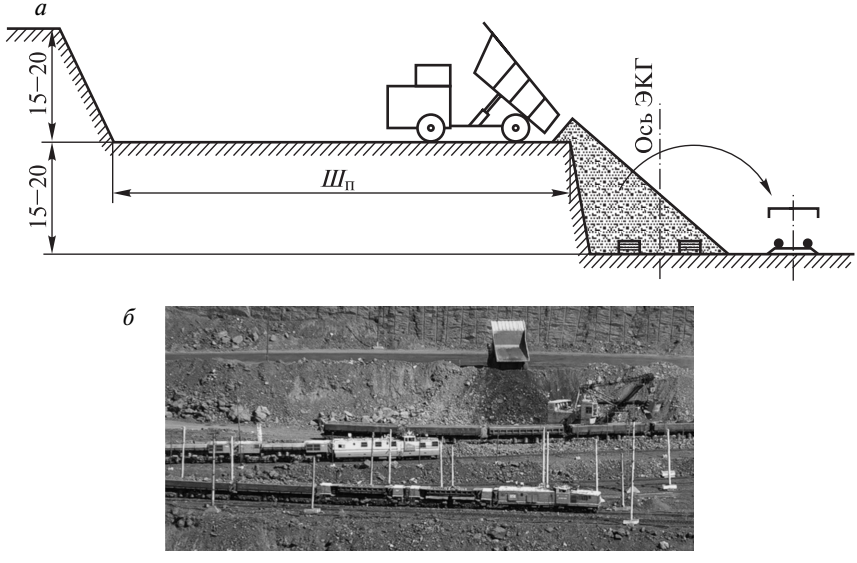


Рис. 5.3. Схема (*а*) и общий вид (*б*) перегрузки из промежуточного склада, формируемого под откосом уступа

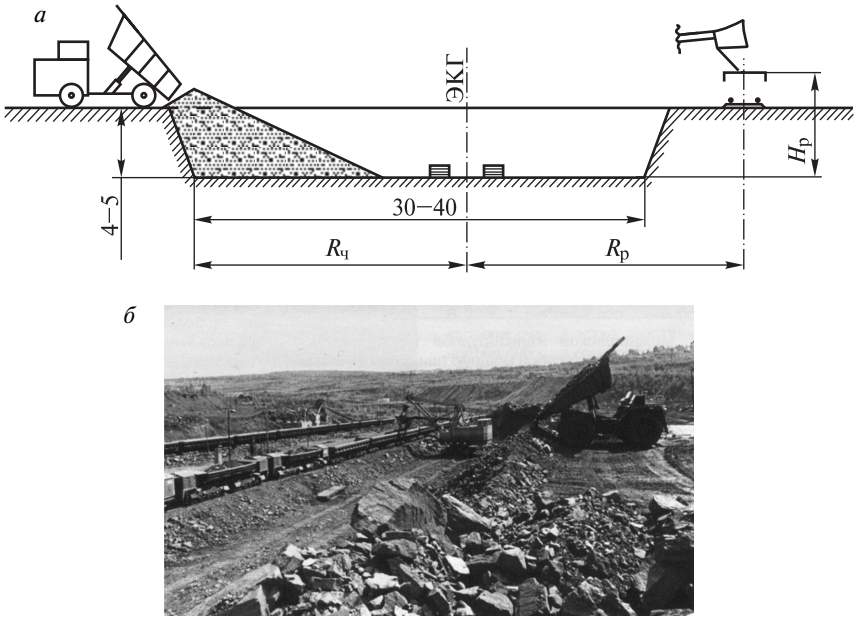


Рис. 5.4. Схема (*а*) и общий вид (*б*) перегрузки со складированием горной массы в приямке

ходятся в непосредственной близости от ПП, а также независимость работы автомобильного и железнодорожного транспорта и простота сооружения складов. А основной недостаток — это необходимость привлечения дополнительного экскаваторного или иного погрузочного оборудования. И хотя производительность экскаваторов на перегрузке на 20–40% выше, чем в забоях, на перегрузочных пунктах крупных карьеров бывает занято до 4–5 и более мощных экскаваторов.

Исключить этот недостаток возможно при непосредственной перегрузке породы из автосамосвалов в думпкары на перегрузочных пунктах *эстакадного типа*, которые представляют собой насыпи с подпорными стенками из крупных железобетонных элементов (рис. 5.5). Размеры эстакады (ее длина, ширина и высота) определяются необходимой пропускной способностью ПП и параметрами подвижного состава. Как и промежуточные склады, эстакадные ПП могут сооружаться для односторонней или двухсторонней погрузки.

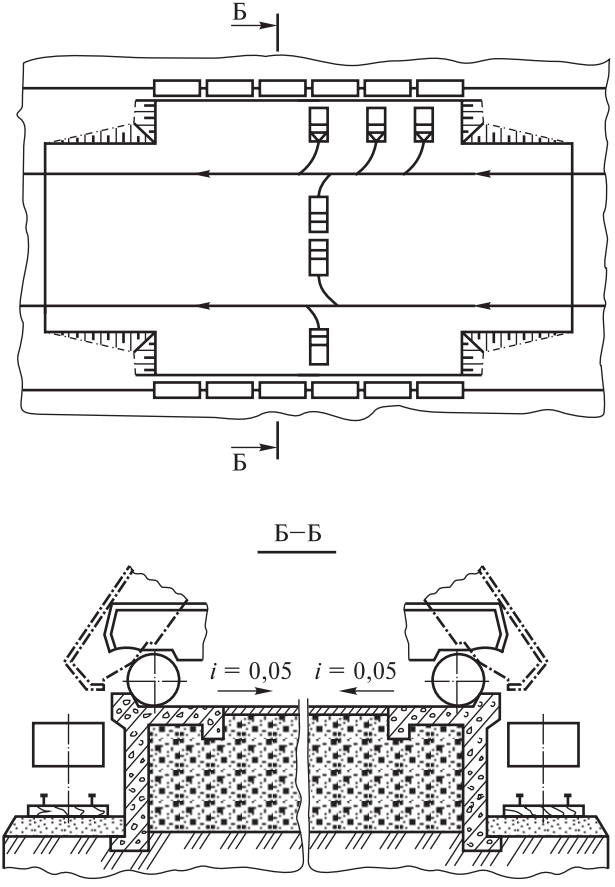


Рис. 5.5. Схема перегрузочного пункта эстакадного типа

Непосредственная перегрузка характеризуется весьма жесткой взаимосвязью между автомобильным и железнодорожным транспортом и необходимостью исключительно четкой организации их работы. Смягчить эту взаимосвязь возможно за счет оснащения перегрузочной эстакады специальными устройствами для повышения эффективности перегрузки (опрокидывающиеся дозаторы, перегрузочные бункеры и др.), что, однако, усложняет конструкцию перегрузочных пунктов и создает проблемы при их переносе. Возможно также организовать рядом с эстакадой компенсационный склад, куда могут разгружаться автосамос-

валы в отсутствии порожних локомотивосоставов. Но при этом для отгрузки горной массы из склада должно быть задействовано необходимое количество экскаваторов или погрузчиков.

По мере развития горных работ в карьере перегрузочные пункты периодически переносят на более глубокие горизонты, чтобы сохранить рациональное расстояние перемещения горной массы автомобильным транспортом. Шаг переноса ПП по высоте должен определяться на основе минимизации суммарных затрат на транспорт и на переустройство перегрузочного пункта. Продолжительность работы ПП на одном месте при прочих равных условиях зависит от скорости углубления карьера.

5.3. АВТОМОБИЛЬНО-КОНВЕЙЕРНЫЙ ТРАНСПОРТ

В отличие от автомобильно-железнодорожного транспорта, при использовании которого все технологические процессы выполняются с помощью техники цикличного действия, при автомобильно-конвейерном транспорте машины цикличного действия применяются только для погрузки и доставки породы от забоев экскаваторов к перегрузочному пункту. Дальнейшее перемещение породы и ее складирование осуществляется с применением техники непрерывного действия по поточной технологии. В связи с этим технологию открытых горных работ, базирующуюся на совместном использовании техники цикличного и непрерывного действия, принято называть *циклично-поточной* (*ЦПТ*).

Суть этой технологии при разработке предварительно взорванных скальных пород и руд состоит в том, что их выемка из развала производится, одноковшовыми экскаваторами с вместимостью ковша обычно 5–12,5 м^3 (иногда погрузчиками) с погрузкой в автосамосвалы грузоподъемностью 55–180 т, которые доставляют горную массу до перегрузочного пункта. Помимо собственно перегрузки основной функцией ПП в этом случае является подготовка руды или породы к дальнейшей транспортировке конвейерами, которая состоит в обеспечении требуемой их кусковатости (максимальный размер кусков не должен превышать 400–450 мм). Это достигается путем дополнительного

механического дробления породы с помощью установленных на перегрузочном пункте дробилок. Такие перегрузочные пункты принято называть *дробильно-перегрузочными* (*ДПП*). При высоком качестве взрывной подготовки породы вместо дробления может быть использовано ее грохочение.

При разработке вскрышных пород дробленая горная масса из дробилки поступает на подъемный конвейер, с помощью которого выдается на поверхность. Далее магистральным конвейером она перемещается до отвала, где с отвального конвейера передается на приемную консоль отвалообразователя и укладывается в отвал. Если циклично-поточная технология используется при добыче руды, то после ее дробления и подъема на поверхность поток руды магистральным конвейером доставляется непосредственно к бункерам обогатительной фабрики или на склад для ее последующей перегрузки.

Дробильно-перегрузочные пункты размещаются, как правило, на концентрационном горизонте внутри карьера (рис. 5.6). По мере ухода горных работ в глубину ПП опускается на нижележащие уступы, что позволяет сохранять короткое плечо доставки породы автосамосвалами. Одновременно с этим подъемный конвейер удлиняется в соответствии с шагом переноса ПП по высоте, величина которого определяется на той же основе, что и при автомобильно-железнодорожном транспорте.

Основные положения по применению циклично-поточной технологии на карьерах были разработаны в 1962–1966 гг. Днепропетровским горным институтом и Институтом геотехнической механики АН УССР и впервые были реализованы при добыче руды на карьерах горно-обогатительных комбинатов Криворожского железорудного бассейна. К настоящему времени на применение ЦПТ при отработке нижних горизонтов перешли на большинстве крупных рудных карьеров России (Ковдорский ГОК, Оленегорский ГОК и др.) и стран ближнего зарубежья (криворожские карьеры в Украине, карьер «Мурунтау» в Узбекистане и др.). Опыт работы этих карьеров убедительно доказывает высокую эффективность циклично-поточной технологии. Она позволяет существенно улучшить показатели использования горно-транспортного оборудования и обеспечить высокую концентрацию горных работ на нижних горизонтах карьеров при

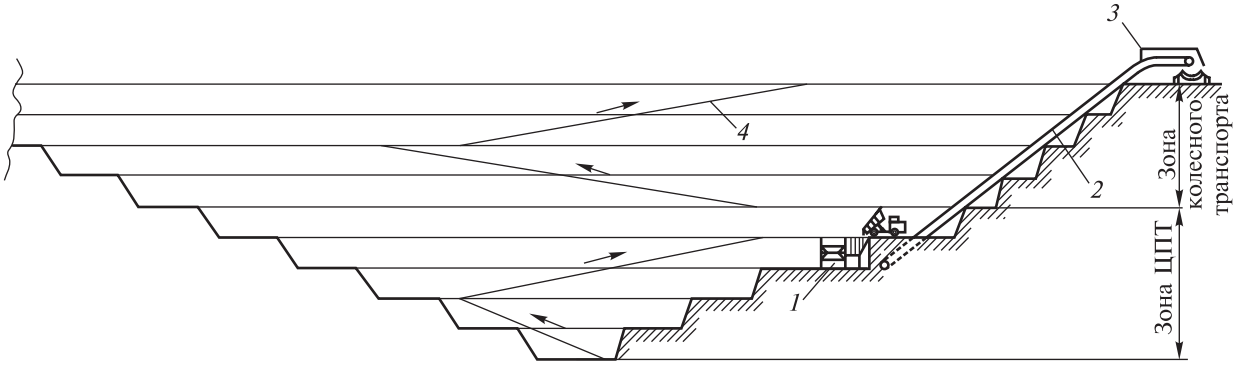


Рис. 5.6. Схема размещения объектов автомобильно-конвейерного транспорта:

1 — дробильно-перегрузочный пункт; *2* — подъемный конвейер; *3* — пункт перегрузки с подъемного на магистральный конвейер; *4* — автомобильные съезды

значительном сокращении количества работающих автосамосвалов. При этом на 14–16% снижается энергопотребление, на 10–15% увеличивается производительность труда, а в конечном счете в той же мере повышается общая экономическая эффективность работы горно-добывающего предприятия.

На зарубежных карьерах (США, Канада, Австралия, Чили и др.) удельный вес ЦПТ в общем объеме добываемой и транспортируемой горной массы уже превышает 50% при экономической эффективности, значительно превышающей эффективность традиционной цикличной технологии.

На начальном этапе реализации циклично-поточная технология применялась при добыче руды, переработка которой неизбежно связана с последующим ее механическим дроблением и измельчением. В этом случае дробилку стадии крупного дробления просто переносили с дробильной фабрики в карьер, что позволяло выполнить эту стадию дробления, одновременно обеспечив подготовку руды для дальнейшей ее транспортировки конвейерами. Дополнительные затраты при этом были связаны только со строительством дробильно-перегрузочного пункта и конвейерной линии. Но зато полностью исключалась необходимость использовать дорогостоящий колесный транспорт для доставки руды до обогатительной фабрики на самом сложном наклонном участке трассы грузопотока.

Вскрышные породы, которые при традиционной технологии горных работ вывозятся в отвалы средствами колесного транспорта, не нуждаются в дополнительном механическом дроблении. Поэтому при переходе на ЦПТ затраты, связанные с дроблением породы, ложатся дополнительным бременем на конечную стоимость продукции. Тем не менее в последние годы благодаря своим преимуществам ЦПТ все более широко применяется и на вскрышных работах. Дополнительные затраты на дробление при этом перекрываются экономией за счет сокращения затрат на транспортировку.

Мировая практика, а также научные и проектные проработки показывают, что в условиях неуклонного увеличения глубины открытых горных работ эффективная разработка нижних горизонтов карьеров возможна только при использовании циклично-поточной технологии, особенно при применении

на участке подъема крутонаклонных конвейеров. Дальнейшее расширение масштабов ее применения является сейчас одним из важнейших направлений научно-технического прогресса в области открытых горных работ.

Конструкция и параметры перегрузочных пунктов при автомобильно-конвейерном транспорте принимаются в зависимости от характеристики и количества поступающей на ПП горной массы. При незначительном (менее 3–5%) содержании крупных кусков, не пригодных для транспортирования конвейерами (свыше 400–450 мм), перегрузочные пункты достаточно оборудовать *грохотильными установками*, оснащенными колосниковыми, вибрационными или иного вида грохотами (рис. 5.7). Длина колосникового грохота (при угле его наклона 28–35°) должна быть не менее 6 м, а ширина щели между колосниками — не более 230–250 мм. Вибрационные грохоты отличаются более высокой эффективностью грохочения. Основная масса породы, разгружаемой на грохот из автосамосвалов, проваливается сквозь колосники в бункер, из которого питателем она подается на конвейер. Крупные куски, по мере их накопления, отгружают экскаватором или погрузчиком в автосамосвалы

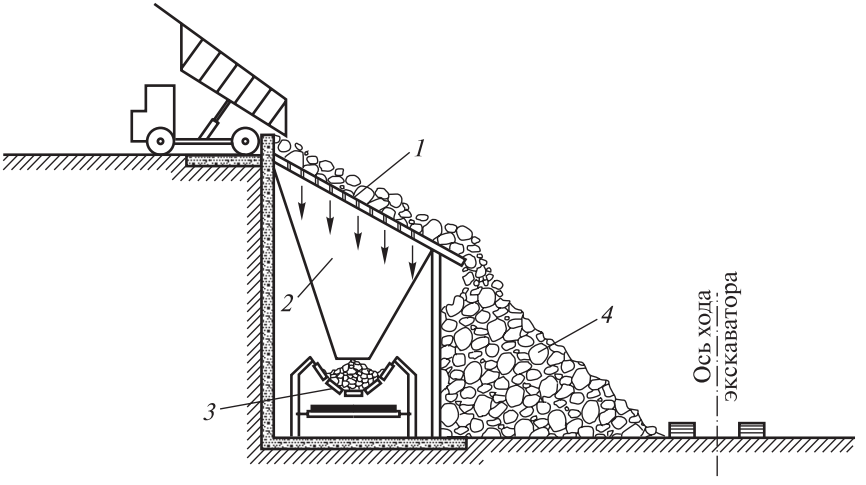


Рис. 5.7. Схема перегрузочного пункта с грохотильной установкой:
1 — колосниковый грохот; *2* — бункер; *3* — ленточный конвейер; *4* — штабель некондиционных фракций

и вывозят в отвал. Возможно также с помощью бутобоя дробить такие куски на месте, после чего погрузчиком вновь подавать их на грохот или непосредственно на конвейер.

При большом содержании в породной массе крупных кусков приходится сооружать *дробильно-перегрузочные пункты* (*ДПП*), которые оборудуются щековыми, конусными или иного типа дробилками. Через дробилки обычно пропускается вся доставляемая на ДПП порода. При этом мелкие фракции проходят через выпускное отверстие дробилки, не подвергаясь дополнительному измельчению, а вся остальная порода дробится на куски меньшего размера. Если в поступающей горной массе содержание мелких фракций, пригодных для транспортирования конвейерами, составляет порядка 20–40%, то перед подачей в дробилку весь поток породы экономически целесообразно подвергать предварительному грохочению (рис. 5.8). Это позволяет уменьшить объем поступающей в дробилку породы и снизить расход электроэнергии на дробление, поскольку в дробилку будут попадать только куски, размер которых превышает 400–450 мм, а мелкие подгрохотные фракции сразу попадают на конвейер. Подобный дробильно-грохотильный комплекс, предназначенный для подготовки руды к транспортировке кон-

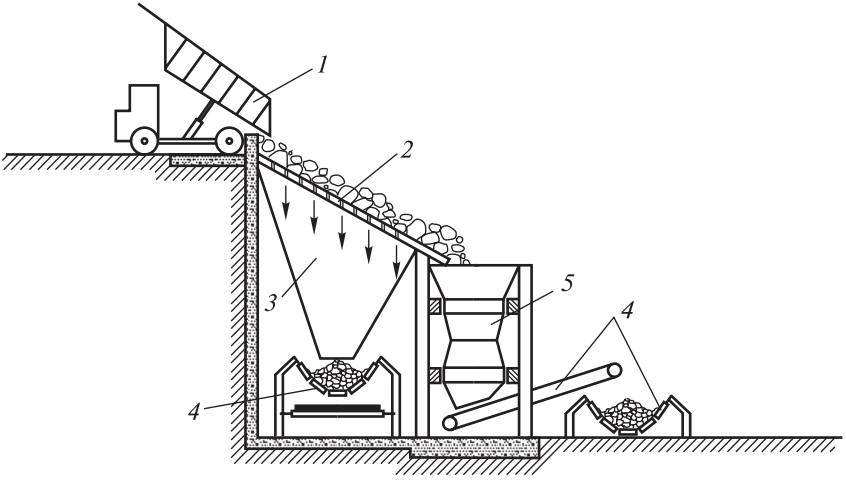


Рис. 5.8. Схема дробильно-грохотильного перегрузочного пункта:
1 — автосамосвал; *2* — грохот; *3* — бункер; *4* — конвейеры; *5* — дробилка

вейером, был построен, в частности, в карьере Оленегорского горно-обогатительного комбината.

В период промышленного освоения циклично-поточной технологии дробильно-перегрузочные пункты строились стационарно. Они представляли собой дорогостоящие капитальные сооружения из монолитного и сборного железобетона. Глубина котлованов для размещения дробильного, грохотильного и иного оборудования достигала 30 м и более при высоте строящегося над котлованом здания до 20 м. Кроме того, это было связано с необходимостью выполнения большого объема вскрышных работ под площадку для ДПП, который достигал 8–10 млн $м^3$ и более. Продолжительность строительства такого ДПП составляла, как правило, не менее 3–5 лет, а период его эксплуатации на одном горизонте — 8–10 лет.

При темпах углубления карьера 7–15 м/год горные работы за этот период уходили от концентрационного горизонта на большую глубину, а расстояние транспортирования автосамосвалами от забоя до ДПП возрастало до 3 км и более. В результате резко снижалась производительность автосамосвалов, возрастало необходимое их количество и существенно увеличивались затраты на транспорт. Перенос же ДПП, наряду с большими затратами на строительство, был связан со значительными потерями ранее вложенных средств, поскольку при переносе удавалось использовать только механическую часть ДПП (дробилки, питатели и др.), затраты на которые составляют не более 28–30% его общей стоимости. Все это приводило к снижению экономической эффективности ЦПТ.

Дальнейшее развитие ЦПТ пошло по пути создания и применения *полустационарных передвижных дробильно-перегрузочных установок* (*ДПУ*) в блочно-модульном исполнении. Созданная ПО «Уралмаш» установка ДПУ-2000 (рис. 5.9) включает модуль бункера-питателя *1* с пластинчатым питателем *2* длиной 22 м, модуль дробления *3*, передвижной модуль разгрузочного конвейера на пневмоколесном ходу *4*, а также гусеничный транспортер *5* грузоподъемностью 1000 т. С его помощью осуществляется перемещение модулей дробления и бункера-питателя при переносе ДПУ на новое место. Оба эти модуля

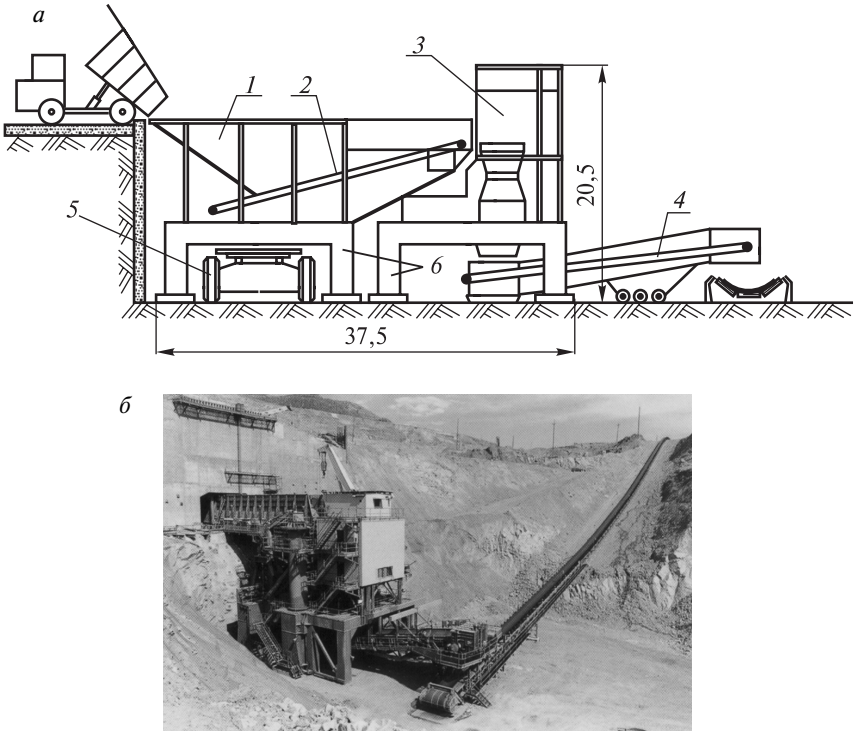


Рис. 5.9. Схема (*а*) и общий вид (*б*) модульной дробильно-перегрузочной установки (ДПУ)

устанавливаются на опорных основаниях *6*, которые крепятся к поверхности площадки уступа анкерами глубокого заложения. В рабочем положении модули соединяются воедино и устанавливаются на площадке так, что модуль бункера-питателя своим торцом упирается в подпорную стенку у откоса уступа. Ширина бункера составляет 15 м, что позволяет разгружаться в него одновременно двум автосамосвалам грузоподъемностью до 110 т. Из бункера порода пластинчатым питателем подается в модуль дробления, оснащенный конусной дробилкой. Дробленая порода через воронку направляется на разгрузочный модуль, а с него — на подъемный конвейер. Общая масса установки составляет 3 тыс. т.

Перемещение такой установки с одного горизонта на другой занимает 1–2 недели при небольших затратах на ее демонтаж

и установку на новом месте. Это позволяет оперативно и своевременно перемещать ДПУ на нижние горизонты по мере углубления карьера, постоянно сохраняя оптимальное расстояние транспортирования горной массы от забоев до ДПУ автосамосвалами. В результате технико-экономическая эффективность ЦПТ постоянно поддерживается на высоком уровне.

Первая в странах СНГ передвижная ДПУ была введена в эксплуатацию в 1996 г. на железорудном карьере Полтавского ГОКа (Украина). После 1999 г. подобные установки нашли применение на Ковдорском и других ГОКах России. На всех карьерах в качестве подъемных используются обычные ленточные конвейеры с углом подъема 16–18°. При таких углах подъема при переносе ДПУ на более глубокие горизонты длина конвейерных подъемников существенно увеличивается, усложняется их трасса, значительно возрастает объем горно-капитальных работ. Практически полностью устранить указанные негативные факторы возможно при использовании крутонаклонных конвейерных подъемников (КНК). И, как показывает анализ, наиболее полная реализация преимуществ и возможностей циклично-поточной технологии может быть достигнута только при применении передвижных ДПУ в комплексе с крутонаклонными конвейерными подъемниками. Предпочтение при этом отдается подъемникам с прижимной лентой, производительность которых достигает 10 тыс. $м^3$/ч и более при высоте подъема одним конвейерным ставом до 300 м. Для обеспечения надежности транспортной системы в карьере должны действовать одновременно не менее 2–3 дробильно-перегрузочных установок с КНК.

Использование блочно-модульных передвижных ДПУ в комплексе с КНК позволяет при углублении карьера сохранять парк автосамосвалов на минимально необходимом уровне. И тем не менее, использование автотранспорта связано, во-первых, с достаточно крупными капитальными и эксплуатационными затратами, а во-вторых, работа большегрузных автосамосвалов сопровождается выбросами значительного количества вредных газов и пыли, борьба с которыми в глубоких карьерах затруднительна.

Рис. 5.10. Общий вид самоходного дробильно-перегрузочного агрегата (СДПА) с конвейерным перегружателем

Полностью исключить применение автосамосвалов при разработке крепких скальных пород возможно при использовании *самоходных дробильно-перегрузочных агрегатов* (СДПА), работающих в комплексе с одноковшовыми экскаваторами (рис. 5.10 и 5.11). Аналогично средствам колесного транспорта агрегат *1* располагается рядом с экскаватором и одновременно с ним пе-

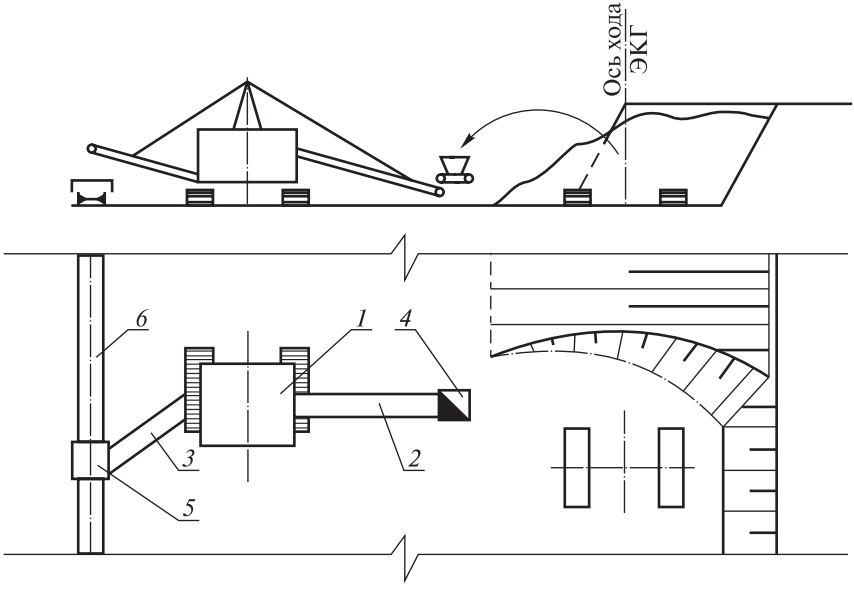


Рис. 5.11. Схема работы самоходного дробильно-перегрузочного агрегата в комплексе с одноковшовым экскаватором:

1 — СДПА; *2* и *3* — соответственно приемная и разгрузочная консоли агрегата; *4* — бункер; *5* — загрузочное устройство; *6* — забойный конвейер

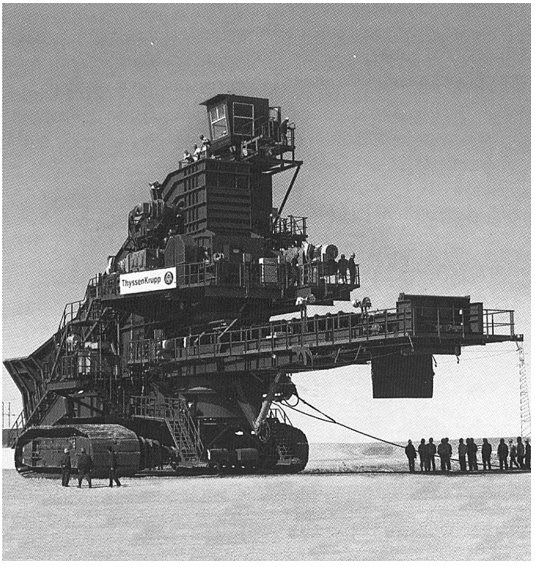
ремещается вдоль уступа по мере отработки заходки. Взорванная порода загружается экскаватором в приемный бункер агрегата *4*, откуда она с помощью питателя подается на конвейер приемной консоли и в дробилку. Дробленая порода из дробилки направляется на конвейер разгрузочной консоли *3*, а с нее — в загрузочное устройство *5* забойного конвейера *6*.

В 2007–2008 гг. германской компанией «Тиссен Крупп Фёрдертехник» были построены первые *самоходные*, *полностью мобильные дробильные комплексы* (*ПМД*) (рис. 5.12) на гусеничном ходу производительностью 3500 и 9000 т/ч, оборудованные валковыми дробилками. Они предназначены для работы в комплексе с одноковшовыми экскаваторами при разработке предварительно взорванных крепких горных пород в условиях низких температур наружного воздуха (до –49 °С). Объем приемного бункера агрегата (рис. 5.13) кратен вместимости ковша экскаватора (по аналогии с вместимостью кузова автосамосвала). Его элементы, подвергающиеся повышенному износу, изготовлены из специальной износостойкой стали. Погрузка дробленой породы на забойный конвейер осуществляется через поворотную разгрузочную консоль. При необходимости дробильный агрегат может использоваться в комплексе с самоходным конвейерным перегружателем (см. рис. 5.12, *б*).

Самоходные дробильные комплексы создают условия для непрерывной и высокопроизводительной работы выемочной техники с высоким коэффициентом использования во времени. Их применение позволяет перейти на полную конвейеризацию карьерного транспорта при разработке скальных пород.

При строительстве дробильно-перегрузочных пунктов и создании дробильных установок используются различные типы дробилок — конусные, щековые, роторные, конусно-валковые и др. Основные требования к дробилкам, особенно для передвижных и самоходных установок, состоят в том, чтобы при достаточной производительности они имели небольшие размеры и массу и отличались меньшей инерционностью при работе. В наибольшей степени этим требованиям отвечают конусно-валковые дробилки крупного дробления типа КВКД (табл. 5.1), а также роторные дробилки.

а



б

Рис. 5.12. Полностью мобильный самоходный дробильный комплекс (ПМД):
а — вид со стороны разгрузочной консоли; *б* — работа ПМД в комплексе с одноковшовым экскаватором и самоходным конвейерным перегружателем

Таблица 5.1

Техническая характеристика дробилок типа КВКД

Показатели	КВКД-1450/180	КВКД-1800/250
Производительность, $м^3/ч$	2000	3000
Размеры приемного отверстия, мм	1450×2200	1800×3200
Ширина разгрузочной щели, мм	180	250
Коэффициент крепости пород (по М.М. Протодьяконову)	До 20	До 20
Мощность привода дробилки, кВт	500	500
Масса дробилки, т	340	600

а

б

Рис. 5.13. Общий вид приемного бункера комплекса ПМД (*а*) и загрузка породы в бункер (*б*)

5.4. АВТОМОБИЛЬНО-ГРАВИТАЦИОННО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Перемещение горных пород под действием собственного веса используется при разработке нагорных (высокогорных) месторождений для перепуска горной массы из рабочей зоны карьера на господствующий уровень поверхности. Этот спо-

соб применяется также для перепуска горной массы с нижних горизонтов глубоких карьеров на уровень подземных горных выработок (тоннели, наклонные стволы, штольни и др.), с помощью которых осуществляется вскрытие этих горизонтов.

Перепуск горной массы производится в основном через расположенные вертикально или наклонно *капитальные рудоспуски* круглого и реже прямоугольного сечения, площадь которого составляет обычно от 7 до 20 м^2. Рудоспуски располагаются чаще всего внутри контура карьера (рис. 5.14) и лишь иногда — за его пределами. Каждый рудоспуск состоит из устья, ствола с аккумулирующей (бункерной) емкостью и выпускного устройства (рис. 5.15). Через выпускное устройство нижняя часть рудоспуска имеет выход в подсекающую подземную выработку, по которой горная масса железнодорожным или конвейерным транспортом направляется к месту назначения. Глубина рудоспусков изменяется от 50 до 700 м, но чаще составляет 150–200 м. Количество рабочих и резервных рудоспусков в карьере определяется его производственной мощностью и пропускной способностью рудоспусков, зависящей прежде всего от их диаметра.

Автосамосвалы или погрузчики, доставляющие руду (породу) от забоев к рудоспуску, разгружаются непосредственно в его устье (рис. 5.16) или рядом с ним. В этом случае руда сталкивается в рудоспуск бульдозером, который используется также на зачист-

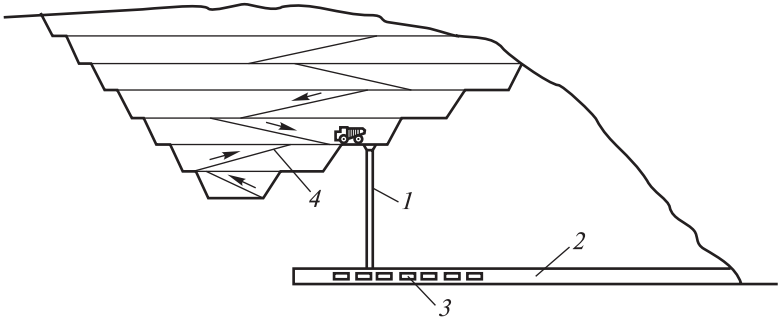


Рис. 5.14. Схема расположения рудоспуска на концентрационном горизонте внутри карьера:

1 — рудоспуск; *2* — штольня; *3* — локомотивосостав; *4* — автомобильные съезды (стрелки указывают направление движения груженых автосамосвалов)

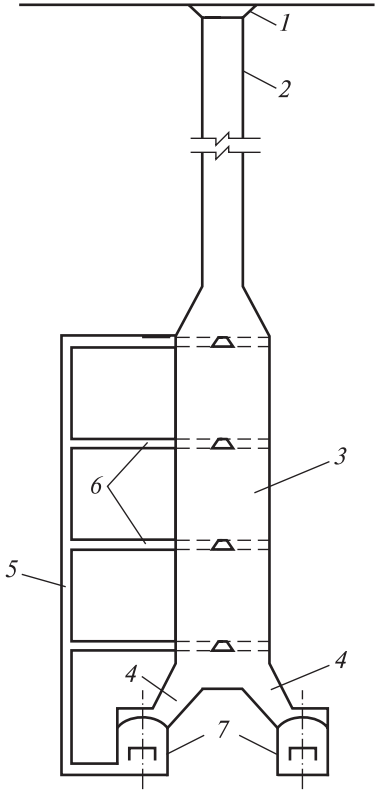


Рис. 5.15. Схема рудоспуска:

1 — устье; *2* — ствол; *3* — аккумулирующая (бункерная) часть рудоспуска; *4* — выпускные устройства; *5* — контрольная восстающая выработка; *6* — смотровые ходки; *7* — погрузочные камеры

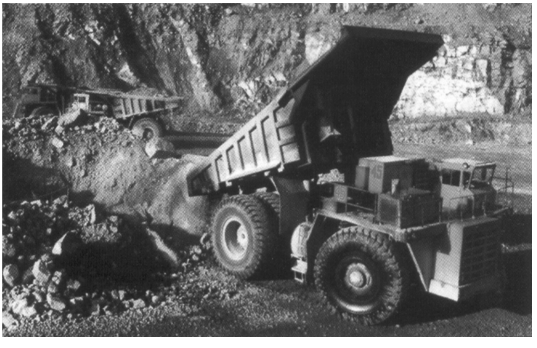


Рис. 5.16. Разгрузка автосамосвала в открытое устье рудоспуска

ке площадки возле устья для маневрирования автосамосвалов. Для предотвращения попадания в рудоспуск крупных кусков руды, которые при падении способны разрушать его стенки, устье перекрывается колосниками. Остающиеся на колосниках некондиционные куски разрушаются с помощью пневмо- или гидробутобоев. С нерабочих сторон устье рудоспусков должно иметь ограждение.

Диаметр рудоспусков круглого сечения составляет от 3 до 6 м. Стволы проходятся обычно без крепления. Поэтому, чтобы продлить срок службы рудоспусков, их стремятся размещать в прочных монолитных породах. Диаметр ствола принимается в соответствии с необходимой пропускной способностью рудоспуска с учетом кусковатости перемещаемого по нему материала. Он должен быть как минимум в три раза больше максимального размера куска, т.е.

$$Д_{\text{р}} \geq 3a_{\max}, \tag{5.3}$$

где $a_{\max}$ — максимальный размер куска, м.

Аккумулирующая емкость, которая сооружается в нижней части рудоспуска, используется для накопления руды, а также для снижения динамического воздействия падающих с большой высоты кусков на стенки рудоспуска. Ее поперечные размеры обычно в 2–3 раза больше, чем у ствола. Высота этой части рудоспуска составляет 40–50 м и более.

Для выпуска руды и ее погрузки в средства транспорта используется несколько вариантов схем выпускных устройств. Наиболее распространены схемы гравитационного выпуска с механическим (пальцевым) затвором (рис. 5.17). Расположенное наклонно днище аккумулирующей емкости или ствола армируется металлическими плитами, предохраняющими его от разрушения падающей сверху рудой.

Погрузка крупнокусковатой руды производится в думпкары, которые подаются к рудоспуску по штольне или тоннелю (см. рис. 5.14). Если через рудоспуск перемещается мелкокусковатая руда (после механического дробления в карьере), то ее дальнейшая транспортировка может осуществляться с помощью

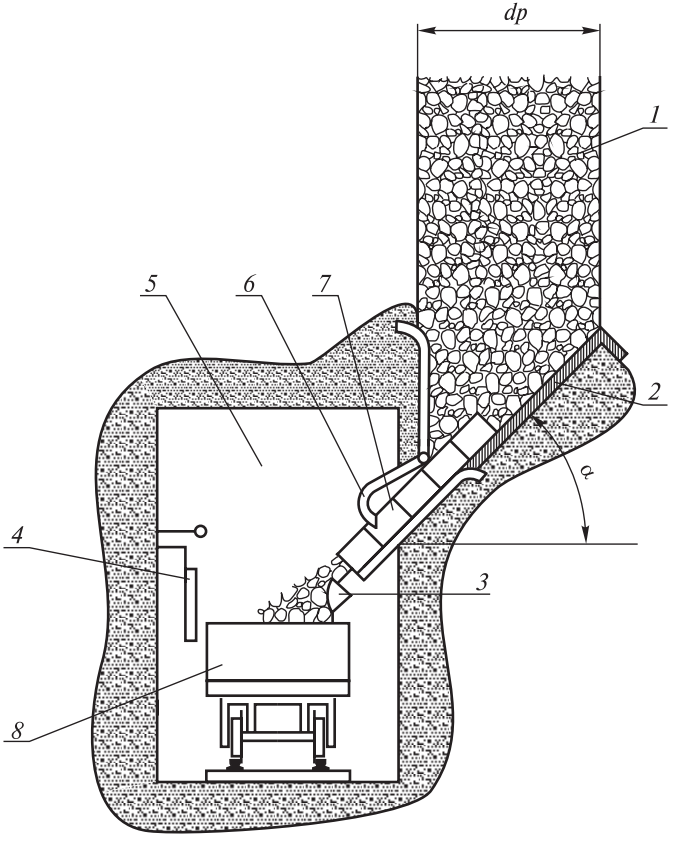


Рис. 5.17. Схема выпускного устройства рудоспуска:

1 — аккумулирующая часть рудоспуска; *2* — днище; *3* — лоток-заслонка; *4* — отбойный щит; *5* — перегрузочная камера; *6* — пальцевый затвор; *7* — выпускное отверстие; *8* — железнодорожный состав

ленточного конвейера. Тогда погрузка руды производится через люковые выпускные устройства с использованием ленточных или пластинчатых питателей, обеспечивающих равномерную загрузку конвейера. Рудоспуски с большой пропускной способностью оборудуются двумя-четырьмя выпускными устройствами, что позволяет загружать одновременно несколько думпкаров, которые подаются к рудоспуску по одной или двум параллельным штольням (см. рис. 5.15).

При эксплуатации рудоспусков руда нередко зависает в стволе с образованием сводов, что является основной причиной простоев рудоспусков. Происходят они чаще всего в зимнее время, когда температура воздуха опускается до минус 5–7 °С и когда в рудную массу попадает до 5–7% снега (например, карьеры ПО «Апатит»). В южных районах зависания руды в рудоспусках происходят значительно реже. Для наблюдения за движением руды в бункерной части рудоспуска на высоту бункера (40–50 м) параллельно ему проходят восстающую выработку, которая через каждые 10–12 м по высоте соединяется с рудоспуском смотровыми ходками (см. рис. 5.15). Эти же ходки используются при ликвидации зависаний руды, если они происходят в бункере. Зависания ликвидируют обычно путем взрывания под сводом зарядов ВВ массой от 2 до 10–12 кг или сжатым воздухом с помощью пневмоимпульсной установки. Если зависание происходит в стволе на значительной высоте, то для доставки заряда ВВ снизу к образовавшемуся своду используются системы типа гранатометов. Взрыв одного или последовательное взрывание нескольких зарядов приводит к обрушению свода и восстановлению движения руды по рудоспуску.

В процессе перемещения фронта горных работ карьера возникает необходимость в погашении (срезке) верхней части рудоспуска обычно на высоту уступа. Наиболее просто это можно сделать, если предварительно до устья заполнить рудоспуск рудой или породой. После этого часть уступа, включающую рудоспуск, обуривают скважинами на всю его высоту, взрывают и взорванную породу отгружают экскаватором в автосамосвалы. В результате устье рудоспуска оказывается на площадке нижележащего уступа. Однако выполнение этих работ занимает длительное время и при высокой слеживаемости и смерзаемости руды это приводит к ее зависанию в стволе рудоспуска, устранение которого затруднительно.

В этом случае чаще применяется способ погашения без заполнения рудоспуска. При этом вблизи рудоспуска производят выемку породы, оставляя вокруг него околоствольный целик (рис. 5.18). Целик обуривают и взрывают контурными скважинами или шпурами. Часть взорванной породы убирают

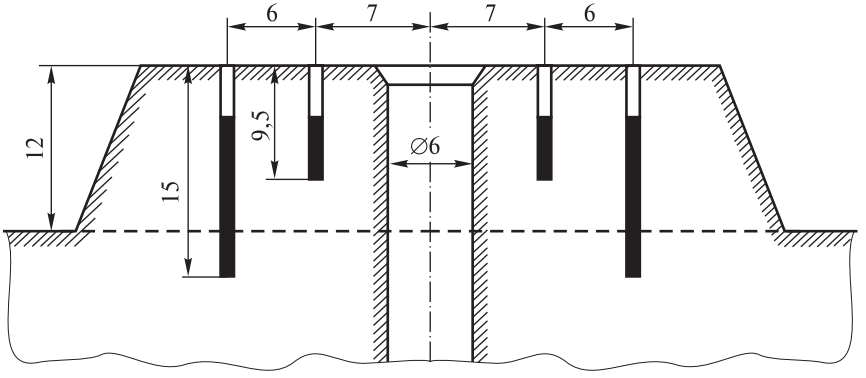


Рис. 5.18. Схема погашения рудоспуска

с помощью экскаватора, а оставшуюся часть сталкивают бульдозером в рудоспуск.

Производительность рудоспуска при загрузке состава через одно выпускное устройство:

$$Q_{\text{р}} = 60\,V_{\text{с}}\gamma/(t_{\text{п}} + t_{\text{о}}),\ \text{т/ч}, \tag{5.4}$$

где $V_{\text{с}}$ — вместимость состава, м^3; γ — насыпная плотность руды, т/м^3; $t_{\text{п}}$ — время погрузки состава, мин (зависит прежде всего от пропускной способности выпускного устройства); $t_{\text{о}}$ — время обмена составов, мин.

Для бесперебойной работы рудоспуска очень важно соблюдать рациональный режим загрузки и выпуска руды и поддержания количества аккумулируемой руды на оптимальном уровне.

Преимущества гравитационного транспорта с использованием рудоспусков состоят прежде всего в резком (до 20 раз) снижении расстояния транспортирования по сравнению с автомобильным транспортом, низкой энергоемкости и трудоемкости работ, а также низких эксплуатационных расходах. К основным его недостаткам относятся высокие затраты на проходку системы подземных выработок обычно с большой площадью поперечного сечения, а также зависимость от климатических условий.

Способ перемещения руды и пород через рудоспуски применяют при разработке нагорных месторождений апатита на Кольском полуострове, на Каджаранском, Алтын-Топканском

и других карьерах с производственной мощностью от 4–5 до 30 млн т в год, а также на карьерах стран СНГ и за рубежом (США, Канада, Швеция и др.).

5.5. АВТОМОБИЛЬНО-СКИПОВОЙ ТРАНСПОРТ

Автомобильный транспорт в комбинации со скиповыми подъемниками целесообразно применять в карьерах с ограниченными размерами в плане при глубине разработки от 150 до 250–350 м. Существующие подъемники чаще всего используются при высоте подъема от 60–80 до 240–250 м. Это связано с тем, что при увеличении глубины карьеров свыше 250 м оборудование скиповых подъемников становится весьма громоздким, а их производительность резко падает. Скиповой подъем может использоваться для транспортировки как мягких, так и взорванных скальных пород.

Оборудование скипового подъема включает сам скип, рельсовый путь под скипом, подъемную машину с тяговыми канатами, эстакаду и копер, а также перегрузочные устройства в карьере и на поверхности (рис. 5.19). Грузоподъемность скипов

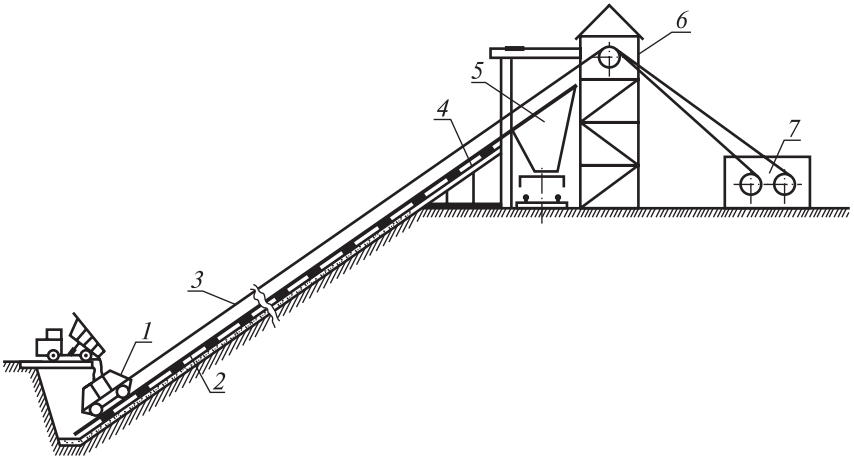


Рис. 5.19. Схема скипового подъемника:
1 — скип; *2* — рельсовый путь; *3* — тяговый канат; *4* — эстакада; *5* — бункер; *6* — копер; *7* — подъемная машина

достигает 60–75 т. Она, как правило, должна соответствовать грузоподъемности работающих в комплексе с подъемником автосамосвалов.

Скипы перемещаются по рельсовому пути, который прокладывается по нерабочему борту карьера с углом наклона трассы 40–45° (рис. 5.20). Ширина колеи пути составляет 3000 мм, что обеспечивает устойчивость скипов при их движении. Верхнее строение пути с деревянными или железобетонными шпалами укладывается на бетонное основание.

В карьере обычно строится один и реже два подъемника. Тогда один из них используется для подъема полезного ископаемого,

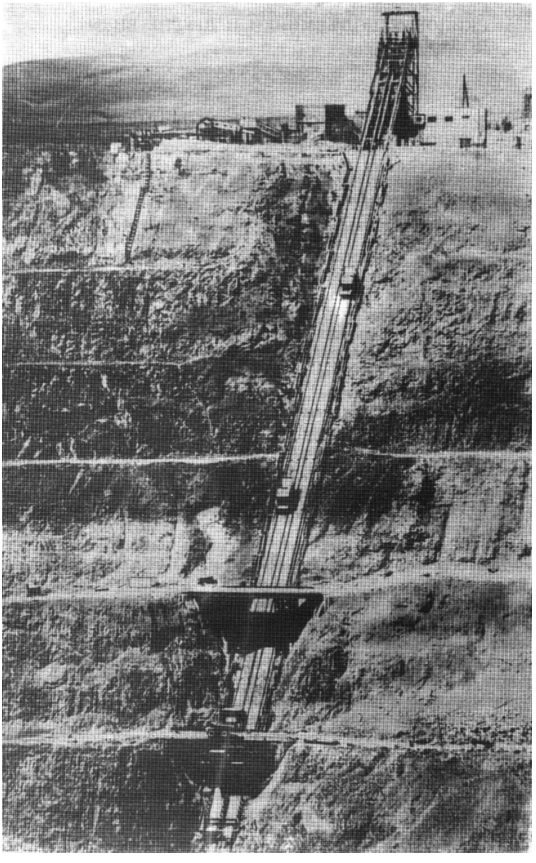


Рис. 5.20. Общий вид скипового подъемника (Сибайский карьер)

а второй — для подъема вскрышных пород. Подъемник обычно оборудуют двумя скипами, каждый из которых перемещается по отдельному пути (рис. 5.20). В то время когда по одному пути вверх поднимается груженый скип, по другому порожний скип опускается к месту загрузки. При таком устройстве подъемника порожний скип является противовесом груженому, помогая его перемещению. Скорость движения скипов достигает 10–11 м/с, а производительность одного скипового подъемника составляет до 12–14 млн т в год.

Горная масса из забоев экскаваторов к пунктам перегрузки внутри карьера доставляется, как правило, автосамосвалами при расстоянии транспортирования 0,5–0,8 км. При использовании одноковшовых погрузчиков расстояние не должно превышать 200–300 м. Загрузка скипов на перегрузочном пункте может производиться непосредственно из автосамосвалов (см. рис. 5.19). Такой перегрузочный пункт прост по устройству, удобен при переносе на нижележащие горизонты. Но при этом возникает жесткая зависимость между работой автосамосвалов и скипов. Кроме того, скипы подвергаются значительным динамическим нагрузкам при падении крупных кусков породы, что снижает их долговечность. Поэтому в большинстве случаев применяются бункерные перегрузочные пункты. На таких ПП автосамосвалы разгружаются в бункеры, вместимость которых кратна вместимости автосамосвала. Из бункеров горная масса с помощью питателей или под действием собственного веса с небольшой высоты перегружается в скипы. Этот способ перегрузки позволяет упростить организацию работы, обеспечить безопасную загрузку скипов и увеличить производительность перегрузочных пунктов. Но они более сложны по устройству, а это приводит к увеличению затрат при их переносе на новое место.

Поднятые на эстакаду скипы разгружаются в бункер путем их опрокидывания при движении в профилированных направляющих кривых. Дальнейшая транспортировка горной массы на поверхности производится, в зависимости от ее кусковатости, средствами железнодорожного или автомобильного транспорта. При железнодорожном транспорте вместимость бункеров примерно соответствует вместимости локомотивосостава, а при ав-

томобильном — двукратной вместимости кузова автосамосвала. Для выпуска горной массы из бункеров обычно используются различного рода питатели, в том числе с применением вибрационных устройств.

Техническая производительность двухскипового подъемника по рыхлой горной массе может быть установлена по формуле

$$Q_{\text{т}} = \frac{3600V_{\text{ск}}}{(v_{\text{с}} / a + L_{\text{п}} / v_{\text{с}}) + t_{\text{р}}},\ \text{м}^3/\text{ч}, \qquad (5.5)$$

где $V_{\text{ск}}$ — вместимость скипа, м^3; $v_{\text{с}}$ — скорость движения скипа, м/с; a — ускорение при трогании скипа с места, м/с^2; $L_{\text{п}}$ — наклонная длина подъемника, м; $t_{\text{р}}$ — продолжительность разгрузки скипа, с.

Достоинства скиповых подъемников — это большой угол подъема и короткое расстояние перемещения горной массы до поверхности; возможность транспортировки крупнокусковатых пород без дополнительного механического дробления; небольшая энергоемкость и надежность работы вне зависимости от климатических условий.

К недостаткам подъемников следует отнести их громоздкость, большую стоимость и высокую металлоемкость строительства при ограниченной пропускной способности. Поэтому автомобильно-скиповой транспорт применяется на карьерах только в единичных случаях.

5.6. КАНАТНЫЕ ПОДЪЕМНИКИ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА

В мировой практике открытых горных работ канатные подъемники и специальные виды транспорта применяются на карьерах только в редких случаях. Поэтому ниже приводится лишь их краткое описание.

Клетевые и канатно-автомобильные подъемники предназначаются для подъема из карьера на поверхность груженых автосамосвалов. В первом случае подъем груженых и спуск порожних одиночных автосамосвалов производится в специальной клети с платформой, на которую устанавливается автосамосвал. Подобно скиповому подъемнику клеть тяговым канатом пере-

мещается по рельсовому пути, уложенному на борту карьера под углом до 40–45°. Для заезда автосамосвалов на платформу в нижней части подъемника сооружается площадка (эстакада). Такая же площадка строится и в верхней части подъемника для их съезда с платформы. Глубина подъема клетевыми канатными подъемниками составляет не более 180 м при грузоподъемности, не превышающей 50–60 т.

При канатно-автомобильных подъемниках автосамосвалы после их загрузки в забое подъезжают к нижней площадке подъемника и далее с помощью тягового каната поднимаются на поверхность по наклонной трассе, сооружаемой из решетчатых железобетонных плит. Угол наклона трассы составляет обычно не более 20–30° и определяется углом устойчивого откоса породы в кузове машины. Тяговая станция строится на поверхности. Одноконцевой тяговый канат оснащается прицепным или толкающим устройством. Скорость подъема не превышает 5 м/с.

Троллейвозные подъемники, в отличие от канатно-автомобильных, не имеют подъемной тяговой установки. Груженый и порожний троллейвозы соединяются канатом, проходящим через находящийся на поверхности шкив. Таким образом, двигающийся на подъем груженый троллейвоз использует тяговое усилие, развиваемое двигателем спускающегося вниз по соседней трассе порожнего. Такие подъемники довольно просты и компактны, но характеризуются ограниченным углом подъема.

Канатные подъемники с вагонами-тягачами позволяют осуществлять подъем нерасформированных железнодорожных составов (до 5–8 вагонов грузоподъемностью до 50 т) по рельсовому пути, проложенному под углом 7–11°. Вагон-толкач, к которому крепится тяговый канат, при подъеме расположен в хвосте состава, а при спуске находится в его голове, удерживая состав.

Канатно-локомотивные подъемники в отличие от предыдущих позволяют осуществлять подъем составов вместе с локомотивом.

Основные недостатки тех и других подъемников — малый угол подъема, ограниченная пропускная способность, громоздкость и большие капитальные затраты.

К **специальным видам транспорта** следует отнести прежде всего конвейерные поезда и канатные подвесные дороги. *Конвейерные поезда* состоят из подвижного состава, магнитофрикционных приводов и стационарного оборудования, которое включает рельсовый путь, загрузочные и разгрузочные устройства, системы управления и др. Подвижной состав — это шарнирно соединенные между собой тележки на рельсовом ходу. На траверсах каждой тележки *1* уложен металлический лист *2* в виде желоба (рис. 5.21). Поверх листов по всей длине поезда укладывается конвейерная лента *3*. Лента не является грузонесущим элементом поезда. Шарнирное соединение тележек и рельсовый ход *4* обеспечивают поезду возможность изгибаться с достаточно небольшими радиусами как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. С помощью конвейерных поездов возможно перемещать крупнокусковатые породы с размером куска до 1200 мм. Они способны преодолевать подъем с углом до 20–25°.

Канатные подвесные дороги могут использоваться на карьерах, действующих в районах со сложными топографическими условиями при сильно пересеченном рельефе местности. При

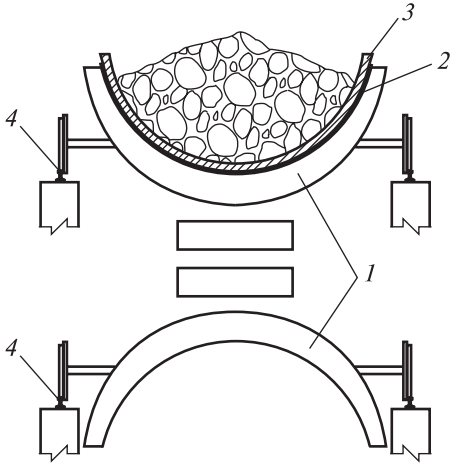


Рис. 5.21. Схема поперечного сечения конвейерного поезда:
1 — траверсы тележки; *2* — металлический лист; *3* — конвейерная лента; *4* — рельсовый путь

разработке нагорных месторождений канатные подвесные дороги используются для спуска полезного ископаемого на господствующий уровень поверхности и его доставки на обогатительную фабрику. Их применяют при ограниченной мощности грузопотока, не превышающей 4–5 млн т/год.

Канатная дорога представляет собой подвешенный на опорах несущий канат, по которому с помощью тягового каната на роликах перемещаются вагонетки со скоростью 2,5–3 м/с (рис. 5.22). Высота опор и расстояние между ними зависят от рельефа местности и составляют соответственно от 15 до 100 м и от 100 до 500 м. Вагонетки закреплены на тяговом канате на определенном расстоянии (40–200 м) друг от друга. Грузоподъемность вагонеток составляет от 1 до 3,2 т. Бесконечный тяговый канат приводится в движение от шкива приводного механизма, находящегося на погрузочной или разгрузочной станции. Подвесные дороги строят обычно двухканатными с кольцевым движением вагонеток: груженые — по одной ветви дороги, порожние — по другой.

При разработке нагорных месторождений, когда полезное ископаемое спускается вниз, загрузка вагонеток производится на верхней погрузочной станции, куда оно доставляется автосамосвалами. Разгружаются вагонетки в приемные бункеры нижней разгрузочной станции или они перемещаются непосредственно до обогатительной фабрики. В зависимости от этого длина канатных дорог изменяется от 0,5 до 20 км.

Производительность подвесной канатной дороги:

$$Q_{\text{к.д}} = \frac{3600qv}{a}, \text{ т/ч}, \qquad (5.6)$$

где q — грузоподъемность вагонетки, т; v — скорость движения вагонеток, м/с; a — расстояние между соседними вагонетками, м.

Производительность действующих канатных дорог составляет до 200–250 т/ч, в отдельных случаях — до 400–500 т/ч.

Основные достоинства подвесных канатных дорог — возможность доставки груза под углом до 45° при кратчайшем расстоянии транспортирования в условиях сложной топографии поверхности, а также небольшая энерго- и металлоемкость

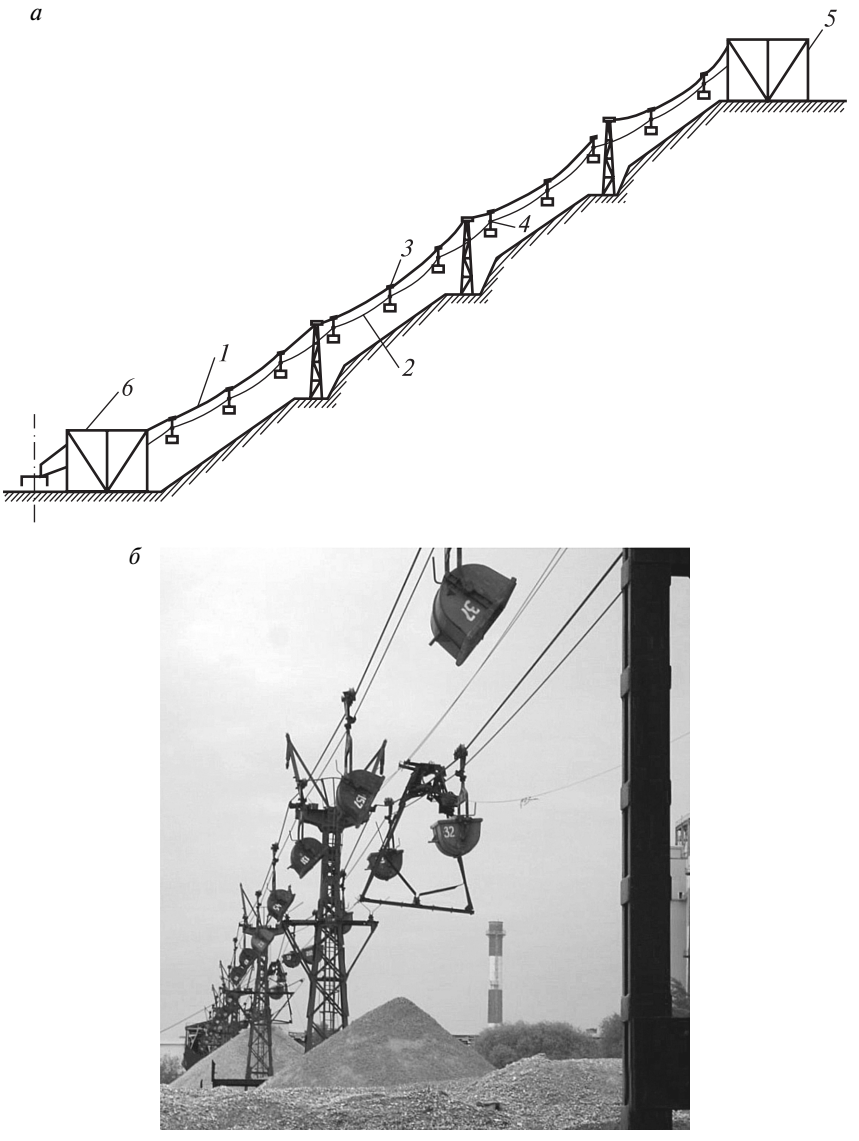


Рис. 5.22. Схема (*а*) и общий вид (*б*) канатной подвесной дороги:

1 и *2* — подвесной и тяговый канаты; *3* — ролики; *4* — место крепления вагонетки к тяговому канату; *5* — верхняя загрузочная станция; *6* — нижняя разгрузочная станция

и низкие эксплуатационные расходы. Их главный недостаток — ограниченная производительность.

Канатные подвесные дороги используются также для спуска или подъема людей из глубоких карьеров.

Кроме описанных специальных видов транспорта горная масса может выдаваться из карьеров также в съемных кузовах автосамосвалов по подвесным монорельсовым дорогам с углом наклона до 12–15°, с помощью установок пневмоконтейнерного транспорта (угол наклона 10–15°). Изучаются возможности использования в этих целях вертолетов или аэростатов.

Глава 6

СКЛАДИРОВАНИЕ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД И НЕКОНДИЦИОННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ОТВАЛАХ

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Процесс размещения вскрышных пород и попутно извлекаемых некондиционных полезных ископаемых в отвалах называется *отвалообразованием*.

В зависимости от расположения по отношению к конечным контурам карьеров отвалы делятся на *внешние* и *внутренние* (рис. 6.1).

Внешнее расположение отвалов используется при разработке наклонных и крутых месторождений, когда выработанное пространство карьеров невозможно использовать для складирования вскрышных пород (по крайней мере, на первом этапе освоения месторождения). Объем размещаемых в отвалах пород, как правило, во много раз больше объема добываемого полезного ископаемого (превышение объемов вскрышных пород над объемами добычи соответствует значению среднего промышленного коэффициента вскрыши). Поэтому внешние отвалы занимают обычно большие площади поверхности земли. Площадь под отвалами крупного карьера достигает иногда нескольких тысяч гектаров. Нередко это земли, находящиеся в сельскохозяйственном использовании, или земли, покрытые лесами. Изъятие таких земель наносит сельскому и лесному хозяйству серьезный ущерб, который должен возмещаться горным предприятием.

Внутреннее отвалообразование возможно использовать при разработке горизонтальных и пологих месторождений. Его суть состоит в том, что по мере выемки полезного ископаемого вскрышные породы укладываются в выработанном

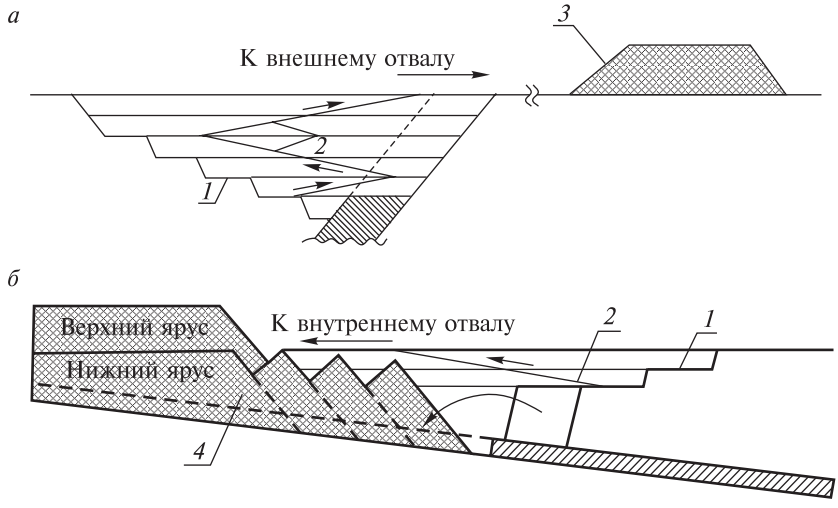


Рис. 6.1. Внешнее (*а*) и внутреннее (*б*) расположение отвалов:
1 — контур карьера; *2* — внутренние транспортные съезды; *3* — внешний отвал; *4* — внутренний отвал (нижний ярус бестранспортной и верхний ярус транспортной вскрыши)

пространстве карьера на почву залежи. Для их размещения не требуется дополнительное изъятие земель. Кроме того, при этом до минимума сокращаются расстояние транспортирования пород и затраты на их перемещение в отвал. Одновременно создаются благоприятные условия для осуществления рекультивации нарушенных горными работами земель с целью их возвращения для сельскохозяйственного или иного использования.

Некондиционные (забалансовые) полезные ископаемые, которые при современном состоянии науки и техники пока не могут быть вовлечены в дальнейшую переработку и использование, должны складироваться отдельно от пород вскрыши. Так же раздельно в отвалах должны размещаться потенциально полезные вскрышные породы, которые впоследствии могут быть использованы в народном хозяйстве. Таким образом, формируются *техногенные образования*, освоение и использование которых откладывается на будущее. В них не должны перемешиваться различные виды сырья, качество которого должно сохраняться на уровне, обеспечивающем в будущем экономическую целесообразность разработки таких образований.

Затраты на отвалообразование обычно не превышают 10–15% общих затрат на горные работы. Но, несмотря на относительно невысокий уровень затрат, отвалообразование является важнейшим звеном технологии горных работ, от надежности которого зависит эффективность использования выемочно-погрузочного и транспортного оборудования карьеров, а следовательно, и технико-экономические показатели предприятия в целом.

Способ отвалообразования выбирается в зависимости прежде всего от вида транспорта, используемого для доставки породы на отвал, и типа применяемого на отвале оборудования. При автомобильном транспорте в качестве отвального оборудования обычно используются бульдозеры и способ отвалообразования поэтому называют *бульдозерным*. Складирование пород при железнодорожном транспорте осуществляется в основном с помощью экскаваторов, в связи с чем способ отвалообразования называют *экскаваторным*. Иногда при железнодорожном транспорте используется также бульдозерный или *плужный* способ отвалообразования. В последнем случае в качестве отвального оборудования применяют отвальные плуги. В мировой практике известен также *абзетцерный* способ отвалообразования с использованием абзетцеров — многоковшовых отвальных экскаваторов, который применяется при складировании мягких пород. При конвейерной доставке пород на отвал их складирование производится с помощью *консольных отвалообразователей*.

К основным параметрам внешних отвалов относятся высота отвальных уступов (ярусов) и общая высота отвала, ширина отвальной заходки и соответствующий ей шаг переноса транспортных коммуникаций на отвале, вместимость отвальной заходки и производительность (приемная способность) отвального тупика или в целом отвала (в сутки, месяц, год). Перечисленные параметры отвалов зависят прежде всего от свойств складируемых пород, способа отвалообразования и рельефа местности.

Высота отвалов зависит главным образом от устойчивости складируемых пород и рельефа поверхности. На равнинной поверхности высота отвалов мягких пород составляет от 15 до 30 м и скальных — до 50–60 м. При складировании скальных пород в условиях косогоров и сильно пересеченной местности высота отвалов достигает 100–150 м и более. Чем больше высота

отвалов, тем меньше занимаемая ими площадь, что особенно важно для районов с развитым сельским хозяйством. С другой стороны, с увеличением высоты отвала возрастают затраты по доставке (подъему) породы к месту ее укладки. Но более важно, что при этом усиливается ветровая эрозия. Пыль с отвалов разносится ветром в радиусе до 15–20 км и, оседая на поверхности земли, резко снижает ее плодородие. Причем негативные последствия этого явления могут быть в несколько раз выше экономии от уменьшения площади земли под отвалами. Поэтому оптимальная высота отвала должна устанавливаться на основе комплексного учета указанных выше факторов в условиях конкретной местности.

Ширина отвальной заходки определяется видом и параметрами отвального оборудования. Например, при использовании на отвалах механических лопат ширина отвальной заходки составляет в основном до 30–35 м, а при драглайнах она возрастает до 110–120 м и более. При использовании консольных отвалообразователей возможная ширина отвальной заходки определяется вылетом отвальной консоли (или радиусом отсыпки), величина которого у современных отвалообразователей достигает 110–190 м. Ширине отвальной заходки соответствует шаг переноса на новое место транспортных коммуникаций (железнодорожный путь, автомобильная дорога, отвальный конвейер). Причем с увеличением шага переноса коммуникаций резко снижаются удельные (в расчете на 1 м^3 складируемых пород) трудоемкость и затраты на выполнение этих работ.

Вместимость отвальной заходки, измеряемая объемом породы в целике (в массиве), определяется ее шириной ($A_о$), высотой отвала ($H_о$) и длиной отвального тупика ($L_т$):

$$V_{о.з} = \frac{H_о A_о L_т}{k_{р.о}}, \text{ м}^3, \qquad (6.1)$$

где $k_{р.о}$ — коэффициент остаточного разрыхления породы в отвале.

Суточная производительность, или *суточная приемная способность* отвального тупика (м^3/сут) при экскаваторном отвалообразовании, зависит от суточной пропускной и провозной способности отвального пути. Но в любом случае максимально

возможная приемная способность тупика ограничивается производительностью отвального экскаватора, которая обычно на 20–30% превышает производительность такого же экскаватора, работающего на погрузке породы в карьере. При конвейерном транспорте приемная способность отвала определяется производительностью конвейерной линии и консольного отвалообразователя.

При бестранспортной системе разработки с перевалкой вскрышных пород в выработанное пространство высота, ширина и вместимость отвальной заходки определяются высотой уступа и шириной вскрышной заходки, которые, в свою очередь, зависят от параметров вскрышного оборудования (драглайны, консольные отвалообразователи, транспортно-отвальные мосты). Важнейшим из параметров оборудования является при этом радиус разгрузки драглайна или вылет стрелы отвалообразователя. Существенное влияние на параметры отвальной заходки оказывает место расположения драглайна или отвалообразователя.

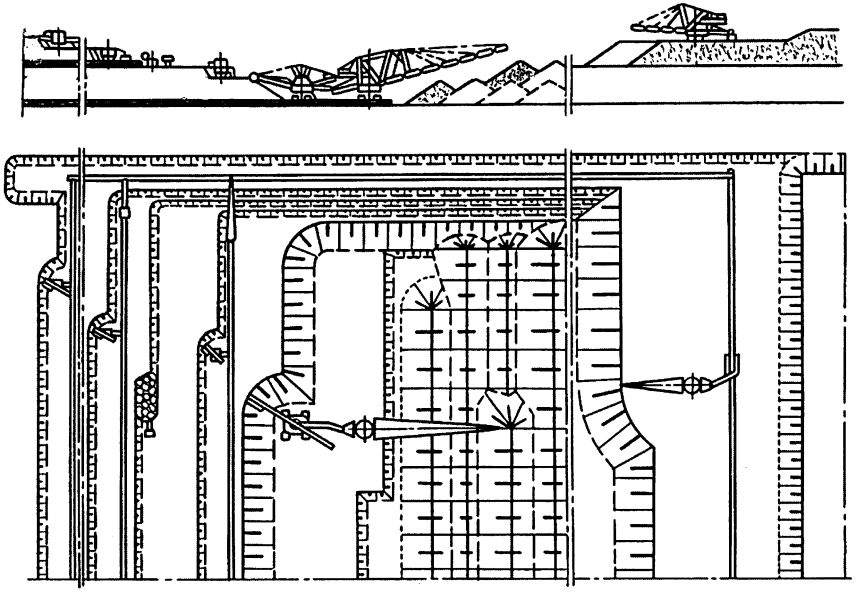


Рис. 6.2. Формирование верхнего яруса внутренних отвалов при доставке породы на отвал конвейерным транспортом

При большой мощности вскрыши, перекрывающей горизонтальные или пологопадающие залежи, поверх внутренних отвалов, формируемых в результате бестранспортной перевалки пород, могут размещаться также породы с верхних уступов карьера, которые доставляются на отвал с помощью средств транспорта — автосамосвалов, конвейеров и др. (рис. 6.2). Способ отвалообразования и параметры отвалов для этих пород устанавливаются по тому же принципу, что и при внешних отвалах.

В практике отвальных работ используются различные схемы развития внешних отвалов в плане, которые выбираются с уче-

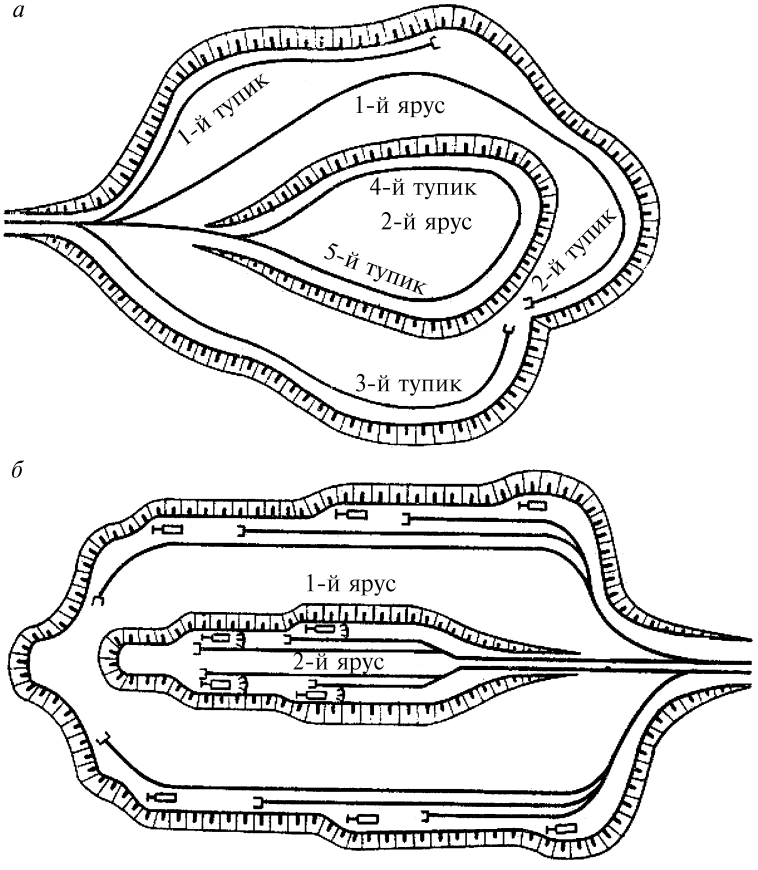


Рис. 6.3. Криволинейная (*а*) и параллельная (*б*) схемы развития внешних отвалов в плане

том рельефа местности и принятого способа отвалообразования. На равнинной местности как при бульдозерном, так и при экскаваторном отвалообразовании наиболее часто используется *криволинейная схема* развития (рис. 6.3). Достоинство этой схемы состоит в том, что по мере развития отвала длина фронта отвальных работ увеличивается и создаются возможности для организации новых отвальных тупиков. Фронт отвальных работ в этом случае может перемещаться в плане в нескольких направлениях. При *параллельной схеме* с прямолинейным фронтом отвала (характерна для экскаваторных отвалов) отсыпка отвальной заходки производится при постоянной ее ширине по всей длине отвального тупика. По одной стороне отвала одновременно может производиться отсыпка двух-трех параллельных заходок с отставанием между отвальными экскаваторами в 400–500 м. *Веерная* схема развития отвалов используется обычно при абзетцерном способе отвалообразования.

В условиях сильно пересеченной местности (лога, ущелья и т.п.) форма отвалов, параметры и схемы их развития определяются главным образом формой и конфигурацией рельефа.

6.2. ВЫБОР МЕСТА ПОД ОТВАЛЫ И СООРУЖЕНИЕ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ОТВАЛЬНЫХ НАСЫПЕЙ

Местоположение внешних отвалов должно удовлетворять следующим основным требованиям.

1. Отвалы следует размещать на земельных площадях, имеющих наименьшую ценность для сельскохозяйственного и иного вида использования (крутые склоны, участки с изрезанным рельефом и др.). Отвалы не должны оказывать отрицательного влияния на поверхностные водные ресурсы и в целом их негативное воздействие на окружающую среду должно быть минимальным. Эти требования со временем становятся все более важными, особенно для развитых густонаселенных регионов.

2. Площади, занимаемые отвалами, не должны содержать под собой запасов полезных ископаемых, пригодных в перспективе для разработки открытым способом.

3. Отвалы должны располагаться по возможности ближе к карьеру, чтобы обеспечить минимальное расстояние транспортирования пород и минимум транспортных расходов. Желательно при этом, чтобы транспортные коммуникации имели уклон в сторону отвала.

Кроме того, необходимо, чтобы основание отвалов на выбранной площади обеспечивало их устойчивость, что особенно важно при большой высоте отвалов.

Площадь земли, необходимая для размещения одноярусного отвала вскрышных пород:

$$S = \frac{V_{\text{в}} k_{\text{р.о}}}{H_{\text{о}} \eta_{\text{о}}}, \text{ м}^2 \qquad (6.2)$$

и для размещения двухъярусного отвала:

$$S' = \frac{V_{\text{в}} k_{\text{р.о}}}{h_1 \eta_{\text{о}} + h_2 \eta'_{\text{о}}}, \text{ м}^2, \qquad (6.3)$$

где $V_{\text{в}}$ — общий объем вскрышных пород, размещаемых в отвале, м^3; $k_{\text{р.о}}$ — остаточный коэффициент разрыхления породы в отвале ($k_{\text{р.о}} = 1{,}1–1{,}15$); $H_{\text{о}}$, h_1, h_2 — соответственно высота одноярусного отвала и высота первого и второго ярусов двухъярусного отвала, м; $\eta_{\text{о}}$ и $\eta'_{\text{о}}$ — коэффициенты, учитывающие откосы отвала и неравномерность заполнения площади первым и вторым ярусами (при углах откоса отвала 30–40° $\eta_{\text{о}} = 0{,}8–0{,}9$; $\eta'_{\text{о}} = 0{,}6–0{,}7$).

Часто на карьере возводится не один, а несколько отвалов при соблюдении изложенных выше требований к выбору местоположения каждого отвала. Общая площадь под отвалами при том же объеме складируемых пород будет всегда больше, чем площадь под одним отвалом. Наличие нескольких отвалов неизбежно при раздельном складировании некондиционных полезных ископаемых и потенциально полезных вскрышных пород, т.е. при создании техногенных образований, подлежащих освоению в будущем. В таких случаях необходимо учитывать возможность организации удобных транспортных связей с потребителями сырья при разработке этих образований в перспективе.

Возведение отвала начинается со строительства *пионерной насыпи*, которая используется как первоначальный фронт отвальных работ. Для сооружения насыпей обычно используют те же машины, которые в дальнейшем будут работать на отвале (экскаваторы, бульдозеры и др.). Наиболее просто создание первоначального фронта осуществляется на косогорах путем проходки вдоль косогора полутраншеи с помощью экскаватора или бульдозера. При проходке полутраншеи экскаватором

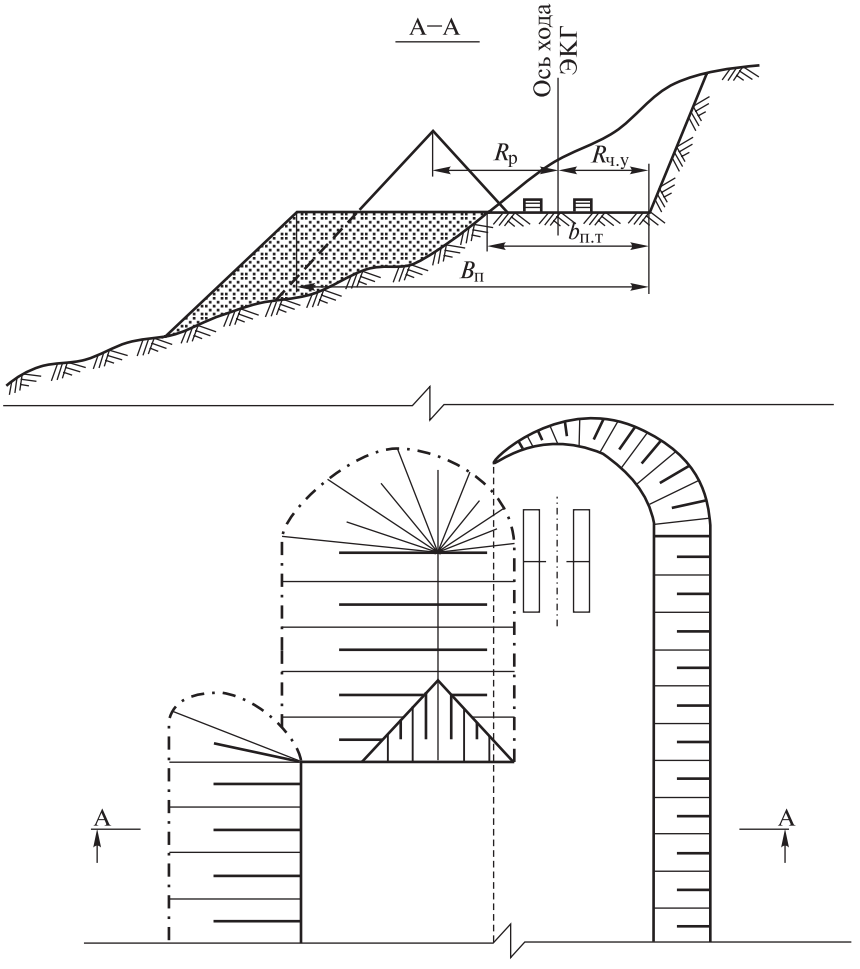


Рис. 6.4. Схема возведения экскаватором ЭКГ пионерной насыпи на косогоре

ЭКГ ее минимальная ширина по подошве ($b_{п.т}$) определяется радиусом черпания экскаватора на уровне стояния или радиусом вращения его кузова и шириной хода экскаватора (рис. 6.4). Извлекаемую из полутраншеи породу экскаватор укладывает на откос косогора. Затем бульдозер производит планировку поверхности насыпи, в результате чего образуется площадка шириной $B_п$. После завершения проходки полутраншеи на площадку укладывается железнодорожный путь, по которому на отвал будут подаваться груженые породой поезда.

Сооружение пионерной насыпи при строительстве экскаваторных отвалов на равнинной местности производится экскаваторами ЭКГ или драглайнами — в зависимости от того, какой из этих экскаваторов будет затем вести отвальные работы. При этом всегда стремятся получить насыпь максимально возможной высоты. При использовании механических лопат насыпь возводится из породы, извлекаемой экскаватором из резерва. Экскаватор при этом устанавливается на дне резерва (рис. 6.5, *а*). Высота отсыпки породы ($h_о$) и высота получаемой насыпи ($h_н$) определяются максимальными высотой и радиусом разгрузки экскаватора ($H_р$ и $R_р$). Глубина резерва ($h_р$), а значит, и количество извлекаемой из него породы, которая идет на сооружение насыпи, невелики, поскольку с увеличением глубины резерва снижается высота разгрузки экскаватора (по отношению к поверхности земли) и снижается высота насыпи. Поэтому при ограниченных рабочих параметрах экскаваторов ЭКГ таким способом удается получить насыпь высотой не более 6–7 м. Мало помогает при этом и использование двухсторонних резервов или привозных пород, разгружаемых в резерв. Последующее же наращивание высоты насыпи до проектного значения высоты отвала является делом весьма трудоемким, связанным с большим объемом путепереукладочных работ.

Поэтому для возведения пионерных насыпей наиболее эффективно применять драглайны (рис. 6.5, *б*). Большие рабочие параметры этих экскаваторов (глубина и радиус черпания, радиус и высота разгрузки) позволяют сразу возводить насыпи высотой, соответствующей проектной высоте отвала (до 35–45 м и более). Порода для отсыпки насыпи берется из резерва, возможные глубина и ширина которого зависят от радиуса

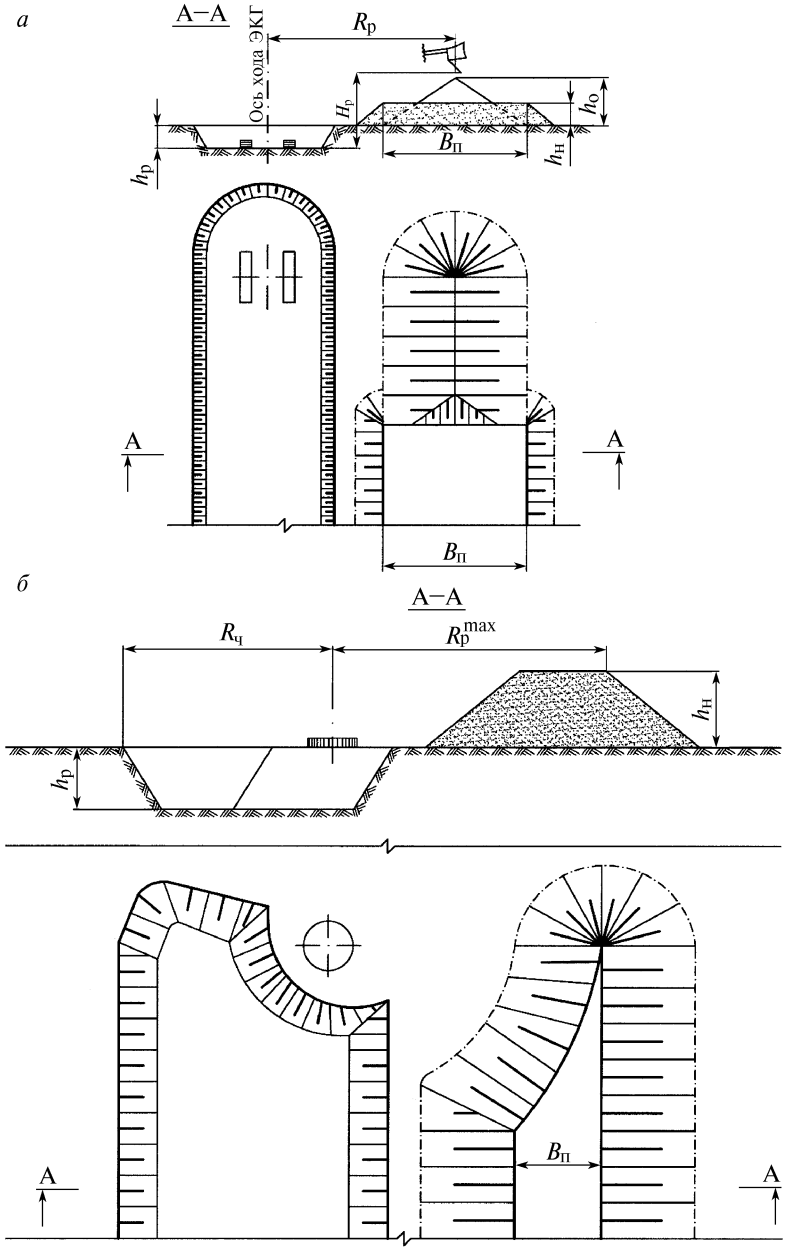


Рис. 6.5. Схемы возведения пионерной насыпи на равнинной поверхности экскаватором ЭКГ (*а*) и драглайном (*б*)

и глубины черпания экскаватора. В отличие от механических лопат глубина резерва в этом случае не оказывает никакого влияния на высоту разгрузки экскаватора и высоту отсыпаемой насыпи. Для увеличения ее высоты и ширины драглайн целесообразно устанавливать ближе к створу верхней бровки резерва (см. рис. 6.5).

При недостаточной мощности наносов, ограничивающей глубину резерва и количество извлекаемой из него породы, отсыпку насыпи производят из двух резервов, расположенных по обе стороны от насыпи. Для увеличения поперечных размеров насыпи в подобных условиях возможно использовать также привозные породы, извлекаемые в ходе строительства карьера, которые доставляются к драглайну железнодорожным или автомобильным транспортом. Применение драглайнов позволяет обеспечить не только необходимые параметры, но и высокую скорость сооружения насыпей.

Экскаваторный способ возведения пионерных насыпей целесообразно использовать и при плужном отвалообразовании.

Строительство бульдозерных отвалов на равнинной поверхности заключается в создании первоначального отвала высотой до 5–7 м и шириной поверху до 70–100 м, достаточной для свободного маневрирования автосамосвалов. Наращивание отвала до проектной высоты осуществляется технологически просто: путем послойного складирования пород на поверхности отвала.

6.3. ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕ ПРИ АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

При доставке пород на отвал автомобильным транспортом основным является бульдозерный способ отвалообразования. При использовании автосамосвалов большой грузоподъемности (180–220 т и более) эффективно отвалообразование с помощью драглайнов.

При *бульдозерном отвалообразовании* отвальные работы выполняются с применением в основном мощных гусеничных бульдозеров (мощность двигателя до 500–600 кВт) с неповоротным или поворотным лемехом или мощных колесных бульдозеров. Суть этих работ состоит в разгрузке автосамосвалов на

верхней площадке отвала, перемещении разгруженной породы бульдозером под откос отвала или ее разравнивании и планировке на поверхности отвала и в постоянном поддержании и периодическом переносе отвальных автомобильных дорог.

На практике используется периферийная или площадная схема развития автомобильных отвалов. Основной является *периферийная схема* развития, при которой отвал развивается в плане в одном или нескольких направлениях. При этой схеме разгрузка автосамосвалов производится под откос отвала (рис. 6.6) или (при складировании неустойчивых пород) в непосредственной близости от верхней бровки отвала. Породу, оставшуюся на поверхности отвала после разгрузки автосамосвалов, бульдозер перемещает к верхней бровке отвала и сталкивает ее под откос. Затем он производит планировку разгрузочной площадки для маневрирования автосамосвалов и зачистку автомобильной

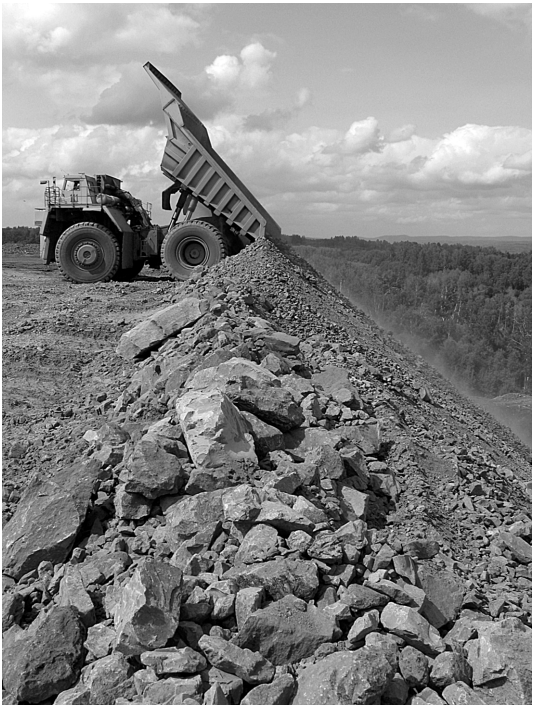


Рис. 6.6. Разгрузка автосамосвала на отвале

дороги или подготовку новой трассы (при переносе дороги в новое положение). При перемещении породы и планировке площадки бульдозер должен двигаться к верхней бровке отвала только вперед лемехом, создавая по всему фронту участка разгрузки подъем не менее 3° в сторону бровки на длину базы автосамосвала (рис. 6.7). Одновременно по всему фронту участка должен создаваться ограничительный вал из породы высотой не менее 0,5 диаметра колеса самого крупного из работающих здесь автосамосвалов, но во всех случаях не менее 1 м.

Автосамосвалы подъезжают к точке разгрузки по временной дороге, разворачиваются и задним ходом подаются к верхней бровке отвала, останавливаясь на безопасном от нее расстоянии — за пределами призмы возможного обрушения ($\beta_у$) и не наезжая на ограничительный вал (см. рис. 6.7). С увеличением грузоподъемности автосамосвалов это расстояние увеличивается. Одновременно с этим увеличивается количество породы, которая при разгрузке автосамосвалов остается на поверхности отвала. Объем остающейся породы ($V_п$) оценивается так называемым *коэффициентом заваленности* ($k_{зав}$):

$$k_{зав} = \frac{V_п}{V_а}, \qquad (6.4)$$

где $V_а$ — вместимость кузова автосамосвала, м^3.

Коэффициент заваленности возрастает при снижении устойчивости складируемых пород и увеличении грузоподъем-

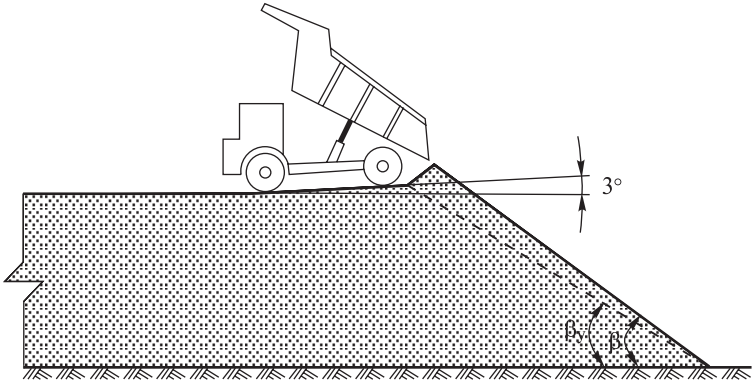


Рис. 6.7. Положение автосамосвала у верхней бровки отвала при разгрузке

ности автосамосвалов. Его величина изменяется от 0,3–0,35 до 0,5–0,7. При работе автосамосвалов большой грузоподъемности (до 180–220 т и более) из-за высокой нагрузки на ось их разгрузка в целях безопасности производится на увеличенном расстоянии от верхней бровки отвала. В результате основная часть разгружаемой породы, а иногда и весь ее объем остается на поверхности отвала, существенно увеличивая коэффициент заваленности и объем бульдозерных работ.

Автомобильные отвалы обычно разделяются на два или три равных по длине участка, на которых попеременно производится разгрузка автосамосвалов и планировка площадки. Третий участок может быть резервным (рис. 6.8). Длина фронта разгрузочного участка должна обеспечивать возможность одновременной разгрузки определенного количества автосамосвалов ($N_о$), которое устанавливается по выражению

$$N_о = N_а \frac{t_{р.м}}{t_р}, \text{ шт.}, \qquad (6.5)$$

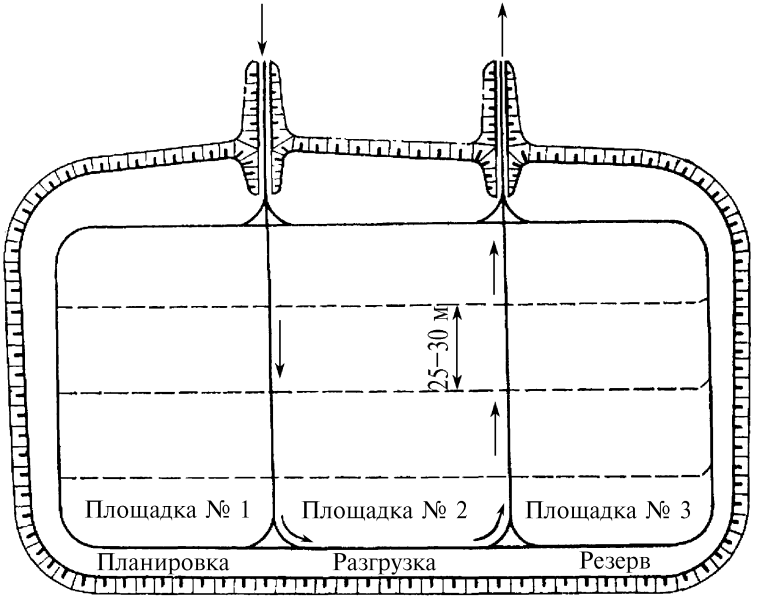


Рис. 6.8. Схема бульдозерного отвала (стрелками указано направление движения автосамосвалов)

где $N_а$ — рабочий парк автосамосвалов для выполнения сменного объема вскрышных работ в карьере; $t_{р.м}$ — время, затрачиваемое на разгрузку и маневрирование автосамосвала на отвале, мин; $t_р$ — продолжительность рейса автосамосвала, мин.

Тогда длина фронта разгрузочной площадки:

$$l_р = bN_о, \text{ м}, \tag{6.6}$$

где b — ширина полосы, занимаемой автосамосвалом при маневрировании и разгрузке, м (b = 25–30 м).

При равной длине фронта участков разгрузки, планировки и резерва общая длина фронта отвала:

$$L_{о.ф} = 3l_р, \text{ м}. \tag{6.7}$$

На практике общая длина фронта отвала достигает 500 м и более. Нередко вокруг карьера сооружается несколько бульдозерных отвалов. Тогда работы по разгрузке и планировке могут производиться попеременно на разных отвалах.

При *площадной схеме* развития отвалов разгрузка автосамосвалов производится по всей поверхности отвала (рис. 6.9). После этого разгруженная порода разравнивается бульдозерами, поверхность отвала планируется и укатывается катками (рис. 6.10). Этим обеспечивается возможность движения автосамосвалов по всей поверхности отвала по веерной схеме и их разгрузки в любой точке отвала. В той же последовательности отсыпается следующий слой породы. В результате отвал развивается не по площади, а вверх с постепенным увеличением его высоты. Схема характеризуется большим объемом планировочных и дорожных работ. Расстояние перемещения породы бульдозерами составляет при этом от 5 до 15 м.

Тип и мощность бульдозера на бульдозерных отвалах выбираются в соответствии с объемом выполняемых работ ($V_{б.р}$), который определяется количеством доставляемой на отвал за смену породы ($V_{см}$) и коэффициентом заваленности ($k_{зав}$):

$$V_{б.р} = V_{см}k_{зав}, \text{ м}^3. \tag{6.8}$$

Обычно чем больше грузоподъемность и производительность используемых на карьере автосамосвалов, тем больше

Рис. 6.9. Вид поверхности участка разгрузки бульдозерного отвала при площадном отвалообразовании

Рис. 6.10. Виброкаток

должна быть мощность и производительность работающих на отвале бульдозеров. Следует при этом учитывать, что сменная производительность бульдозеров снижается пропорционально увеличению расстояния перемещения породы. При среднем расстоянии перемещения 10 м сменная производительность бульдозеров на отвале характеризуется данными, приведенными в табл. 6.1.

Наиболее приемлемой считается прямоугольная форма бульдозерных отвалов в плане при соотношении сторон 2:1 и при расположении заезда на отвал в центре большой стороны. При большом объеме отвальных работ число въездов на отвал увеличивается при фланговом их расположении (см. рис. 6.8).

На равнинной местности высота бульдозерных отвалов зависит от устойчивости складируемых пород и достигает 30–40 м и более. В условиях косогоров и сильно пересеченной местности их высота может доходить до 100–150 м. Конфигурация отвалов

Таблица 6.1

Нормативы сменной производительности бульдозеров на отвалах

Мощность базового трактора, кВт	Производительность бульдозеров ($м^3$/смену) при перемещении пород		
	рыхлых	полускальных	скальных
80	1100	950	750
120	1500	1300	1000
135	1900	1650	1300
220	2200	1850	1500
245	2400	2050	1700

при этом определяется рельефом местности. Отвалы могут иметь один, два (рис. 6.11) или более ярусов.

Эффективность бульдозерного отвалообразования существенно зависит от состояния автомобильных дорог. Подъездные дороги и дороги, связывающие отдельные участки отвала, должны иметь улучшенное покрытие (дороги II категории). Временные дороги на действующих участках отвала, как правило, не имеют дорожного покрытия. Шаг переноса временных дорог при периферийной схеме развития отвалов составляет от 25–30 м до 30–50 м.

Достоинства бульдозерных отвалов состоят в простоте технологии отвальных работ, возможности быстрого строительства отвалов, в небольших размерах капитальных и эксплуатацион-

Рис. 6.11. Общий вид двухъярусного бульдозерного отвала (периферийная схема отвалообразования)

ных затрат. Основной их недостаток — повышенная опасность работы автосамосвалов вблизи от верхней бровки отвала из-за возможности обрушения породы. Особое значение это приобретает при использовании автосамосвалов особо большой грузоподъемности (180–320 т), масса которых вместе с грузом достигает 350–560 т и которые создают чрезмерно большие нагрузки на отвальную бровку. Чтобы предотвратить возможность обрушения породы, приходится не только производить разгрузку автосамосвалов на довольно большом расстоянии от верхней бровки, но и снижать высоту отвала, что нежелательно.

Экскаваторное отвалообразование при автомобильном транспорте. Возможность повышения безопасности разгрузочных и планировочных работ при одновременном увеличении высоты автомобильных отвалов обеспечивается при складировании пород с помощью драглайнов. Вместимость ковша драглайна на отвале должна при этом соответствовать вместимости ковша экскаваторов, работающих в карьере. При применении драглайнов могут использоваться различные схемы отвалообразования. Основной является схема, при которой драглайн располагается несколько ниже поверхности отвала на расстоянии максимального радиуса черпания ($R_{\text{ч}}^{\max}$) от верхней бровки предыдущей отвальной заходки (рис. 6.12). Автосамосвалы разгружаются в подготовленный экскаватором приемный бункер длиной ($l_{\text{б}}$) с соблюдением требований безопасности. Драглайн зачерпывает породу из бункера и с разворотом до 180° укладывает ее в нижний ярус отвальной заходки на расстояние $R_{\text{р}}^{\max}$. Верхняя часть заходки также может заполняться экскаватором или при длительной остановке драглайна может быть использована в качестве резервной емкости для складирования пород с помощью бульдозеров. В последнем случае автосамосвалы разгружаются под откос верхнего яруса отвальной заходки с последующей планировкой площадки, чем обеспечивается бесперебойная работа отвала (см. рис. 6.12).

Таким образом, драглайн, перемещаясь вдоль фронта отвала, отсыпает отвальную заходку на всю ее длину. После этого обратным ходом он может произвести отсыпку второго

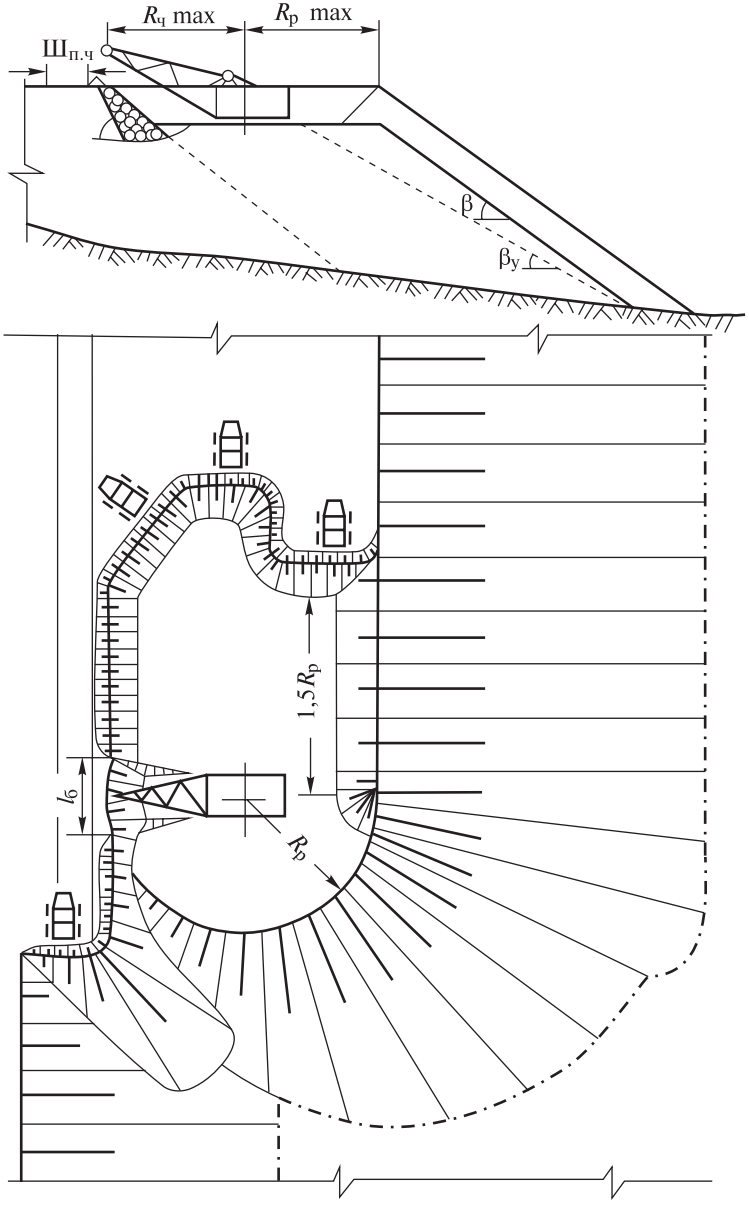


Рис. 6.12. Схема формирования заходки автомобильного отвала при отвалообразовании с помощью драглайна

яруса отвала. Для этого драглайн переходит на другую сторону автомобильной дороги и, двигаясь в обратном направлении, отсыпает заходку второго яруса. Породу, которая доставляется к экскаватору по той же автомобильной дороге, экскаватор при этом укладывает позади себя на высоту, соответствующую высоте его разгрузки.

Ширина отвальной заходки соответствует сумме радиусов черпания и разгрузки драглайна ($A_о = R_ч^{max} + R_р^{max}$) и может достигнуть 150–200 м при продолжительности ее отсыпки до 1,5–2 лет и более. При такой продолжительности работ порода в заходке успевает уплотниться и приобрести необходимую устойчивость к обрушению, повышающую безопасность работы всего комплекса отвального оборудования. При пересеченном рельефе это позволяет увеличить общую высоту отвалов до 150–160 м при удельной приемной способности отвальной заходки до 25–30 тыс. м^3 на 1 пог. м ее длины. Разгрузка автосамосвалов на экскаваторном отвале производится при этом под откос верхней части отвальной заходки, имеющей небольшую высоту, а значит, и повышенную устойчивость, обеспечивающую более высокий уровень безопасности работы машин. Поэтому водители автосамосвалов увереннее и с меньшими затратами времени выполняют операции маневрирования при разгрузке.

Продолжительный срок службы временной автомобильной дороги делает возможным строить ее с улучшенным покрытием, позволяющим на 25–30% увеличить скорость движения и сократить продолжительность рейса автосамосвалов. Более высокие затраты на строительство дороги с лихвой окупаются за счет повышения эффективности отвальных работ.

6.4. ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

При железнодорожном транспорте основным является *экскаваторный* способ отвалообразования с использованием механических лопат и драглайнов. Реже применяются бульдозерный и плужный способы отвалообразования. Иногда используется

также *абзетцерный* способ укладки пород, осуществляемый с помощью отвальных экскаваторов — абзетцеров.

При экскаваторном отвалообразовании вместимость ковша отвальных экскаваторов должна соответствовать вместимости ковша экскаваторов в карьере. В противном случае крупные куски породы, погруженные в думпкары в карьере, будут недоступны для отвального экскаватора. Наиболее часто на отвалах используются экскаваторы с вместимостью ковша от 5 до 16 м^3.

Практика показывает, что при одинаковой вместимости ковша производительность экскаваторов на отвале в 1,25–1,3 раза выше, чем в забоях (табл. 6.2). Это объясняется, во-первых, тем, что в процессе выемочно-погрузочных работ и при разгрузке на отвале порода дополнительно измельчается и разрыхляется, в результате чего повышается эффективность экскавации. Во-вторых, экскаваторы на отвале работают с более высоким коэффициентом использования во времени, поскольку во время обмена порожних поездов на груженые экскаваторы не простаивают, а продолжают работу по укладке породы в отвал.

Развитие экскаваторных отвалов в плане происходит по криволинейной или параллельной схеме (см. рис. 6.3). На каждом отвале сооружается по несколько отвальных тупиков, а их количество определяется общей приемной способностью отвала. Длина каждого тупика зависит от мощности экскаватора и может составлять от 500 м при использовании экскаваторов ЭКГ-5 до 1500–2000 м при экскаваторах ЭКГ-12,5.

Отвалообразование с использованием механических лопат ведется двумя подуступами с установкой экскаватора на пло-

Таблица 6.2

Нормативы сменной производительности отвальных экскаваторов

Модель экскаватора	Вместимость ковша, м^3	Производительность экскаваторов (м^3/смену) при выемке пород		
		рыхлых	полускальных	скальных
ЭКГ-5А	5	3500	2450	2050
ЭКГ-8	8	4850	3450	2900
	10	5850	3600	–
ЭКГ-12,5	12,5	6650	4750	3850
	16	8000	5250	–

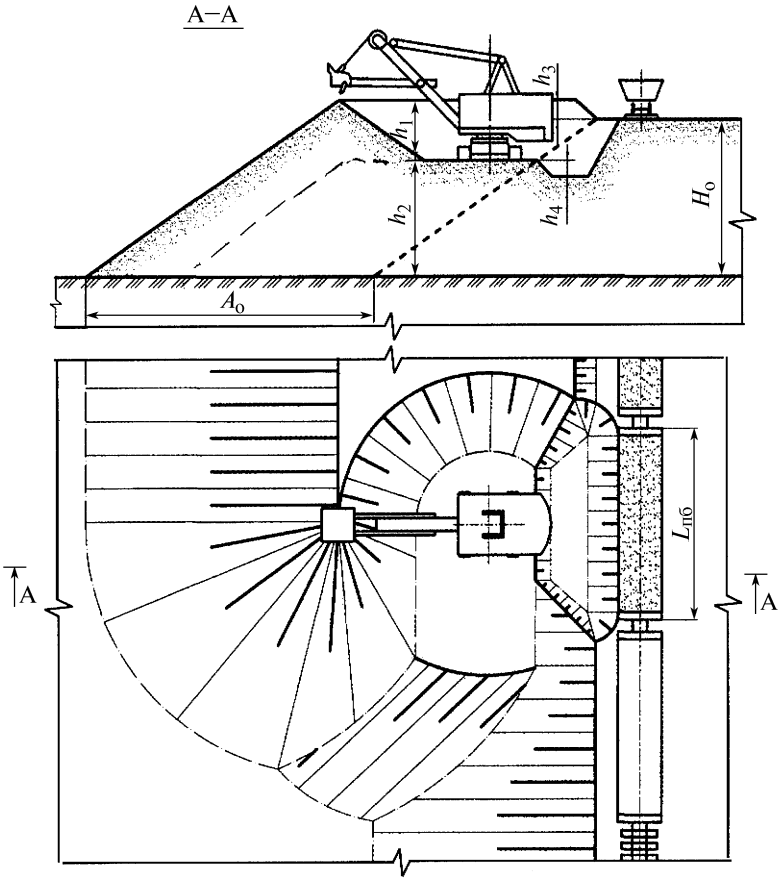


Рис. 6.13. Схема отвалообразования с использованием механических лопат

щадке нижнего подуступа, находящейся обычно на 6–8 м ниже поверхности отвала (рис. 6.13). Железнодорожный путь, по которому груженые поезда подаются к экскаватору, располагается вблизи верхней бровки предыдущей отвальной заходки. Поезда подаются на разгрузочный тупик вагонами вперед. Их разгрузка производится повагонно в подготовленный экскаватором приемный бункер длиной 25–30 м (длина 1–2 думпкаров). Глубина бункера соответствует глубине черпания экскаватора и составляет обычно 1,5–1,7 м. Вместимость бункера достигает 250–400 м^3 и более. Разгрузка в приемный бункер позволяет

сконцентрировать породу в пределах досягаемости экскаватора и предотвращает возможность повреждения его ходовой части падающими с высоты крупными кусками.

Черпая породу из бункера, экскаватор укладывает ее в заходку на расстояние, равное радиусу разгрузки, сначала в нижний подуступ, впереди себя по ходу движения, а затем в сторону под откос отвала и назад — в верхний подуступ (см. рис. 6.13). Высота нижнего подуступа (h_2) зависит прежде всего от устойчивости как самих складируемых пород, так и основания отвала. При устойчивых породах она может доходить до 30–35 м и более. Высота верхнего подуступа (h_1) определяется максимальной высотой разгрузки экскаватора ($h_1 \le H_{\text{р}}^{\max}$). Этот подуступ должен превышать уровень поверхности отвала на величину, равную $h = 0{,}05(h_1 + h_2)$. Обычно это составляет около 1–1,5 м. После усадки породы во вновь отсыпанной заходке ее высота сравнивается с общей высотой отвала.

Произведя укладку породы в пределах радиуса своего действия, экскаватор перемещается на несколько метров вперед вдоль фронта отвала на новую точку стояния. На новой точке он расширяет (удлиняет) приемный бункер и цикл повторяется. Таким образом экскаватор отсыпает отвальную заходку на всю длину тупика, после чего железнодорожный путь переносится на новую трассу. В конце тупика на пути каждый раз должен устанавливаться надежный упор, предотвращающий сход думпкаров.

При складировании неустойчивых пород целесообразно производить опережающую отсыпку нижнего подуступа на расстояние до 100 м и более или даже на всю длину тупика с последующим заполнением верхнего подуступа.

Ширина отвальной заходки ($A_{\text{о}}$) зависит от линейных параметров экскаватора:

$$A_{\text{о}} = \sqrt{R_{\text{ч}}^2 - \left(\frac{L_{\text{п.б}}}{2}\right)} + R_{\text{р}}\text{, м,} \qquad (6.9)$$

где $R_{\text{ч}}$ и $R_{\text{р}}$ — радиусы черпания и разгрузки экскаватора, м; $L_{\text{п.б}}$ — длина приемного бункера, м.

Обычно ширина заходки и соответствующий ей шаг передвижки пути составляют от 23–25 м до 30–35 м. Вместимость

отвального тупика (формула (6.1)) между двумя передвижками пути определяется высотой отвала, шириной отвальной заходки и длиной тупика, которая изменяется обычно в диапазоне от 500 до 2000 м. Количество отсыпаемых заходок и переукладок пути на одном тупике может доходить до трех-четырех в год. При таких значениях шага и количества переукладок балластировка временных путей в большинстве случаев экономически нецелесообразна, поскольку она будет существенно увеличивать затраты на складирование пород. Поэтому скорость движения поездов по этим путям ограничена, особенно при неустойчивых породах, и часто не превышает 8–10 км/ч.

Суточная приемная способность отвального тупика по условиям работы транспорта

$$V_{\text{сут}} = N_{\text{с}} n_{\text{ф}} V_{\text{в}}^{\text{ф}}, \text{ м/сут}, \tag{6.10}$$

где $N_{\text{с}}$ — количество локомотивосоставов, которое может быть принято и разгружено на отвальном тупике в сутки; $n_{\text{ф}}$ — количество думпкаров в поезде; $V_{\text{в}}^{\text{ф}}$ — фактическая вместимость думпкара (по объему породы в целике), м^3:

$$V_{\text{в}}^{\text{ф}} = \frac{q_{\text{ф}} k_{\text{р.в}}}{\gamma k_{\text{н.в}}}, \text{ м}^3, \tag{6.11}$$

где $q_{\text{ф}}$ — фактическая грузоподъемность думпкара, т; γ — плотность породы в массиве, т/м^3; $k_{\text{н.в}}$ и $k_{\text{р.в}}$ — коэффициенты наполнения и разрыхления породы в думпкаре (см. подразд. 3.6).

Количество локомотивосоставов, которое возможно доставить и разгрузить на отвальном тупике в сутки,

$$N_{\text{с}} = \frac{60 f T}{t_{\text{о}} + t_{\text{р}}}, \tag{6.12}$$

где T — продолжительность работы отвального тупика в сутки, ч ($T = 21–22$ ч); f — коэффициент, учитывающий неравномерность работы отвального тупика ($f = 0{,}85–0{,}95$); $t_{\text{р}}$ — время, затрачиваемое на разгрузку состава, мин; $t_{\text{о}}$ — время движения груженого и порожнего состава при обмене, мин.

Время разгрузки состава ($t_{\text{р}}$) определяется по формуле (3.17) в соответствии со временем разгрузки одного думпкара и ко-

личеством думпкаров в поезде. Время движения поезда при обмене ($t_о$) при условии, что отвальный экскаватор находится в средней части отвального тупика:

$$t_о = 60\frac{2(0,5L_т + L_с)}{V_{ср}} + \tau, \text{ мин}, \quad (6.13)$$

где $L_т$ — длина отвального тупика, км; $L_с$ — расстояние от обменного пункта до начала тупика, км; $V_{ср}$ — средняя скорость движения поезда, км/ч; τ — время, затрачиваемое на связь при обмене поездов (1,5–2 мин).

Производительность отвального экскаватора должна соответствовать приемной способности тупика по условиям работы транспорта. При необходимости производительность экскаватора можно увеличить, в частности, за счет использования сменных ковшей с большей вместимостью. Увеличить суточную приемную способность тупика по условиям транспортирования можно за счет увеличения полезной массы и вместимости поезда, а также за счет увеличения средней скорости движения или перемещения обменного пункта ближе к отвальному тупику, что позволит сократить время обмена поездов.

Продолжительность работы отвального тупика между переукладкой пути определяется вместимостью отвальной заходки ($V_{о.з}$) и приемной способностью тупика:

$$T_п = \frac{V_{о.з}}{V_{сут}}, \text{ суток}. \quad (6.14)$$

Необходимое количество отвальных тупиков в работе:

$$N_т = \frac{V^{в}_{сут}}{V_{сут}}, \quad (6.15)$$

где $V^{в}_{сут}$ — суточный объем вскрышных пород, доставляемых из карьера на отвал, м^3.

Общее количество рабочих и резервных тупиков на крупных карьерах достигает 8–10 и более.

Поскольку ширина отвальной заходки при экскаваторном отвалообразовании сравнительно невелика (до 30–35 м), переукладка пути на новую трассу производится обычно с помощью кранов. При этом в зависимости от вылета стрелы крана и шага

переукладки может использоваться непосредственная или кратная схема переукладки.

Экскаваторный способ отвалообразования характеризуется высокой производительностью труда рабочих, высокой приемной способностью отвальных тупиков и сравнительно небольшими эксплуатационными затратами на переукладку и содержание путей. Его недостатки — это большое количество занятых на отвалах экскаваторов и связанные с этим большие капитальные затраты, а также недостаточная надежность временных путей на отвальных тупиках, особенно при складировании слабых, неустойчивых пород.

Отвалообразование с помощью драглайнов. Первые попытки применения драглайнов на отвалах с железнодорожным транспортом относятся к концу 50-х годов прошлого столетия. Они были вызваны необходимостью повышения надежности работы отвалов при складировании рыхлых, недостаточно устойчивых пород, которую в этих условиях не могло обеспечивать применение механических лопат. Драглайны позволяют, в частности, производить укладку породы с верхней отсыпкой, при которой фактор устойчивости практически не оказывает влияния на эффективность складирования пород. С течением времени драглайны начали успешно применять и при укладке в отвалы крепких предварительно взорванных пород. Постепенный переход к складированию крепких пород происходил параллельно с расширением области применения драглайнов на выемке таких же пород в забоях карьеров. И к настоящему времени этот способ отвалообразования на карьерах получил широкое применение наряду с отвалообразованием с помощью механических лопат.

Вместимость ковша драглайна выбирается с учетом требуемой производительности отвального экскаватора и вместимости ковша экскаваторов, работающих в забоях карьера. Наиболее часто на отвалах используются драглайны с ковшами вместимостью 10–15 м^3.

Суть технологии отвалообразования с помощью драглайнов аналогична отвалообразованию механическими лопатами: прибывающие на отвальный тупик поезда повагонно разгру-

жаются в подготавливаемый драглайном приемный бункер, откуда экскаватор зачерпывает породу и укладывает ее в тело отвальной заходки (рис. 6.14). При больших рабочих параметрах драглайна бункер имеет увеличенную до 6–8 м глубину и длину, соответствующую суммарной длине двух-трех думпкаров. Это позволяет разгружать одновременно не один, а как минимум два вагона и за счет этого сократить время разгрузки состава. Вместимость бункера при этом, как правило, значительно больше вместимости поезда.

Отвалообразование драглайнами может осуществляться по нескольким схемам, отличающимся друг от друга взаимным расположением экскаватора и отвального пути, порядком и способом отсыпки отвальных ярусов (нижняя, верхняя, одновременно нижняя и верхняя отсыпка), числом ярусов и др. Наиболее широко применяются схемы с нижней отсыпкой одного яруса и последовательной нижней и верхней отсыпкой двух ярусов отвала при наличии одного железнодорожного пути в тупике.

При работе с *нижней отсыпкой* драглайн располагается на поверхности отсыпаемой заходки, на одном уровне с железнодорожным путем, уложенным вблизи верхней бровки предыдущей заходки (рис. 6.14). Порода из приемного бункера перемещается экскаватором сначала вперед по ходу его движения, а затем в сторону с разворотом экскаватора на угол до 180°. Осуществляя укладку породы в отвал, экскаватор постепенно перемещается вдоль фронта, наращивая одновременно приемный бункер в длину. Порода перемещается вперед на расстояние, равное радиусу разгрузки экскаватора, т.е. на расстояние до 100 м и более. Поэтому когда экскаватор доходит до вновь отсыпанного участка заходки, порода здесь успевает приобрести устойчивость, достаточную, чтобы выдерживать нагрузку от его массы. Этим обеспечиваются более безопасные (с точки зрения деформации откосов отвала) условия производства отвальных работ, особенно при неустойчивых породах, и возможность существенно увеличить высоту отвала по сравнению с отвалами, возводимыми с помощью механических лопат.

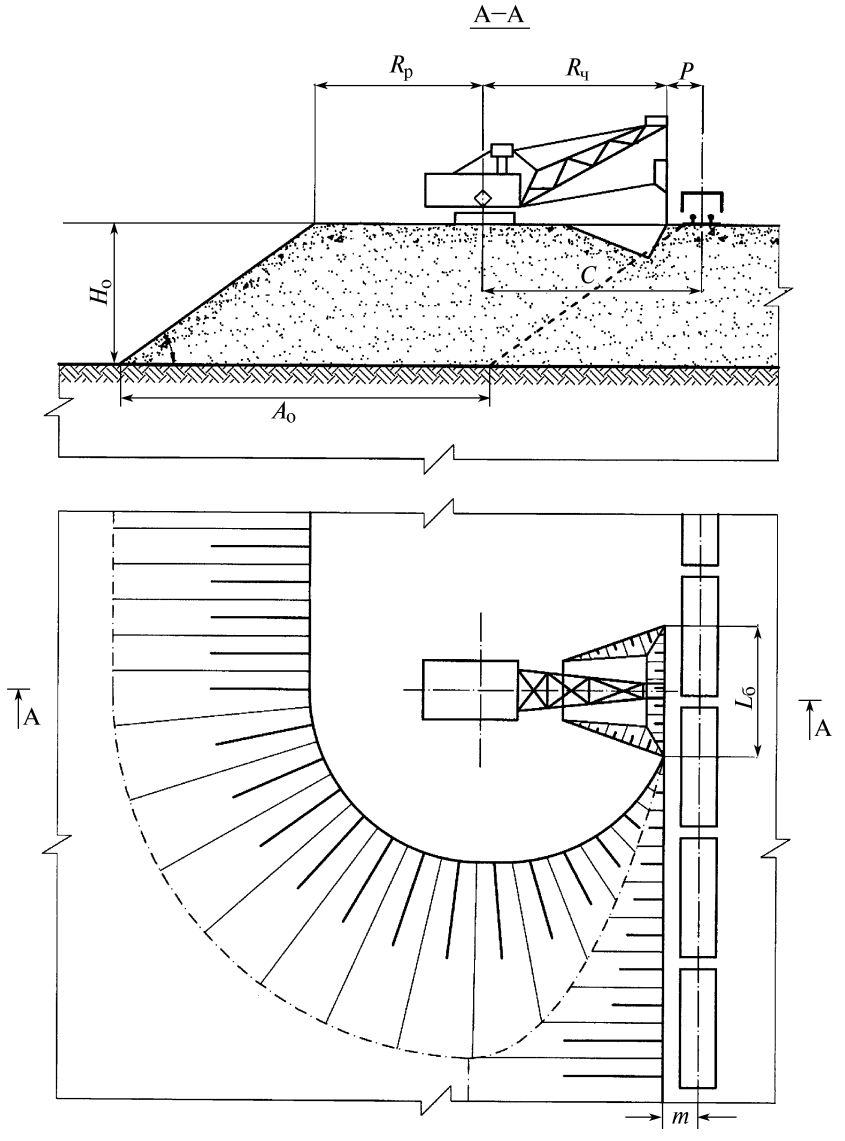


Рис. 6.14. Отвалообразование драглайном по схеме с нижней отсыпкой отвальной заходки

Ширина отвальной заходки ($A_о$) зависит от рабочих параметров драглайна ($R_ч$, $R_р$) и от места его расположения по отношению к железнодорожному пути. Если экскаватор располагается в непосредственной близости от пути, то укладка породы происходит со сравнительно небольшим средним углом его разворота (45–50°). Длительность цикла экскаватора при этом будет минимальной, а производительность — максимальной. Однако при таком положении драглайна ширина отвальной заходки не может быть больше его радиуса разгрузки. С удалением экскаватора от пути радиус его разворота на разгрузку увеличивается, производительность снижается, но возрастает ширина отвальной заходки, а следовательно, и шаг передвижки пути.

Максимальная ширина заходки достигается при наибольшем возможном удалении экскаватора от оси пути (C_{max}), величина которого определяется по формуле

$$C_{max} = \sqrt{R_ч^2 - \left(\frac{L_{п.б}}{2}\right)^2} + P, \text{ м}, \tag{6.16}$$

где $L_{п.б}$ — длина приемного бункера поверху, м; P — безопасное расстояние от оси пути до верхней бровки бункера, м (P = 2,5 м).

Тогда

$$A_о^{max} = C_{max} + R_р - m, \text{ м}, \tag{6.17}$$

где m — безопасное расстояние от оси пути до верхней бровки отвала, м (принимается по условиям безопасности движения поездов).

При существующих параметрах драглайнов ширина отвальной заходки может достигать 150–200 м (по сравнению с 30–35 м при использовании механических лопат). При такой ширине заходки и более значительной высоте отвала вместимость отвальной заходки достигает 6–8 тыс. м^3 на единицу ее длины, а общая вместимость отвального тупика длиной 1000 м может составить до 5–8 млн м^3 и более. Это, однако, не означает, что всегда следует стремиться вести отвалообразование с максимальной шириной заходки. Расчеты показывают, что оптимальная ее ширина соответствует среднему углу поворота экскаватора на разгрузку 110–120°.

При схеме с *последовательной отсыпкой нижнего и верхнего ярусов* (рис. 6.15) верхний ярус отвала возводится после завершения работ по нижнему. После отсыпки нижнего яруса экскаватор переходит на другую сторону пути, устанавливается на поверхности предыдущей заходки нижнего яруса и, двигаясь в обратном направлении, производит отсыпку верхнего яруса, укладывая породу позади себя. Высота яруса при этом определяется высотой разгрузки драглайна ($H_р$), которая у современных машин достигает 45–50 м. Подача груженых поездов к экскаватору производится по тому же пути. При электровозной тяге контактная сеть предварительно переносится на противоположную сторону пути. Приемный бункер последовательно удлиняется по мере перемещения экскаватора вдоль фронта отвала.

Возведение отвала в два яруса существенно увеличивает приемную способность отвального тупика, позволяет с одного положения железнодорожного пути произвести отсыпку обоих ярусов и за счет этого намного увеличить срок эксплуатации пути без переноса. Кроме того, при этом исключаются холостые перегоны экскаватора.

При складировании весьма неустойчивых, обводненных пород целесообразно использовать схему с *верхней отсыпкой* отвального уступа (рис. 6.16). В этом случае железнодорожный путь укладывается на поверхности земли. Драглайн также располагается на земной поверхности (или на насыпи минимальной высоты) на расстоянии C от пути. Поверхность отвала, таким образом, не используется для размещения оборудования. Поезда разгружаются в приемный бункер, откуда экскаватор перемещает

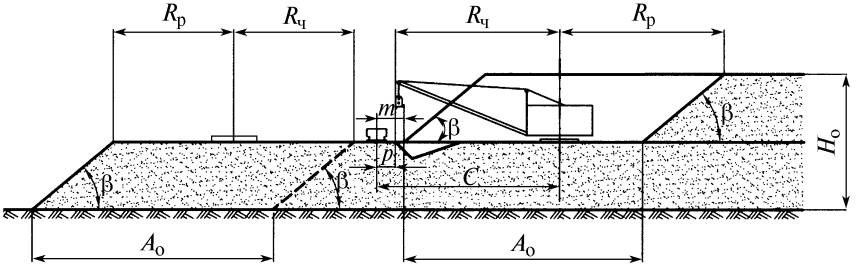


Рис. 6.15. Отвалообразование драглайном по схеме с последовательной отсыпкой нижнего и верхнего ярусов отвала

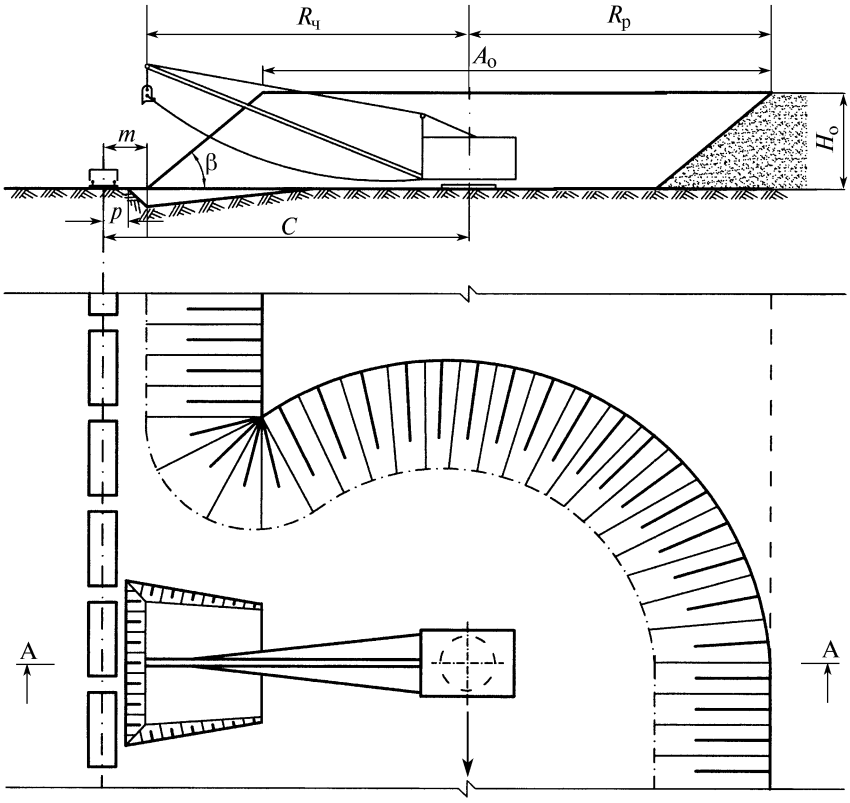


Рис. 6.16. Отвалообразование драглайном по схеме с верхней отсыпкой

породу в отвал позади себя по ходу движения. Высота отвала ($H_о$) определяется высотой разгрузки экскаватора, а ширина отвальной заходки ($A_о$) — его линейными параметрами ($R_ч$ и $R_р$):

$$A_о^{max} = C_{max} + R_р - (m + H_о \operatorname{ctg} \beta), \qquad (6.18)$$

где m — безопасное расстояние от оси пути до нижней бровки отвала.

Ввиду низкой устойчивости пород ширина заходки в этом случае существенно зависит от угла откоса отвала (β) и снижается с его уменьшением.

При большой ширине отвальной заходки, характерной для драглайнов, переукладка пути на новую трассу может производиться практически только с помощью путеукладочных поездов.

Основные достоинства отвалообразования с помощью драглайнов состоят, во-первых, в резком увеличении вместимости отвальной заходки за счет увеличения ее ширины при одновременном увеличении высоты отвала. При этом срок службы железнодорожного пути на одном месте без переноса увеличивается до двух и более лет, а трудоемкость и стоимость работ по переукладке и содержанию пути снижаются в 5–7 и более раз. В результате становится экономически оправданно отстраивать путь более капитально с укладкой на балласт. В свою очередь, это позволяет применять более мощный и тяжелый подвижной состав при более высокой скорости движения поездов и устойчивой работе транспорта. Во-вторых, драглайны обеспечивают высокую эффективность и безопасность отвальных работ при складировании мало устойчивых, в том числе обводненных пород. Наконец, увеличенная вместимость приемного бункера позволяет существенно сократить время разгрузки поездов. Однако ввиду более высокой стоимости драглайнов размеры капитальных затрат оказываются выше, чем при использовании механических лопат.

Отвалообразование с использованием бульдозеров характеризуется значительно меньшими капитальными затратами и более простой технологией отвальных работ по сравнению с экскаваторным отвалообразованием. Суть технологии бульдозерного отвалообразования состоит в том, что доставляемая на отвал порода разгружается из думпкаров на приемную площадку, расположенную на 2–3 м ниже уровня пути, откуда она бульдозером перемещается к откосу отвала (рис. 6.17).

Одной из наиболее эффективных является схема отвалообразования с разгрузкой поездов по всей длине отвального тупика. При этой схеме разгрузка думпкаров происходит с минимальными затратами времени без передвижек поезда. Выгруженная из думпкаров порода мощными бульдозерами перемещается к откосу отвала на расстояние до 45–50 м. Тупик при этом разделяется на два участка. Когда на одной половине тупика производится разгрузка поездов, на другой в это время выполняются бульдозерные работы. По окончании заполнения нижней части отвальной заходки на всю длину тупика

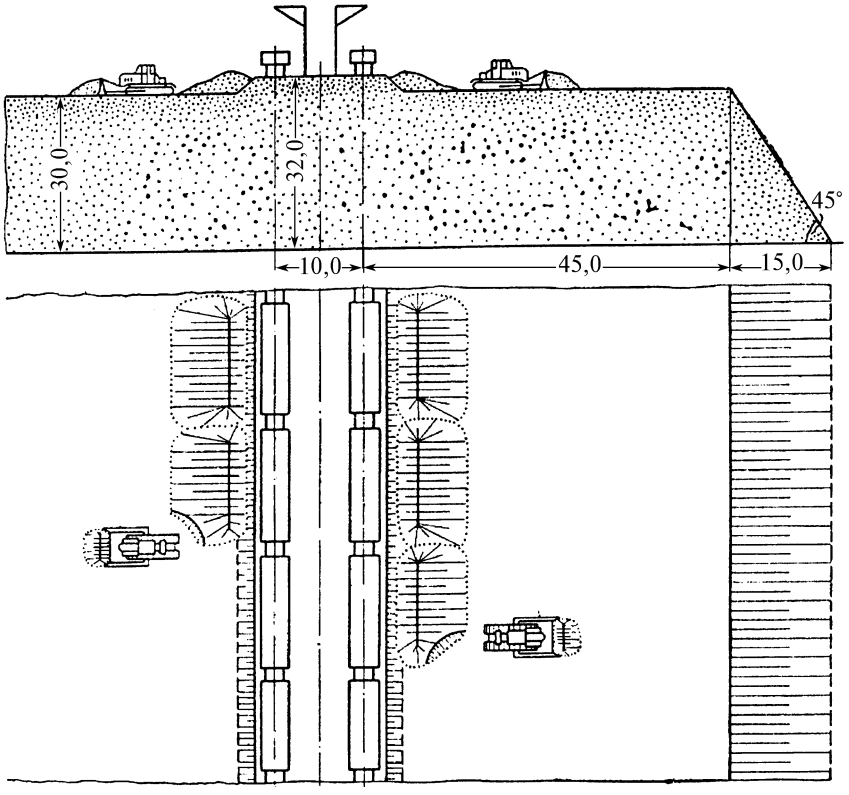


Рис. 6.17. Схема бульдозерного отвалообразования при железнодорожном транспорте

заполняется ее верхняя часть на высоту 2–3 м. После этого железнодорожный путь переносится на новую трассу с шагом, соответствующим расстоянию перемещения породы бульдозерами. Высота отвалов определяется устойчивостью пород и может составлять до 30–70 м.

При незначительном превышении уровня расположения железнодорожного пути над поверхностью отвальной заходки (2–3 м), при сравнительно большом шаге переноса и длительном нахождении пути на одном месте обеспечиваются более высокая устойчивость пути и надежность работы подвижного состава. Поэтому бульдозерное отвалообразование применимо при складировании как крепких, так и рыхлых, недостаточно

устойчивых пород. Производительность бульдозеров на отвале определяется их мощностью и расстоянием перемещения породы, а требуемое количество бульдозеров в работе — суточной приемной способностью тупика по условиям работы транспорта (см. формулу (6.10)).

Плужное отвалообразование осуществляется с помощью отвального плуга, представляющего собой самоходный или прицепной агрегат на железнодорожном ходу массой до 70 т, оснащенный отвальными лемехами, боковой вылет которых достигает 7,5 м от оси пути (рис. 6.18). Поезда разгружаются под откос отвала по всей длине отвального тупика (рис. 6.19, *а*, *б*). При этом часть породы (30–50%) скатывается вниз по откосу, а другая ее часть в виде навала остается на поверхности отвала, возле пути.

а

б

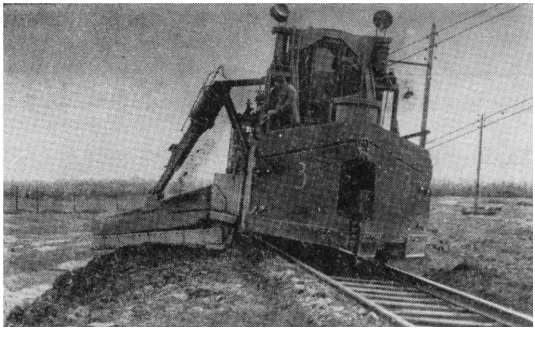


Рис. 6.18. Отвальный плуг: общий вид (*а*) и процесс профилирования отвальной заходки (*б*)

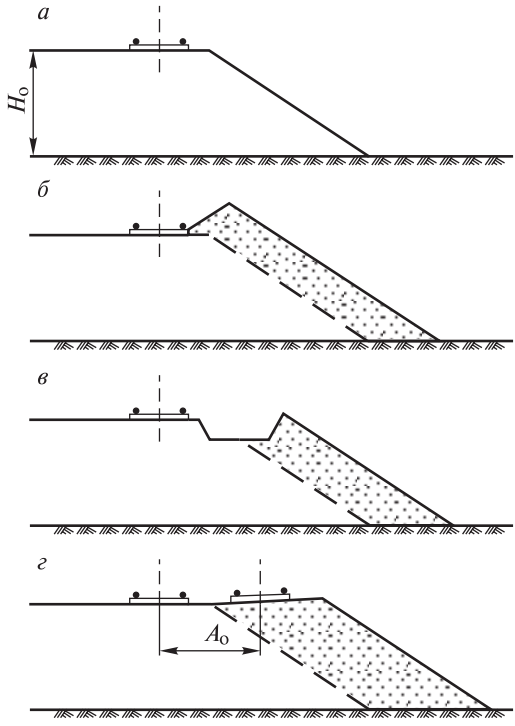


Рис. 6.19. Последовательность этапов плужного отвалообразования

Когда оставшаяся порода начинает подваливать шпальную решетку, подача поездов на тупик прекращается и производится профилирование (планировка) отвала, осуществляемое в результате нескольких проходов отвального плуга вдоль фронта отвала. В процессе планировки оставшаяся на поверхности отвала часть породы лемехом плуга сталкивается под откос и одновременно вдоль пути создается емкость для последующей разгрузки поездов (рис. 6.19, *в*). Циклы разгрузки поездов и планировки отвала повторяются до полного заполнения отвальной заходки, возможная ширина которой ($A_о$) зависит от вылета лемеха. После этого производится планировка трассы и передвижка пути в новое положение (рис. 6.19, *г*). Ширина отвальной заходки ($A_о$) и шаг передвижки пути составляют обычно до 3–4 м. Передвижка пути производится путепередвигателями цикличного действия без разборки пути на звенья.

Плужное отвалообразование применяется в редких случаях и в основном используется при складировании крепких устойчивых к обрушению пород при хорошем качестве их взрывного дробления в карьере. Высота плужных отвалов составляет от 10 до 25 м при длине отвального тупика от 500 до 2000–2500 м.

Отвалообразование многоковшовыми экскаваторами (абзетцерами) в мировой практике используется при складировании мягких пород, разрабатываемых обычно с помощью роторных или цепных экскаваторов. Этот способ отвалообразования применялся в прошлом столетии на некоторых буроугольных разрезах Советского Союза.

Многоковшовые отвальные экскаваторы-абзетцеры имеют обычно рельсовый ход и полноповоротную платформу. Их рабочие органы (рис. 6.20) включают цепную черпаковую раму *5* (заборное устройство), элементы перегрузочного устройства *3*, *4*, разгрузочную консоль *1* длиной до 90 м с ленточным конвейером и расположенную горизонтально планирующую черпаковую раму *2*.

Технология отвалообразования состоит в следующем. После отсыпки предыдущей отвальной заходки и передвижки путей под экскаватором и пути, предназначенного для движения поездов, абзетцер с помощью заборного органа готовит приемную траншею. Траншея размещается вдоль фронта отвального тупика, длина которого обычно составляет 1–2 км. Прибывающие на отвал поезда разгружаются в эту траншею, откуда абзетцер извлекает породу заборным органом, непрерывно

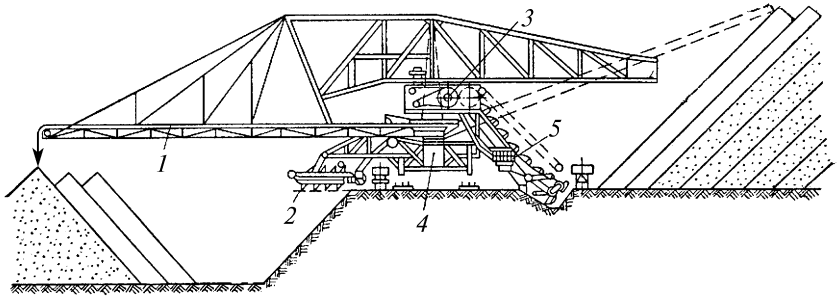


Рис. 6.20. Схема отвалообразования с применением полноповоротного абзетцера

перемещаясь вдоль фронта отвала. Из ковшей заборного органа поток породы через перегрузочное устройство попадает на конвейер разгрузочной консоли и направляется в отвал. Разгрузка поездов производится по всей длине траншеи, а ее выемка осуществляется при перемещении абзетцера в прямом и обратном направлениях.

Полноповоротные абзетцеры позволяют формировать одноярусные отвалы путем только нижней или только верхней отсыпки или двухъярусные отвалы с последовательной отсыпкой нижнего и верхнего ярусов (см. рис. 6.20). Возможны несколько вариантов порядка отсыпки заходок. При одном из них, используемом при складировании неустойчивых пород с нижней отсыпкой, в первую очередь заполняется наиболее удаленная от экскаватора часть отвальной заходки, и таким образом создается передовая насыпь. Экскаватор при этом перемещается вдоль фронта отвала при положении разгрузочной консоли перпендикулярно фронту. Пространство между передовой насыпью и отвалом заполняется породой в результате поворота консоли в плане, осуществляемого при каждом последующем проходе экскаватора вдоль фронта. При таком порядке отсыпки порода в зоне передовой насыпи к моменту передвижки в эту зону железнодорожных путей успевает уплотниться настолько, чтобы выдержать нагрузку от экскаватора и локомотивосоставов.

По завершении отсыпки нижнего яруса экскаватор разворачивается на 180° и с того же положения железнодорожных путей производит заполнение верхнего яруса отвала. После этого производится планировка поверхности нижнего яруса, пути передвигаются в новое положение, и цикл отвалообразования повторяется.

Высота отвала при нижней отсыпке определяется по условиям устойчивости пород и редко бывает больше 25–30 м. При верхней отсыпке высота верхнего яруса отвала определяется высотой разгрузки абзетцера, которая, в свою очередь, зависит от длины разгрузочной консоли и угла ее наклона (до 16–18°).

Передвижка рельсовых путей в новое положение производится с помощью путепередвигателей непрерывного действия.

В заключение необходимо подчеркнуть, что превалирующим при железнодорожном транспорте является экскаваторный способ отвалообразования. Все другие способы (бульдозерный, плужный, абзетцерный) имеют ограниченное применение.

6.5. ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕ ПРИ КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ

Складирование пород, доставляемых на внешние или внутренние отвалы конвейерным транспортом, осуществляется с помощью консольных отвалообразователей. Отвалообразователи (см. рис. 4.22) представляют собой самоходные агрегаты на гусеничном, шагающем или шагающе-рельсовом ходу. Ширина ленты конвейеров приемной и отвальной консолей составляет 1200–2000 мм, а их длина соответственно до 72–74 м и 100–190 м (табл. 6.3).

Дальность перемещения породы у крупных отвалообразователей достигает 190 м от оси хода, а высота разгрузки — до 60 м. Отвалообразователи строятся *полноповоротными* и *неполноповоротными*, а также *неповоротными* (при поворотной или неповоротной приемной консоли). Производительность отвалообразователей, выпускаемых машиностроительными заводами Украины, составляет до 7–8 тыс. $м^3$/ч. Производительность отвалообразователей отдельных зарубежных фирм достигает 15 тыс. $м^3$/ч.

Технология отвалообразования состоит в следующем (рис. 6.21). Поток породы с отвального конвейера *4* с помощью разгрузочной тележки *5* перегружается на конвейер приемной консоли *2* отвалообразователя *1*. С приемной консоли порода перегружается на конвейер отвальной консоли *3*, по которому она перемещается в отвал. Складируемая порода размещается ниже или выше горизонта, на котором установлены отвалообразователь и отвальный конвейер (нижняя или верхняя отсыпка). В процессе отсыпки заходки отвалообразователь постепенно перемещается вдоль фронта отвала.

Обычно отвалообразователи производят отсыпку широких отвальных заходок по веерной схеме с разворотом с одной точки

Таблица 6.3

Техническая характеристика консольных отвалообразователей

Параметры	ОШ-1600/110	ОШС-4000/125	ОШР-5000/190	ОШР-5250/190	ОШР-6750/190	ОШР-8000/100
Производительность, $м^3/ч$	1600	4000	5000	5250	6750	8000
Радиус разгрузки, м	110	125	190	190	190	100
Высота разгрузки, м	30	32,5	60	60	60	35,5
Длина приемной консоли, м	43,5	54,5	72,3	55	74	35
Длина отвалообразователя, м	155	Н/д	269	262	269	149
Ширина ленты конвейера, мм	1200	2000	1800	1800	2000	2000
Тип ходового оборудования	Шагающий		Шагающе-рельсовый			
Рабочая масса, т	600	1230	2710	3100	3200	Н/д

стояния на угол около 90° (рис. 6.21, *а*). Порода укладывается впереди и сбоку по ходу движения отвалообразователя. При этом на поверхности отвала образуются расположенные по веру серповидные полосы из отсыпаемой породы (рис. 6.21, *б*). Ширина полос и расстояние между соседними гребнями определяются шагом передвижки отвалообразователя с одной точки стояния на другую ($l_п$). Высота гребней ($h_г$) также зависит от шага передвижки и определяется по формуле

$$h_г \approx 0{,}15\ l_п. \qquad (6.19)$$

С уменьшением шага передвижки отвалообразователя вдоль фронта отвала уменьшаются высота гребней и объем пустот между ними и при той же высоте отвальной заходки возрастает ее вместимость.

Ширина отвальной заходки при указанной схеме отсыпки нижнего яруса отвала (см. рис. 6.21) определяется радиусом отсыпки отвалообразователя ($R_о$) и безопасным расстоянием между осью его хода и верхней бровкой отвала ($C_б$).

$$A_о = R_о - C_б. \qquad (6.20)$$

Высота отвала при нижней отсыпке принимается исходя из устойчивости складируемых пород. Обычно она изменяется от 15 до 40–45 м.

Полноповоротные отвалообразователи могут осуществлять попеременно отсыпку сначала нижнего, а затем и верхнего яруса отвала. В этом случае после отсыпки нижнего яруса по всему фронту отвала отвалообразователь перемещается на другую сторону отвального конвейера и обратным ходом отсыпает верхний ярус, укладывая породу позади себя (рис. 6.22). Высота верхнего яруса определяется радиусом отсыпки отвалообразователя и углом наклона отвальной консоли, составляющим 16–18°. Высота яруса должна при этом проверяться по углу откоса отвала, чтобы исключить подсыпку ходовой части отвалообразователя. Обычно верхний и нижний ярусы отвала по высоте равны.

После заполнения обоих ярусов отвалообразователь и отвальный конвейер перемещаются в новое положение. Передвижка

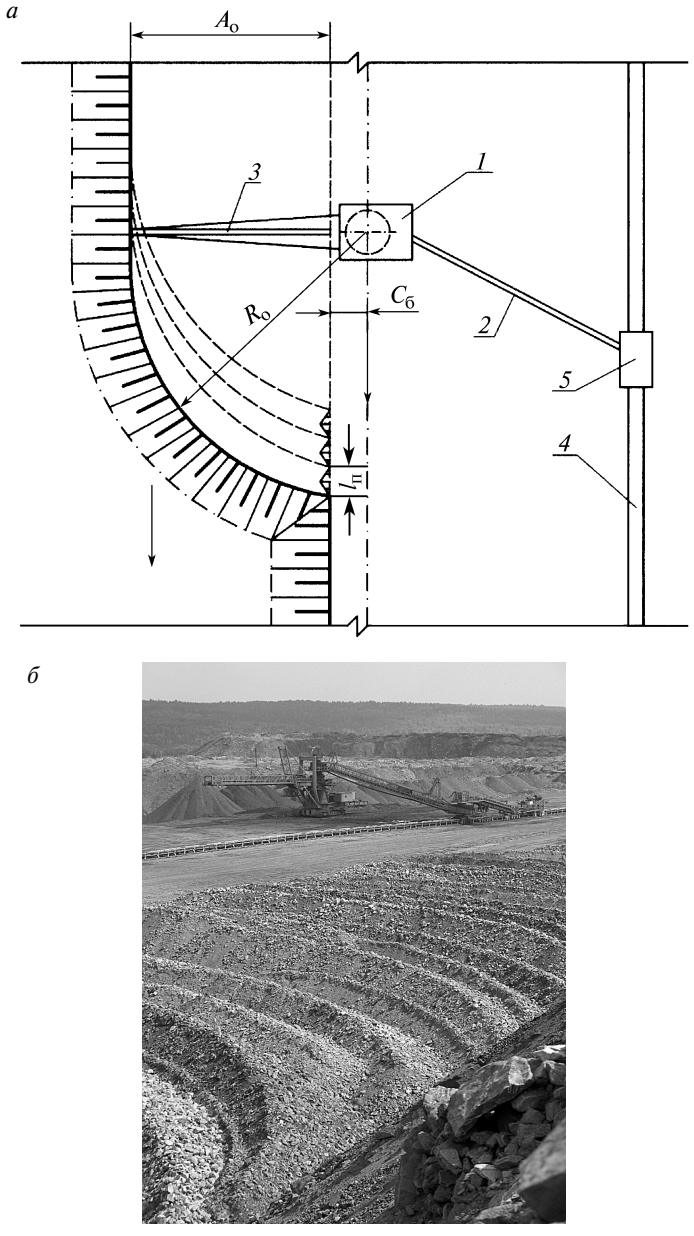


Рис. 6.21. Схема веерной отсыпки консольным отвалообразователем нижнего яруса отвала (*а*) и внешний вид поверхности отвальной заходки (*б*)

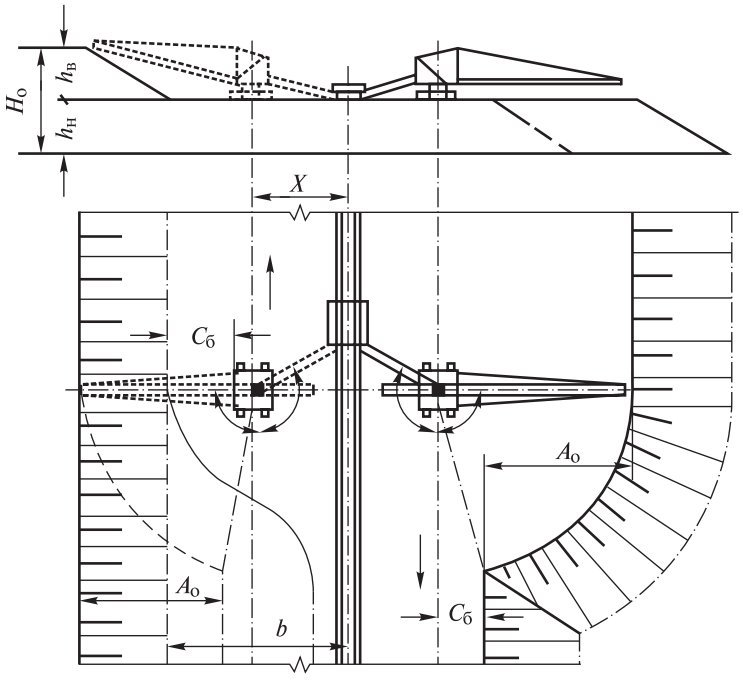


Рис. 6.22. Схема отсыпки двухъярусного отвала консольным отвалообразователем

отвального конвейера производится обычно с помощью турнодозера. Шаг передвижки конвейера соответствует ширине отвальной заходки. Поверхность нижнего яруса отвала предварительно выравнивается бульдозерами.

Основным преимуществом этой схемы отвалообразования является большая вместимость отвальной заходки, а значит, большой шаг и относительно низкая трудоемкость работ по передвижке конвейера.

При использовании *неповоротных* отвалообразователей укладка породы в одноярусный или двухъярусный отвал производится узкими продольными заходками (полосами) при расположении отвальной консоли перпендикулярно фронту отвала (рис. 6.23). При таком порядке отсыпки отвалообразователи на шагающем или гусеничном ходу должны непрерывно перемещаться вдоль фронта отвала. Шаг передвижки

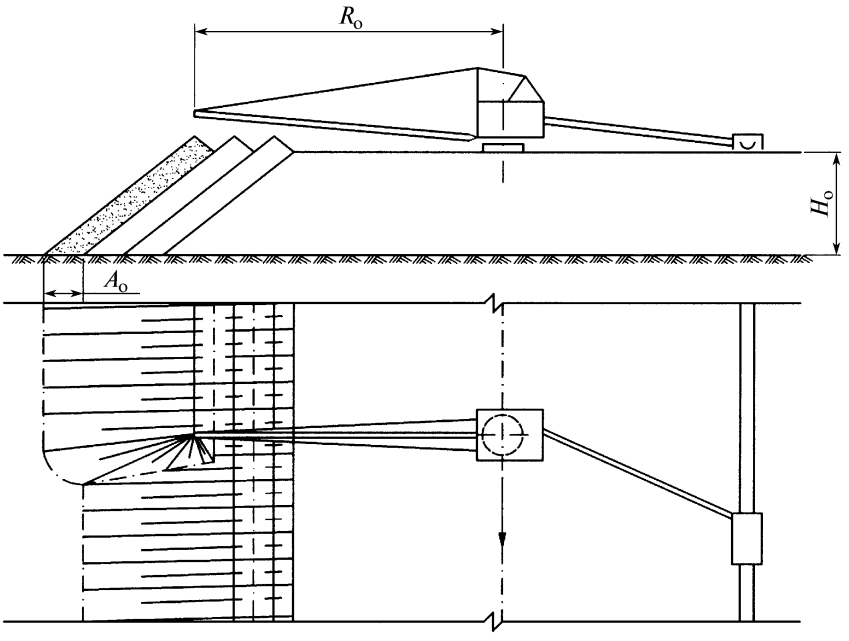


Рис. 6.23. Схема отсыпки одноярусного отвала неповоротным консольным отвалообразователем узкими продольными заходками

отвального конвейера в этом случае существенно снижается, а количество передвижек и трудоемкость работ возрастают. При тех же параметрах отвалообразователя (R_o) вместимость отвала по сравнению с веерной отсыпкой снижается на 20–30% вследствие увеличения расстояния между гребнями соседних полос, а значит, и объема пустот между ними.

При использовании *неполноповоротных* отвалообразователей складирование пород может также осуществляться по веерной схеме или узкими продольными полосами с первоначальной отсыпкой передовой насыпи (аналогично отвалообразованию абзетцерами).

Внешние конвейерные отвалы развиваются в плане по веерной или параллельной схеме. В первом случае ширина отвальной заходки постепенно увеличивается в направлении от начала заходки к ее торцу, а во втором она остается постоянной по всей длине заходки. И в том и в другом случае фронт отвала имеет прямолинейную форму.

При разработке горизонтальных или пологопадающих пластовых месторождений с размещением вскрышных пород в выработанном пространстве отвалообразователи работают обычно в комплексе с роторными экскаваторами. Отвалообразователь при этом устанавливается на кровле или почве пласта (рис. 6.24). Поток породы попадает на приемную консоль отвалообразователя либо непосредственно с разгрузочной консоли экскаватора, либо с помощью конвейерного перегружателя, который располагается между экскаватором и отвалообразователем. Порядок отсыпки отвала прямо связан со схемой выемки породы экскаватором. При выемке породы наиболее характерным для роторных экскаваторов торцовым забоем применяется веерная отсыпка

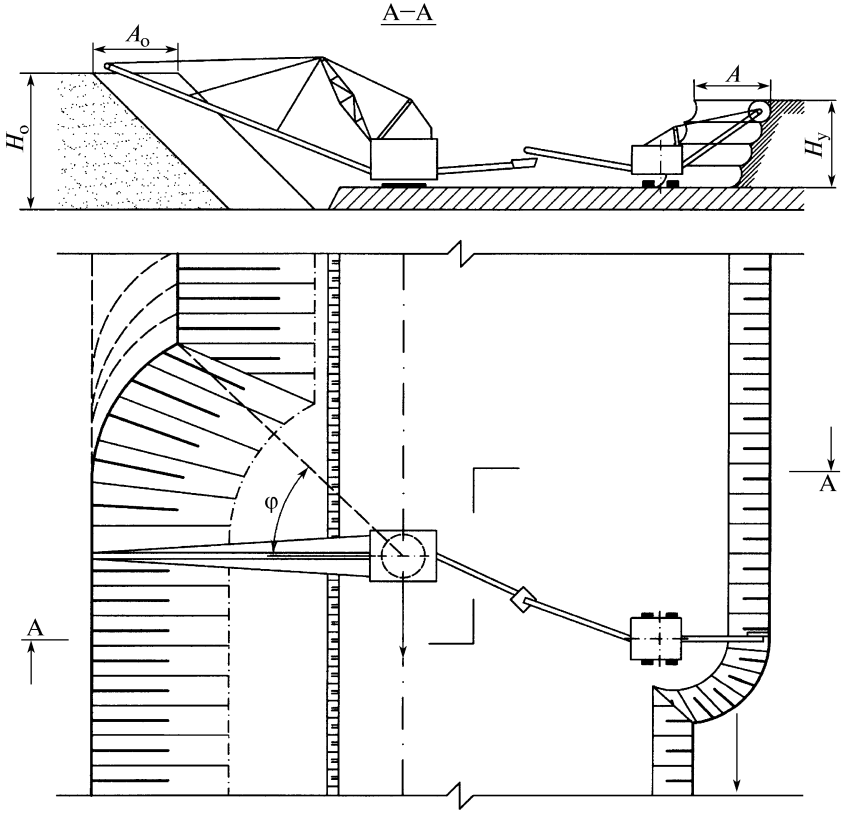


Рис. 6.24. Схема работы консольного отвалообразователя в комплексе с роторным экскаватором

породы. Ширина отвальной заходки при этом соответствует ширине заходки экскаватора, а высота отвала определяется высотой отрабатываемого вскрышного уступа.

$$H_{\text{о}} \cong H_{\text{у}} k_{\text{р}}, \tag{6.21}$$

где $k_{\text{р}}$ — коэффициент разрыхления породы.

Вылет стрелы и радиус разгрузки отвалообразователя принимаются в соответствии с высотой отвала и местом расположения отвалообразователя (кровля, почва пласта либо иная поверхность). Производительность отвалообразователя должна соответствовать производительности экскаватора.

Список литературы

1. *Анистратов Ю.И.*, *Анистратов К.Ю.* Технологические процессы открытых горных работ. — М.: ООО «НТЦ «Горное дело», 2008. — 448 с.

2. *Васильев М.В.* Транспорт глубоких карьеров. — М.: Недра, 1983. — 360 с.

3. *Галкин В.И.*, *Шешко Е.Е.* Транспортные машины. — М.: МГГУ, 2010. — 575 с.

4. *Единые* правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. — М.: Недра, 1969.

5. *Красников Ю.Д.*, *Габов В.В. и др.* Горную технику на новый технический уровень // Горный журнал. — 2005. — № 11. — С. 87–88.

6. *Кулешов А.А.* Проектирование и эксплуатация карьерного автотранспорта. — СПб.: РИЦ СПГГИ, 1994. — 287 с.

7. *Кулешов А.А.* О концепции научно-технической программы «Карьерная техника-2020» // Горный журнал. — 2007. — № 6. — С. 68–70.

8. *Мариев П.А.*, *Кулешов А.А.*, *Егоров А.Н.*, *Зырянов И.В.* Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке. — СПб.: Наука, 2006. — 387 с.

9. *Мелик-Гайказов И.В.*, *Виноградов А.И.*, *Тогунов М.Б.*, *Кампель Ф.Б.* Техника и технология формирования высотного отвала вскрышных пород Ковдорского карьера // Горный журнал. — 2009. — № 11. — С. 64–69.

10. *Пархомчик П.А.*, *Егоров А.Н. и др.* Большегрузные самосвалы, дорожно-строительное и вспомогательное оборудование — серийная продукция ПО «БелАЗ» сегодня // Горный журнал. — 2008. — № 9. — С. 4–14.

11. *Поклонов А.А.* Угольная компания «Кузбассразрезуголь» — проблемы развития // Горный журнал. — 2006. — № 11. — С. 52–57.

12. *Потапов М.Г.*, *Шешко Е.Е.* Транспортное оборудование открытых горных разработок: состояние и тенденции развития // Горный журнал. — 2009. — № 11. — С. 61–63.

13. *Репин Н.Я.* Оборудование и технологии выемочно-погрузочных работ // Горный журнал. — 2009. — № 11. — С. 57–60.

14. *Ржевский В.В.* Открытые горные работы. Ч. I. Производственные процессы. — М.: Недра, 1985. — 507 с.

15. *Русский И.И.* Отвальное хозяйство карьеров. — М.: Недра, 1971. — 240 с.

16. *Санакулов К.С.*, *Шелепов В.И.* Глубокие вводы поточного звена ЦПТ в карьере «Мурунтау» // Рациональное освоение недр. — 2010. — № 4. — С. 52–57.

17. *Санакулов К.С.*, *Шеметов П.А.* Карьер «Мурунтау» на пути к рекордной глубине: основные этапы развития и модернизации горных работ // Горный журнал. — 2009. — № 11. — С. 98–102.

18. *Снитка И.П.*, *Коломников С.С.*, *Сытенков В.Н.* Крутонаклонные конвейеры — реалии инновационного развития технологии открытых горных работ // Рациональное освоение недр. — 2010. — № 2. — С. 48–53.

19. *Спиваковский А.А.*, *Потапов М.Г.* Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок. — М.: Недра, 1983. — 383 с.

20. *Тарасов П.И.*, *Тарасов А.П.* Технологические особенности и перспективы применения троллейвозов на горных предприятиях // Горная промышленность. — 2008. — № 1. — С. 54–57.

21. *Трубецкой К.Н.*, *Клебанов А.Ф.*, *Владимиров Д.Я.* Автоматизация управления горнотранспортными комплексами в карьерах // Горный журнал. — 2009. — № 11. — С. 38–41.

22. *Трубецкой К.Н.*, *Краснянский Г.Л.*, *Хронин В.В.*, *Коваленко В.С.* Проектирование карьеров. — М.: Высшая школа, 2009. — 694 с.

23. *Трубецкой К.Н.*, *Потапов М.Г.*, *Винницкий К.Е.*, *Мельников Н.Н. и др.* Открытые горные работы: Справочник. — М.: Горное бюро, 1994. — 590 с.

24. *Фирсов А.Л.* Внедрение новых технологий на разрезе «Нерюнгринский», техническое перевооружение основного производства // Уголь. — 2007. — № 7. — С. 14–16.

25. *Хохряков В.С.* Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1982. — 280 с.

26. *Яковлев В.Л.* Состояние, проблемы и пути совершенствования открытых горных разработок // Горный журнал. — 2009. — № 11. — С. 11–14.

Оглавление

Введение 5

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА 8
1.1. Основные особенности и виды карьерного транспорта 8
1.2. Современное состояние и направления развития карьерного транспорта 11

Глава 2. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ 15
2.1. Условия применения и технологическая характеристика автомобильного транспорта 15
2.2. Подвижной состав автомобильного транспорта. 18
2.3. Автомобильные дороги 29
2.4. Пропускная и провозная способность автомобильных дорог 38
2.5. Работа экскаваторно-автомобильных комплексов 40
2.6. Производительность автомобильного транспорта 46
2.7. Борьба с налипанием и примерзанием пород 50

Глава 3. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ 52
3.1. Условия применения и технологическая характеристика железнодорожного транспорта 52
3.2. Подвижной состав железнодорожного транспорта 54
3.3. Железнодорожные пути в карьере. 64
3.4. Путевое развитие в карьерах. 71
3.5. Организация транспортного обслуживания экскаваторов на рабочих уступах и отвалах. 74
3.6. Производительность локомотивосоставов 77
3.7. Пропускная и провозная способность перегонов и раздельных пунктов. 82
3.8. Перемещение временных железнодорожных путей и их текущее содержание 84

Глава 4. КОНВЕЙЕРНЫЙ ТРАНСПОРТ 95
4.1. Условия применения и технологическая характеристика конвейерного транспорта 95

4.2. Схема конвейеризации карьера и технология перемещения пород конвейерами 105
4.3. Крутонаклонные конвейеры 115
4.4. Конвейеры как транспортирующие органы горных машин и механизмов 123
4.5. Производительность конвейеров. 131
4.6. Вспомогательные работы при конвейерном транспорте 132

Глава 5. КОМБИНИРОВАННЫЙ ТРАНСПОРТ 134
5.1. Общие сведения 134
5.2. Автомобильно-железнодорожный транспорт. 138
5.3. Автомобильно-конвейерный транспорт. 144
5.4. Автомобильно-гравитационно-железнодорожный транспорт 156
5.5. Автомобильно-скиповой транспорт 163
5.6. Канатные подъемники и специальные виды транспорта 166

Глава 6. СКЛАДИРОВАНИЕ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД И НЕКОНДИЦИОННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ОТВАЛАХ 172
6.1. Общие сведения 172
6.2. Выбор места под отвалы и сооружение первоначальных отвальных насыпей 178
6.3. Отвалообразование при автомобильном транспорте 183
6.4. Отвалообразование при железнодорожном транспорте 192
6.5. Отвалообразование при конвейерном транспорте 210

Список литературы 218

ПРОЦЕССЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Николай Яковлевич **Репин**
Лев Николаевич **Репин**

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И СКЛАДИРОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Режим выпуска «особый»

Редактор текста *А.Н. Сытдыкова*
Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета *О.А. Пелипенко*
Дизайн серии *Е.Б. Капралова*
Зав. производством *Н.Д. Уробушкина*
Подписано в печать 17.02.2013.
Формат 60 90/16. Бумага офсетная № 1.
Гарнитура «Times». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14. Тираж 1000 экз.
Заказ 2548

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

Отпечатано в ООО «АЛЬТАИР»
(Орехово-Зуевская типография)
142100, М.О., г. Подольск, Революционный пр-т, 80/42

119049
Москва, Ленинский проспект, 6,
издательство «Горная книга»;
тел. (499) 230-27-80; факс (495) 956-90-40;
тел./факс (495) 737-32-65
info@gornaya-kniga.ru
www.gornaya-kniga.ru

К • Н • И • Г • И

ИЗДАТЕЛЬСТВА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО У Н И В Е Р С И Т Е Т А И ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

можно приобрести

- в киоске Издательства «Горная книга» (м. Октябрьская-кольцевая, Ленинский просп., д. 6, главный корпус, 2-й этаж);

заказать

- через систему «Книга—почтой»; заказы в произвольной форме направляйте:

по адресу: **119049 Москва, Ленинский проспект, 6, Издательство «Горная книга»;**

по телефонам: **(499) 230-27-80, (495) 737-32-65;**

по факсам: **(495) 956-90-40, (495) 737-32-65;**

по e-mail: **info@gornaya-kniga.ru**

Распространение книг осуществляет издательство «Горная книга»

Подробная информация размещена на сайте www.gornaya-kniga.ru

ГИАБ является ведущим научно-практическим журналом в области горных наук, геологии, экономики добывающих отраслей, высшего горного образования и смежных наук

ГОРНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ (ГИАБ)

ГИАБ внесен в список периодических научных изданий, рекомендуемых ВАК Минобразования и науки России для публикации научных работ соискателей ученой степени кандидата и доктора наук

Публикуемые в **ГИАБ** материалы содержат:

- статьи ученых высшей школы, НИИ, зарубежных специалистов, руководителей горных предприятий и инженеров;
- полные тексты докладов ученых на симпозиумах, конференциях, совещаниях;
- обзоры по защищенным диссертациям в области горного дела и смежных наук;
- аннотации и рецензии на новые книги в области горного дела;
- публицистические, исторические и литературные материалы.

ГИАБ освещает работу семинаров ежегодного симпозиума «Неделя горняка».

Периодичность издания 12 номеров в год. Объем каждого номера 432 страницы.

С 2004 г. **ГИАБ** выпускается в книжном формате, в твердом переплете.

Распространение ГИАБ — преимущественно по подписке.

Возможен предварительный заказ отдельных номеров **ГИАБ**, выпускаемых в текущем году, а также заказ номеров прошлых лет (с 1992 г.).

По заявкам организаций издаются тематические и региональные выпуски ГИАБ, препринты (брошюры), являющиеся официальным приложением к бюллетеню.

ПОДПИСКУ И ПРОДАЖУ ОТДЕЛЬНЫХ НОМЕРОВ ОСУЩЕСТВЛЯЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

Заявки с обратным адресом направляйте по адресу: 119049 Москва Ленинский пр., д. 6, «Горная книга»

Индекс Роспечати 46466

По вопросам подписки, получения экземпляров ГИАБ и издания отдельных выпусков можно также обращаться по телефонам (499) 230-27-80, (495) 737-32-65; по факсу (495) 956-90-40 или по e-mail: info@gornaya-kniga.ru