

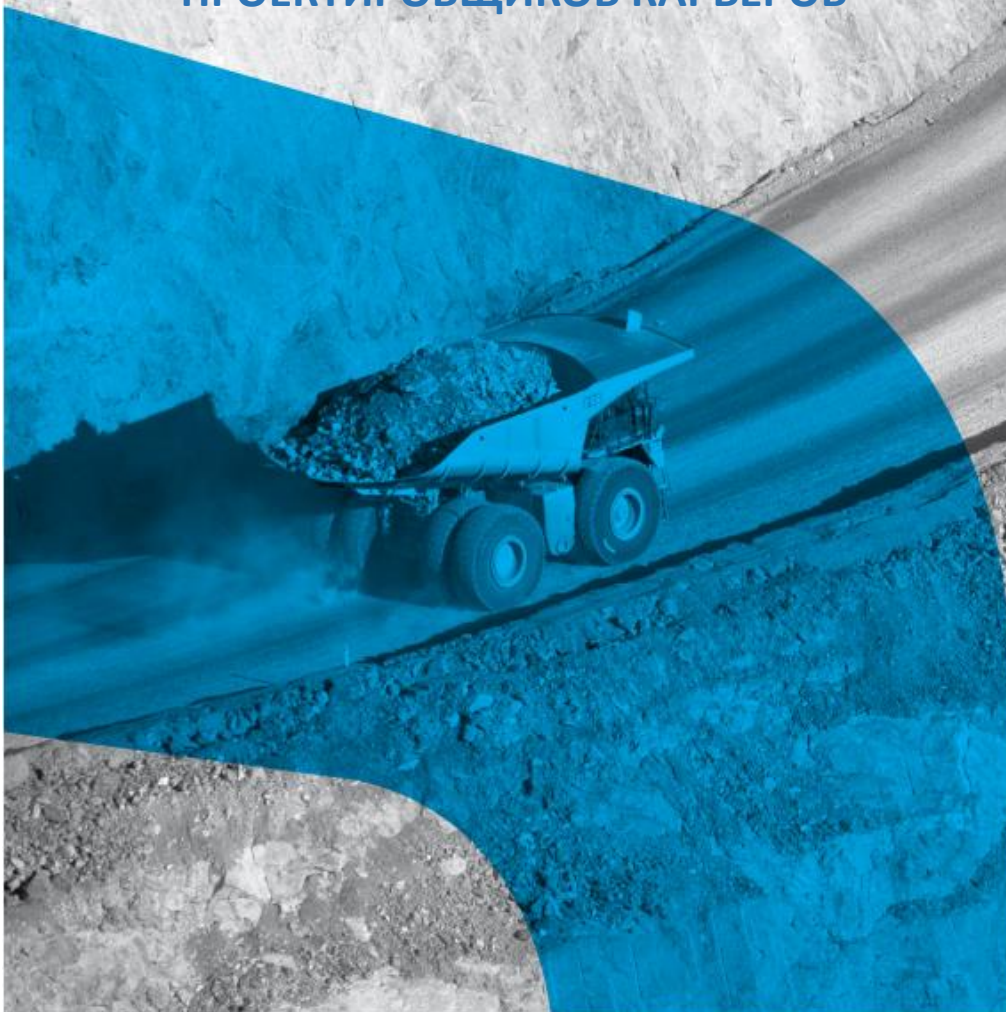
March 2018



GUIDELINES AND CONSIDERATIONS FOR OPEN PIT DESIGNERS

Julian Poniewierski
Senior Mining Consultant
FAusIMM (CP)

РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ И
СООБРАЖЕНИЯ ДЛЯ
ПРОЕКТИРОВЩИКОВ КАРЬЕРОВ



НАЗНАЧЕНИЕ

Мы понимаем, что некоторые участники курса Deswik «Проектирование карьеров для добычи металлов» могут быть новичками в проектировании карьеров и нуждаться в рекомендациях по выполнению проекта.

Эта статья написана с учетом этой потребности и предназначена специально для помощи в компьютерном проектировании карьеров, то есть в руководстве по геометрическому проектированию. Она не претендует на полноту охвата общих принципов проектирования и эксплуатации карьеров.

Помните, что программное обеспечение помогает в процессе проектирования, а не выполняет само проектирование. Проектирование контролируется инженером, выполняющим проект.

Если вы опытный проектировщик карьеров, читающий этот документ, и заметили неучтенную «жемчужину мудрости» или считаете, что требуется дополнительное объяснение или изменение, не стесняйтесь написать мне по адресу julian.poniewierski@deswik.com, и я буду рад включить ваши предложения в последующие обновления.

ОТКАЗ ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Содержание данного информационного документа предназначено для общего ознакомления и предоставляется на условиях того, что ни автор, ни компания Deswik не предоставляют консультаций по горному проектированию, эксплуатации или профессиональной деятельности.

Проектирование карьеров по своей природе определяется конкретными условиями предприятия, включая местные нормы и законодательство, а также рекомендации производителей оборудования. Хотя информация в этом информационном документе была подготовлена с разумной тщательностью и вниманием, ни Deswik, ни автор не несут ответственности за точность и полноту содержащихся в нем материалов. Она может быть неполной или неприменимой к вашим конкретным обстоятельствам, условиям или желаемым результатам, типам оборудования или местным правилам техники безопасности при горных работах. Пользователи должны проявлять собственные навыки и осторожность при использовании информации, и в той степени, в которой пользователь не квалифицирован, любое использование этой информации должно осуществляться только совместно с квалифицированным и опытным специалистом, который может учесть ваши конкретные потребности и результаты, а также все сопутствующие обстоятельства и факторы. Ни Deswik, ни автор не несут никакой ответственности, вытекающей из использования вами, опоры или действий на основе любой информации, содержащейся в этом информационном документе. Наконец, материалы данного информационного документа могут содержать мнения или рекомендации третьих лиц, которые не обязательно отражают взгляды автора или компании Deswik.

ВВЕДЕНИЕ

В вашей компании может быть руководство по проектированию карьеров – используйте его, если оно существует.

Тем, у кого нет руководства по проектированию или есть только ограниченные рекомендации, эта статья может помочь в процессе проектирования вашего первого карьера.

Ссылки (большинство из которых можно скачать из Интернета) приведены в конце статьи для получения дополнительной информации.

Конечной целью вашего проекта карьера, вероятно, будет

- » Определение рудных запасов
- » Создание исходных данных для стратегического планирования
- » Чтобы создать проект карьера, который будет детализирован инженерами краткосрочного планирования.

Таким образом, ваш проект должен быть сосредоточен на

- » Эксплуатационная эффективность (транспортировка и экскавация, а также, возможно, бурение)
- » Минимизация затрат / Максимизация ценности (меньше потеря, больше руды).
- » Гибкости планирования (практичен ли он (проект) планирования горных работ и поддержания производительности)
- » Безопасности (не закладывайте опасности и риски в проект!)

Будьте готовы к тому, что процесс будет итеративным – для получения удовлетворительного окончательного проекта может потребоваться несколько попыток. Проектирование может потребоваться выполнять снизу вверх, сверху вниз или комбинированным способом.

Умение жонглировать многими конкурирующими факторами и создавать хорошие проекты – это навык. С практикой и опытом вы будете работать быстрее и разрабатывать лучшие проекты. Знакомство с процессом и работой улучшит вашу способность быстро проектировать.

По теме безопасности: хороший проект может способствовать безопасности работы. Плохой проект может добавить ненужные риски для безопасности. При отклонении от стандартных принципов проектирования, основанных на передовой практике (например, ширина двухполосной дороги в 3,5 раза больше ширины грузовика), будьте готовы отстаивать свои проектные критерии в суде в случае аварии или даже смертельного исхода в карьере.

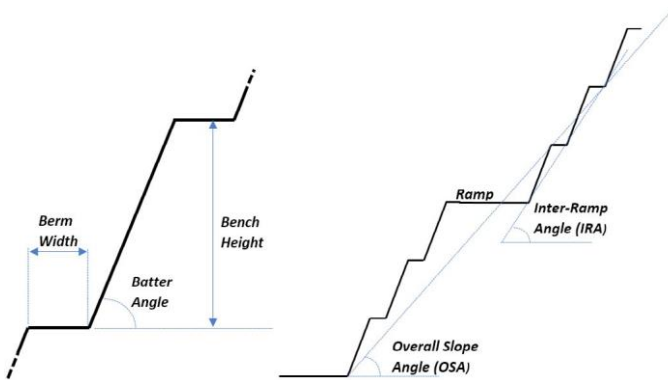
Документирование ваших принципов проектирования и обоснования поможет вам и будущим проектировщикам карьеров. Кроме того, делайте заметки во время этапов проектирования (что поможет в окончательной документации и зафиксирует шаги, которые сработали и не сработали).

В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ: ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРЬЕРА

Перед началом проектирования карьера вам необходимо знать общие ожидаемые параметры проектирования карьера по типу материала и/или геотехнической области, в частности, следующие:

- » Ширина бермы (Berm width)
- » Ширина и интервалы размещения предохранительных берм (при необходимости или по требованию)
- » Угол откоса (Batter angle)
- » Высота уступа (Bench Height)
- » Углы борта между съездами (Inter-ramp angle)
- » Предельные значения общего угла борта карьера (Overall slope angle)
- » Ширина съезда (Ramp width)
- » Уклон съезда (Ramp gradient)
- » Ширина и уклон разворота (Switchback width and gradient)
- » Минимальный радиус кривых
- » Тормозной путь грузовика (с грузом и без груза – на максимально допустимой или достижимой скорости)
- » Требования к планированию дренажа, включая уклоны для водоотвода на уступах и бермах
- » Минимальная ширина выемки – дно карьера, торцы уступов, ширина заходки на уступе
- » Предпочтительная эффективная ширина добычного уступа.
- » Требуемые элементы безопасности (например, аварийные съезды с дороги и т. д.)
- » Геотехнические зоны, которых следует избегать при размещении съездов.

Рисунок 1 Терминология, используемая при проектировании карьера



Также необходимо знать допущения, используемые при оптимизации карьера (Whittle/ Psuedoflow):

- » Как был получен общий угол откоса (Overall Slope Angle)?
- » Было ли учтено транспортные съезды/дороги? Где они расположены, какой ширины, как много разворотов и в какой части борта?

Может случиться так, что допущения, принятые при оптимизации карьера, перестанут достаточно хорошо соответствовать проектным параметрам (например, корректировка расположения съезда к общему углу борта карьера. Таким образом, будет сложно следовать такой оптимизированной оболочке. И в зависимости от разницы между оболочкой оптимизации карьера и окончательным проектом может потребоваться повторное прохождение этапа оптимизации карьера с использованием новых параметров общего угла борта карьера из только что завершенного проекта.

- » Проверьте все оболочки оптимизации карьера, которые вам были предоставлены в качестве основы для проектирования, на наличие «вертикальных стен» на краях оболочки. Они возникают из-за того, что процесс оптимизации карьера выполняется на блочной модели, которая не была достаточно расширена, чтобы охватить создаваемую оболочку. (Такое случается! – если заметили, верните оболочку специалисту по оптимизации карьера с вежливой просьбой «исправить и перезапустить»)
- » Проверьте фактические углы борта карьера предоставленной оптимизационной оболочки карьера на соответствие OSA, использованному в процессе оптимизации. Вероятно, будет обнаружено расхождение, называемое «погрешностью угла борта карьера». Значения углов борта карьера, введенные в программу оптимизации, могут быть недостижимы с учетом размеров блочной модели, поскольку углы борта определяются путем соединения центроидов, а блоки затем оказываются «внутри» или «снаружи». Большая «погрешность угла борта карьера» может сделать невозможным согласование оболочки с параметрами проекта карьера, так как сами углы борта оболочки могут быть неверными. (Если это замечено, обсудите с ответственным за оптимизацию карьера; может потребоваться повторный запуск процесса оптимизации карьера с увеличенными «высотами зависимостей»; или может быть принято решение продолжить проектирование карьера).

Некоторые вещи, о которых следует подумать заранее и на протяжении всего процесса проектирования:

- » Обычно проектирование начинается снизу и ведется вверх.
- » Иногда вам, возможно, придется выполнять часть проектирования сверху вниз и определить, как объединить два проекта. Это почти наверняка произойдет там, где у вас есть предпочтительная точка выхода из карьера для съезда.
- » Ознакомьтесь с предыдущими проектами, чтобы увидеть, что придумали предыдущие проектировщики.
- » Продумайте, где съезд должен выходить из нижней части карьера для доступа к вышележащим участкам с минимальным объемом вскрышных работ.
- » Где должен(ны) располагаться выход(ы) съезда(ов) в верхней части карьера?
- » Должен ли я иметь несколько съездов для повышения производительности и безопасности (но каковы дополнительные затраты на вскрышные работы)?
- » Могу ли я засыпать какой-либо участок карьера пустой породой, чтобы избежать ее транспортировки на поверхностный отвал?
- » Можно ли использовать насыпи для доступа к какому-либо участку?

- » Можно ли разместить съезд в зоне/борту, которая будет долгосрочной и использоваться для нескольких этапов/пушбэков (например, подошва пластового месторождения), для которой затем будет целесообразно построить дороги хорошего качества (например, хорошее дорожное основание и подстилающий слой)?
- » Некоторые съезды могут быть временными (например, обеспечивающие доступ буровых установок и взрывных машин, или доступ к насосам и инфраструктуре – не только для транспортировки)
- » Продумайте последствия для планирования работ, если доступ к области будет перекрыт на более позднем этапе проектирования (первая область должна быть полностью обработана до того, как будет перекрыт доступ, что может привести к проблемам с составлением плана).
- » Нарезать обочочки оптимизации карьера, чтобы иметь в качестве ориентира контур для каждого уступа
- » Аналогично, необходимо иметь срез блочной модели руды – с цветовой кодировкой по значению или содержанию – для каждого уступа.
- » Нарезать значимые каркасные модели геологических структур (разломы, дайки) по уступам для использования в процессе проектирования.
- » Возможно, потребуется спроектировать «последний» забой на дне (экскавационная «траншея» руды, выкопанная экскаватором-обратной лопатой без съезда, выкапываемая с отступлением от выемки с грузовиками, подъезжающими задним ходом к экскаватору).
- » Проектируйте карьер и съезды таким образом, чтобы минимизировать время в пути груженых самосвалов и минимизировать затраты на их обслуживание как с точки зрения технического обслуживания, так и с точки зрения эксплуатации (и учитывайте, что это компромисс для порожних рейсов самосвалов).

НОМЕР СТРИГА И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- » Определите принятые на предприятие правила для цветов и типов линий проекта карьера.
 - Например, разные цвета и типы линий для линий верхней бровки, линий подошвы уступа (нижняя бровка), линий середины уступа, линий фактической съёмки (топографии) и линий края съезда. Например, можно использовать пунктирные линии для подошвы уступа (нижняя бровка), сплошные линии для верхней бровки и точечные линии для проектных линий на средней высоте.

БЕРМЫ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ БЕРМЫ

- » В больших глубоких карьерах может потребоваться предохранительная берма (очень широкая берма) с определенной периодичностью (скажем, каждые 6 уступов), ширина которой позволяет осуществлять доступ для очистки от осыпей.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЪЕЗДОВ (ВНУТРИКАРЬЕРНЫХ ДОРОГ)

Просто чтобы повторить, эта статья касается проектирования карьеров с помощью компьютера.

Она не касается деталей строительства, обслуживания и эксплуатации съезда, за исключением случаев, когда компьютерное проектирование карьера затрагивает эти аспекты. Эта статья также не рассматривает требования к проектированию высокоскоростных наземных дорог. Для получения информации такого рода можно обратиться к ряду ссылок в конце этой статьи. Хорошим критерием хорошего проекта (и обслуживания) транспортной дороги является то, что водитель должен иметь возможность покинуть забой и доехать до места отвала, не отрывая ноги от пола на протяжении всей поездки (за исключением случаев достижения установленных ограничений скорости по соображениям безопасности)(не совсем действительно для Российских правил проектирования карьеров).

Требования к проекту в отношении прямой видимости на горизонтальных и вертикальных кривых затрагиваются, но не рассматриваются подробно в этой статье. Для получения дополнительной информации по этому вопросу см. USBM IC 8758 и Thompson (2015). Однако тормозной путь грузовиков (груженых в гору и порожних под гору) должен быть известен и учтен, если борт карьера закрывают обзор вперед. Обратите внимание, что «прямая видимость» также может потребовать учета «видимости» лазеров и других датчиков, используемых в автономной навигации грузовиков (в частности, это может быть проблемой на выезде со съезда карьера, и потребуется постепенный переход от уклона съезда карьера к ровной поверхности).

Некоторые из перечисленных ниже пунктов проекта изменятся при использовании автоматизированных/роботизированных грузовиков и/или систем с троллейной поддержкой – они не были учтены в следующем списке рекомендаций.

Общий долгосрочный проект карьера vs. эксплуатационный проект

- » При долгосрочном проектировании карьера мы, как правило, не беспокоимся о таких эксплуатационных деталях, как поперечный уклон и профиль дороги, но нам необходимо убедиться, что эти вопросы могут быть решены в рамках нашего проекта на эксплуатационном уровне.
- » Толщина дорожного покрытия: Хотя обычно это не требуется учитывать в большинстве упражнений по проектированию карьеров, в плохих грунтовых условиях (особенно во влажных тропических глубоко выветрившихся почвах и глинах) глубина дорожного покрытия для правильно построенной дороги может достигать 3 м. Это необходимо учитывать при геометрическом проектировании карьера (дорога должна быть проложена ниже, чем построенная дорога).

Уклон съезда

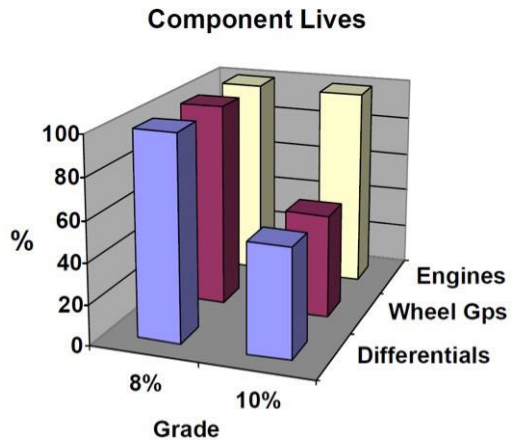
- » Проверьте наличие каких-либо законов или правил, регулирующих допустимые уклоны в местной юрисдикции шахты (штата/провинции/федерального уровня)
 - Например: руководящие принципы аудита управления дорожным движением Департамента горнодобывающей промышленности, регулирования и безопасности Западной Австралии (DMIRS, 2016) 3.5 гласит: «Убедитесь, что уклоны дорог, насколько это практически возможно, не превышают 10%».
- » Узнайте, какой уклон хочет или требует предприятие.
- » Уклон 10% (1 к 10) является общепринятым стандартом в Австралии для карьерных самосвалов с жесткой рамой. Однако в Северной Америке уклон съезда 8% (1 к 12) является распространенным по эксплуатационным и техническим причинам.

Обычно используемый уклон 10% может вызывать значительные непризнанные затраты на техническое обслуживание. Для многих грузовиков с механическим приводом (например, Cat 793C) уклон 10% с сопротивлением качению 2,5% поместит грузовик в такое положение на кривой тягового усилия, что при незначительных отклонениях/вариациях дорожного покрытия (например, «неровность» 10 см на колесной базе 5,9 м, что приводит к изменению уклона на 1,9%) или изменениях нагрузки грузовик будет искать переключение передач (вниз на 1-ю передачу или вверх на 2-ю передачу). При уклоне 8% скорость грузовика находится прямо в середине диапазона 2-й передачи и, таким образом, может лучше справляться с неровностями дорожного покрытия.

На съезде с уклоном 10%, который страдает от «поиска» передачи, водителям потребуется заблокировать грузовик на 1-й передаче, что повлияет на общую среднюю скорость движения.

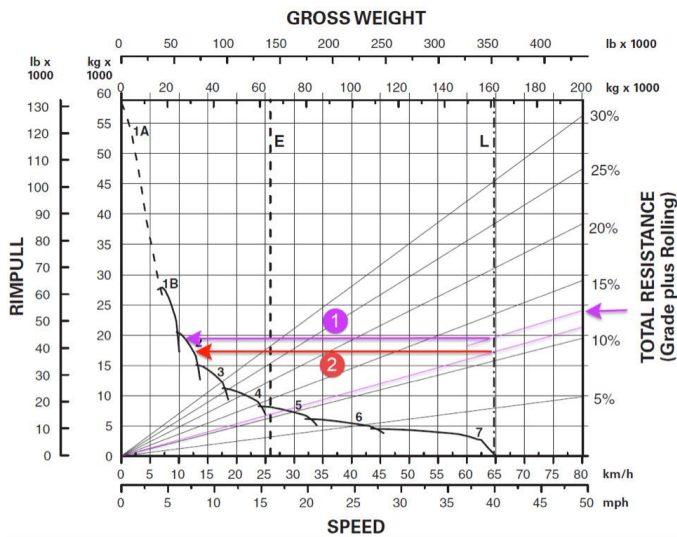
Эта проблема с переключением передач и возникающие в результате скачки мощности являются вероятной причиной значительной разницы в стоимости компонентов, показанной на рисунке 2. Срок службы дифференциалов и компонентов «колесной группы» (подшипники, тормоза, ось и т. д.) сокращается вдвое при увеличении уклона съезда с 8% до 10% (таким образом, затраты удваиваются, а КТГ снижается).

Рисунок 2 Изменение срока службы компонентов для основных затратных компонентов технического обслуживания грузовиков при уклоне дороги 8% против 10% (Источник: Caterpillar)



- » Если используется карьерный самосвал с безредукторным электрическим приводом, то эта проблема 8% против 10% исчезает.
- » Использование уклона 8% вместо 10% скорее всего приведет к увеличению коэффициента вскрыши (или к другому конечному контуру карьера для входных данных оптимизации карьера и, следовательно, к выбору другой проектной оболочки), но эксплуатационные расходы грузовиков для глубокого карьера (и, следовательно, затраты на добычу, вводимые в оптимизацию карьера) с съездом 8% будут ниже (в первую очередь из-за более низких затрат на техническое обслуживание, поскольку более высокая скорость на съезде 8% компенсируется дополнительным расстоянием пробега – что приводит к аналогичному времени цикла). Для определения того, что более экономически эффективно в течение срока службы рудника, потребуется полный анализ сценариев оптимизации, проектирования, планирования и калькуляции затрат карьера.
- » В итоге, если вам известен тип используемого грузовика и сопротивление качению на участке, обратите внимание на скорости переключения передач на кривой тягового усилия грузовика и избегайте постоянного уклона, который привел бы к скорости, «колеблющейся» вокруг точки переключения передач. Избегайте такого уклона на длинных участках дорог в проекте. Например, на рисунке 3 ниже линия «1» показывает уклон 10% с сопротивлением качению 2,5% (общее сопротивление = 10% + 2,5% = 12,5%), что он находится около точки переключения передач, тогда как центр положения 2-й передачи, показанный линией «2», составляет около 11% в сумме – поэтому для дороги с сопротивлением качению 2,5% подразумевается, что уклон от 8,5% до 9% является хорошим выбором для съезда с постоянным уклоном для 777D.

Рисунок 3 Кривая тягового усилия 777D – Сравнение общего сопротивления качению 12,5% против 11%



- » Сочлененные 6-колесные грузовики могут преодолевать более крутые уклоны, например, 12% (или 1:8).
- » Пересечения съездов должны быть плоскими с плоскими входными участками (длиной в один грузовик). Обратите внимание, что в руководстве по аудиту управления дорожным движением Департамента горнодобывающей промышленности и регулирования безопасности Западной Австралии (DMIRS, 2016), пункт 4.4, указано: «Уклоны более 2-3% следует избегать» на пересечениях.
- » Не проектируйте съезды на последние уступы карьера с уклоном 12% для жесткорамных самосвалов. Некоторые проектировщики закладывают уклон 12% для последних нескольких уступов карьера, полагая, что это поможет увеличить извлечение руды в нижней части карьера, при минимальной потере эффективности работы самосвалов. Однако, уклон 12% приведет к двум непредвиденным последствиям:
 - (a) Неполная загрузка грузовиков из-за увеличения падения породы с задней части грузовиков при попытке полной загрузки.
 - (b) Неполная загрузка грузовиков из-за того, что в противном случае грузовик достигает условий остановки на участках с высоким сопротивлением качению.

Оставьте вариант 12% для принятия решения эксплуатационникам, когда они доберутся до низа. Не включайте его в долгосрочный проект.

Ширина съезда/дороги

- » Ширина определяется самым большим грузовиком в автопарке, который будет использоваться – в частности, шириной грузовика.
- » Рекомендации по проектированию (Holman, 2006; DMIRS, 2016 - пункт 3.2, Kaufman W.W. & Ault J.C. 1977) для минимальной «ширины проезжей части» дороги:
 - =3,5 ширины грузовика для прямого участка двухсторонней дороги (см. пример на рисунке 4)
 - =4 ширины грузовика для поворотов двухсторонней дороги.
 - = 2 – 2,5 ширины грузовика на односторонних прямых участках и поворотах.
- Примечание; источником этих рекомендаций является Информационный циркуляр 8758 Бюро горной промышленности США (Кауфман В.В. и Аульт Дж.К., 1977 г.), первоначально опубликованный в 1977 г.
- » Добавьте запас для предохранительного вала (см. пример на Рисунке 4)
 - NB DMIRS (2016) руководящие принципы аудита, пункт 3.14: «Любой вал должен определяться анализом рисков, но должен составлять не менее половины (50-66%) высоты колеса самого большого транспортного средства, работающего на этой дороге».
- » Предусмотреть дренаж: ширина будет зависеть от количества осадков, которые необходимо отводить. Дренажные каналы обычно имеют V-образную форму, с уклонами откосов, как правило, 3H:1V с внутренней стороны, примыкающей к обочине дороги, и 2H:1V с внешней стороны, с минимальной глубиной 0,3 м (что дает ширину 1,5 м – см. пример на Рисунке 6). Однако глубина и ширина зависят от количества осадков и могут потребовать значительно больших значений.

Рисунок 4 (ниже) Пример проекта ширины съезда для Cat 793 (ширина грузовика 7,6 м) (Обратите внимание на меньшую ширину водостока, чем рекомендовано в данном наборе руководящих принципов)

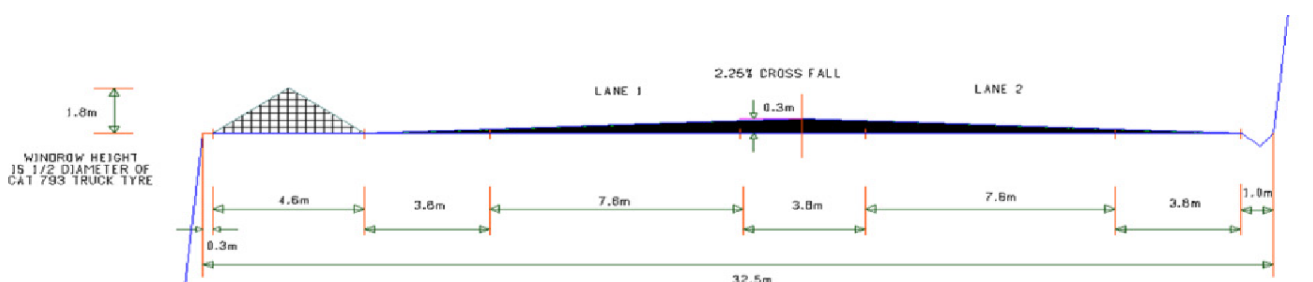
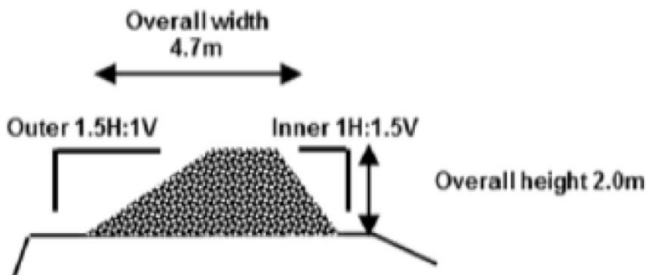
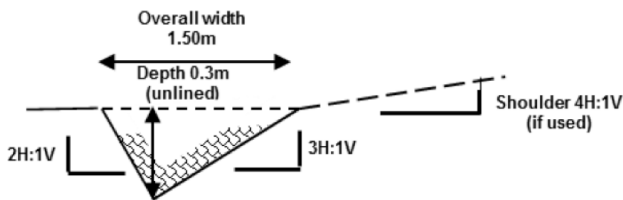


Рисунок 5 Пример конструкции вала



(источник: Thompson, 2015)

Рисунок 6 Пример конструкции ширины водостока



(источник: Thompson, 2015)

- » Могут потребоваться дополнительные надбавки к ширине когда:
 - Постоянно влажные и скользкие дороги (влажные тропические рудники)
 - Неопытные водители (рудники с высокой текучестью кадров; нетрадиционные горнодобывающие юрисдикции с большим количеством местной рабочей силы)
 - Туманные условия
 - Эрозия и потенциальное обрушение
 - Возможность добавления срединного вала для разделения движения.
- » Два-три нижних уступа часто проектируются с шириной одностороннего съезда. При таком проектировании следует учитывать парковку и зоны разъезда для грузовиков, ожидающих доступа к экскаватору (например, на разворотах).

Направление движения / Направление спиральных спусков

- » Где это возможно (а это не всегда возможно), проектируйте съезды в карьере по часовой стрелке вверх (при движении грузовых машин вверх).
 - Это позволяет грузовикам (с левым рулем) двигаться вверх по склону с грузом, прижимаясь к стенке карьера (при этом грузовики движутся по левой стороне дороги). Расположение кабины водителя с внешней **СТОРОНЫ** дороги позволяет водителю видеть край дороги – это особенно важно в ночную смену. Расположение груженого грузовика у стенки означает, что меньший вес приходится на, вероятно, менее устойчивые края рампы. Кроме того, такие компоненты грузовика, как рулевое управление, колеса, оси, подшипники, тормоза, **Чаще** выходят из строя при полной загрузке

и дальше от края карьера безопаснее в отношении неконтролируемых перемещений при возникновении таких обрушений.

- Очевидно, что развороты изменяют эту концепцию, но грузовики все равно будут двигаться так, что водитель может легко видеть край дороги. Максимизируйте время/расстояние, которое грузовики движутся по часовой стрелке вверх
- В некоторых карьерах, в странах с левосторонним движением автомобилей и, следовательно, правосторонним движением по дороге, предпочитают, чтобы грузовики следовали общим правилам дорожного движения (избегая путаницы). Но это все еще признается менее безопасным, чем движение по левой стороне дороги – так что некоторые страны с правосторонним движением переходят на левостороннее движение в своих карьерах для повышения безопасности.

Геотехнические факторы

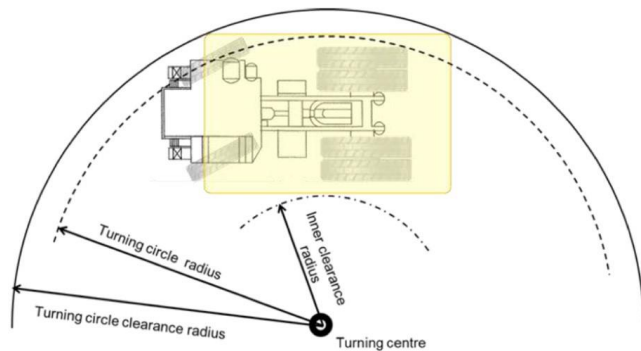
- » Обсудите с инженером-геотехником. Знайте геотехнические риски. Особенно слабые зоны разломов с высоким риском обрушения, в которых лучше избегать размещения съезда.
- » Наличие трещин в определенной области может означать, что гребень съезда в этой области регулярно разрушается, что требует дополнительной ширины дорог для обеспечения безопасности.

Ширина и уклон разворота (Switchback)

- » Развороты должны быть спроектированы с внутренним радиусом закругления откоса, чтобы обеспечить минимальный внутренний радиус траектории шины не менее 150% от минимального внутреннего радиуса поворота используемого в карьере грузовика. (См. Рисунок 7 для пояснения)
- » Плоские разворотные площадки предпочтительнее. Но все же убедитесь, что на внутренней полосе имеется достаточный радиус поворота. Плоские разворотные площадки создают наименьшую нагрузку на трансмиссию грузовиков, и в грузовике с механическим приводом, вероятно, все равно потребуются переключение передач, но это, по крайней мере, происходит довольно плавно.
- » Если разворот проектируется с уклоном, уклон на внутренней кривой радиуса должен быть установлен на 2-3% меньше, чем уклон въезда, чтобы компенсировать повышенное сопротивление качению на повороте.
 - Подумайте о том, как груженный грузовик будет проходить внутреннюю часть любого разворота
 - Геометрия разворота с уклоном все равно будет вызывать переключение передач просто потому, что невозможно иметь постоянный уклон на обоих ведущих колесах.

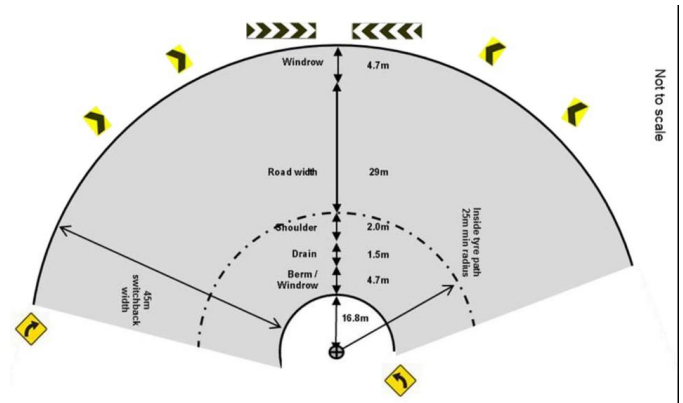
- » Где возможно, проектируйте развороты совмещенными с бермой, чтобы увеличить радиус поворота, не ухудшая коэффициент вскрыши более чем необходимо.
- » Ширина разворота обычно увеличивается на 0,5–1,0 ширины грузовика по сравнению с шириной прямых участков дорог. Это делается для того, чтобы избежать столкновений выступающих частей грузовиков.
- » На практике эти плоские развороты будут наращиваться в процессе эксплуатации с некоторым поперечным уклоном или, по крайней мере, 2% уклоном для дренажа.
- » Кривая большего радиуса может быть гораздо более эффективной с эксплуатационной точки зрения, чем крутой разворото – особенно для дорог с длительным сроком службы. Используйте максимально возможный радиус, сохраняя его постоянным и плавным.
- » Обратите внимание, что плохо спроектированные кривые приводят к увеличению времени цикла и повышению общих затрат.
- » Пример всех элементов проекта, которые необходимо учитывать при проектировании разворотов, показан на рисунке 8.

Рисунок 7 Определения радиуса поворота



(источник: Thompson, 2015)

Рисунок 8 Пример учета всех элементов конструкции разворота (грузовик шириной 7,25 м)



(источник: Thompson, 2015)

Центральная линия VY линия кратчайшего края (Shortest-Edge Line)

- » По умолчанию используйте опцию линия кратчайшего края при проектировании двухполосных съездов. Использование вариантов проектирования на основе центральной для разворотов может привести к чрезвычайно высоким уклонам на внутренних полосах двухполосных дорог. (см. <https://www.linkedin.com/pulse/truck-says-centre-line-gradient-ramp-designs-julian-poniewierski/>)
- » Вариант с центральной линией может быть использован при проектировании однополосного съезда (хотя всё же лучше рассматривать радиус внутренней колеи как проектный уклон)

Прямые дороги

- » Спроектируйте съезды прямыми или, по крайней мере, плавными кривыми. При проектировании карьера и следовании оболочкам оптимизации карьера расширенные проекции могут начать отображать «неровности» и «изломы» – выпрямите или сгладьте их, прежде чем продолжить процесс проектирования, как показано на рисунке 9.

Рисунок 9 Пример «извилистой» дороги (слева), выпрямленной (справа)



Пересечение рампы и бермы

- » Спроектируйте верхнюю и нижнюю бровки съезда в месте пересечения с уступом, отражающие реальные условия эксплуатации. Рекомендуется расширить съезд таким образом, чтобы он обеспечивал доступ к берме.

Съезды безопасности

- » Может быть обязательным требованием безопасности. Уточните. Может быть реализовано в виде периодически встречающегося уширенного «аварийной бермы».

Другие соображения по безопасности дорог

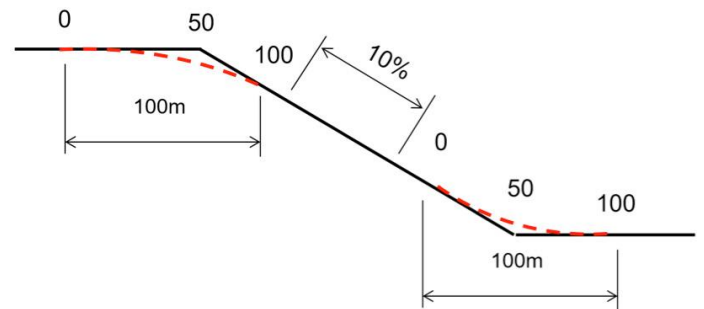
Ряд вопросов безопасности при проектировании уже обсуждался.

«Безопасная система признает, что люди подвержены ошибкам, ошибки неизбежны, и что, когда они происходят, дорожная система (карьерного транспорта) учитывает эти ошибки, чтобы минимизировать уровень опасности, связанной с риском». (Thompson, 2015)

Некоторые дополнительные вопросы безопасности, которые следует учитывать при проектировании съездов в карьере:

- » Дальность видимости на дороге ВСЕГДА должна быть больше тормозного пути (эмпирическое правило: используйте удвоенное значение тормозного пути). Проблемой будут препятствия на съезде в той же полосе движения, что и путь грузовика, например, сломанное оборудование (грузовики, грейдеры, легковые автомобили и т. д.) или большой камнепад, который может вывести из строя водосборник!
- » В частности, углы и бровки (см. Рисунок 10) должны быть спроектированы таким образом, чтобы операторы машин могли видеть опасности и избегать их при движении с обычными рабочими скоростями.
- » Пересечения должны быть максимально плоскими и не должны располагаться на вершине съездов.
- » Следует избегать резких горизонтальных поворотов в верхней и нижней части съездов.
- » Для максимальной безопасности углы и бровки должны быть спроектированы таким образом, чтобы операторы машин могли видеть опасности и избегать их при движении с обычными рабочими скоростями.

Рисунок 10 Пример изменения вертикальной кривой при изменении уклона съезда для поддержания прямой видимости



(источник: презентация Caterpillar по проектированию)

Другие соображения по составлению планов

- » Съезд, обеспечивающий доступ к горизонту посередине его длины, позволит вести добычу как минимум на двух фронтах - в противоположных направлениях - увеличивая скорость, с которой разрабатывается горизонт. Если в выемке есть какие-либо очень большие горизонты, то такое расположение съезда поможет повысить производительность карьера.

МЕСТО ВЫЕЗДА ИЗ КАРЬЕРА

- » Рядом с отвалом – чтобы минимизировать транспортировку вскрыши? Объем вскрыши, вероятно, будет намного больше, чем объем руды.
- » Рядом с фабрикой – чтобы минимизировать транспортировку руды?
- » Два выхода? Один для пустой породы, а другой для руды?

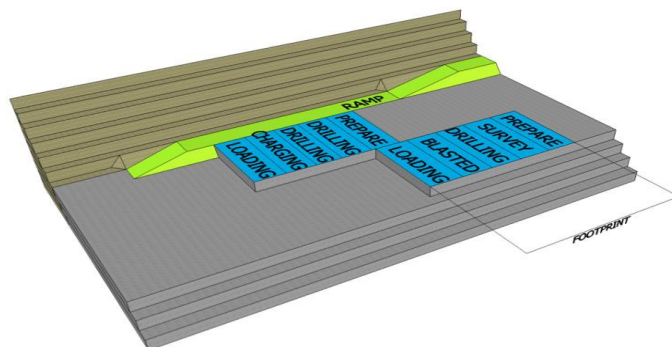
ХОЛМИСТЫЙ ИЛИ ГОРНЫЙ РЕЛЬЕФ

- » На холмистой или гористой местности, если съезд размещен в борту, который находится на склоне холма или ниже самого крутого склона, к вашему проекту будет добавлено значительное количество вскрыши. По возможности размещайте съезд другой стороне или под самым низким подъемом рельефа.

МИНИМАЛЬНАЯ ШИРИНА ДОБЫЧИ

- » Три момента, которые следует учитывать:
 - Минимальная ширина дна карьера,
 - Минимальная ширина уступа
 - Ширина доступа к определенной области на уступе – концы уступов и т. д.
- » Геометрия определяет относительное количество и производительность доступных рабочих зон.
- » Каков радиус поворота грузовика? Каков радиус поворота экскаватора?
 - Одна из предлагаемых минимальных ширин добычи (дно карьера) = радиус поворота грузовика + ширина предохранительной бермы
 - Другое = радиус поворота экскаватора + ширина съезда + ширина предохранительного берма
 - Рекомендуемая минимальная ширина уступа = радиус поворота экскаватора + радиус поворота грузовика + ширина предохранительного бермы. Удвоение этого значения позволит иметь две рабочие площадки на горизонте.
 - Грузовик должен иметь возможность объехать экскаватор при полном ускорении.
- » Есть ли место для рабочей зоны и временного объездного съезда? (позволяющего разрабатывать несколько уступов на фазе? Или определяющего его как зону разработки только одного уступа)
- » Ограничения ширины ковша/Ограничения досягаемости ковша?
- » Используются ли контурные взрывы, и какой ширины? Возможно, потребуется добавить к ширине рабочей зоны на основном взрыве в уступе.
- » Расчет подходящего размера рабочей зоны может быть выполнен путем определения и суммирования безопасных и эффективных площадей, необходимых для всех связанных видов деятельности в карьере, как показано на рисунке 11.

Рисунок 11 Пример расчета рабочей зоны в карьере для минимальной ширины разработки



(Источник: Jordaаn, 2011)

КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ИЛИ ПРЯМОЛИНЕЙНЫЕ БОРТА.

- » Некоторые предпочитают прямые участки бортов (Примечание: их проще проектировать, взрывать и разрабатывать)
- » Некоторые предпочитают гладкие изогнутые борта (Примечание: это относительно легко сделать в окисленной породе, но как вы будете взрывать изогнутый борт в твердой породе? Расстояние между взрывными скважинами может составлять более 5 метров, поэтому ваша кривая на самом деле представляет собой набор прямых линий)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАЗ

- » В общем случае, сначала проектируется окончательный контур карьера, а затем рассматриваются более ранние стадии. Может потребоваться несколько итераций по мере понимания потенциальных синергий между стадиями.
- » Проверьте, можно ли использовать участки текущего финального съезда также и для каких-либо более ранних этапов.
- » Можно ли разделить взаимодействие этапов, проектируя последовательные этапы поочередно на противоположных сторонах карьера?
- » Можно ли спроектировать этапы разработки таким образом, чтобы обеспечить засыпку в карьере, избегая вывоза всей вскрыши на поверхность?
- » Требуется ли «стартовая площадка» и портал для подземных работ, и на каком этапе разработки потребуется такой доступ?
- » Избегайте тонких треугольных пересечений или «клиньев» между границей одной фазы и границей последующей фазы или конечного контура карьера (см. Рисунок 12). Разработка таких участков может быть небезопасной.

Рисунок 12 Небезопасное пересечение фаз (слева) и безопасное пересечение фаз (справа)



- » Обсудите с командой геотехников. Возможно, потребуется использовать промежуточный этап для тестирования и опробования более агрессивных параметров бортов, прежде чем утверждать окончательный проект. Анализ обрушений бортов на ранней стадии разработки карьера обеспечит более надежное понимание пределов устойчивости бортов.
- » Не рекомендуется прокладывать эксплуатационные съезды под осыпями или бермами, заполненными осыпью, образовавшимися в результате поэтапной выемки. Существует риск для безопасности или дополнительные затраты, связанные с использованием малогабаритной техники для очистки берм. Если проблему невозможно устранить путем планирования или проектирования, требуется размещение крупных осыпи сборных берм. Одним из решений является проектирование «широкого» съезда на внутренних фазах, как это было сделано на месторождении Cadia (Mumme and Pothitos, 2006). Это заключается в проектировании съезда как комбинации «уловительных берм и съезда для максимального увеличения времени использования уловительной вместительности, обеспечения гибкости планирования и устранения риска доступа к обычным бермам для очистки, предусматривая непредвиденные обстоятельства» (Mumme and Pothitos, 2006).
- » Убедитесь, что фазы/пушбэки имеют размеры, позволяющие эффективно использовать оборудование.
- » Достаточно ли ширины уступа для размещения временного съезда, чтобы обеспечить разработку нескольких уступов на фазе? Если нет, то потребуется разработать весь уступ целиком до того, как можно будет разработать следующий уступ, что значительно снижает производительность карьера.

ВОДООТЛИВ И ДРЕНАЖ КАРЬЕРА

- » Существуют ли какие-либо проектные требования для разработки успешной стратегии водоотведения из карьера?
- » Изучите карту местности и спроектируйте отвод поверхностных вод от карьера.
- » В районах с высоким уровнем осадков рекомендуется использовать наклонные уступы и наклонные бермы (в последних версиях программного обеспечения эта опция включена в инструменты проектирования). Наклон в 3% представляется эффективным (например, на месторождении Лихир).
- » Продумайте, где может потребоваться размещение зумпфов и дренажных систем, и нужно ли вносить изменения в проект для их размещения. Зумпф обычно располагают в конце дренажной канавы на повороте, а также для обеспечения безопасного доступа к этому зумпфу для обслуживания насоса.
- » Подумайте о том, как можно обустроить зумпф на ранней стадии разработки карьера.

ПРОВЕРКА ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

- » Раскрасьте треугольники поверхности по углу падения (Рисование | Тела | Маркеры уклона треугольников). Это выделит области, которые могут не соответствовать техническим условиям. (см. пример на Рисунке 13)
- » Создайте набор близко расположенных горизонталей – например, через каждый 1 м – и проверьте горизонтали на наличие триангуляционных aberrаций (см. пример на Рисунке 14), особенно на съездах, где горизонтали должны быть параллельны на прямых участках и систематичны в изменениях в других местах. (Draw|Solids|Slices: Plan/Fixed Spacing/Increments = 1.0/Data Extents)
- » Поверните проект в 3D, чтобы убедиться, что все выглядит хорошо.
- » Сравните объемы руды и пустой породы с оболочкой, полученной в результате оптимизации карьера. Предоставьте обратную связь специалисту/команде, занимающейся оптимизацией карьера.

Рисунок 13 Пример цветовой маркировки проекта карьера для проверки применения проектных уклонов

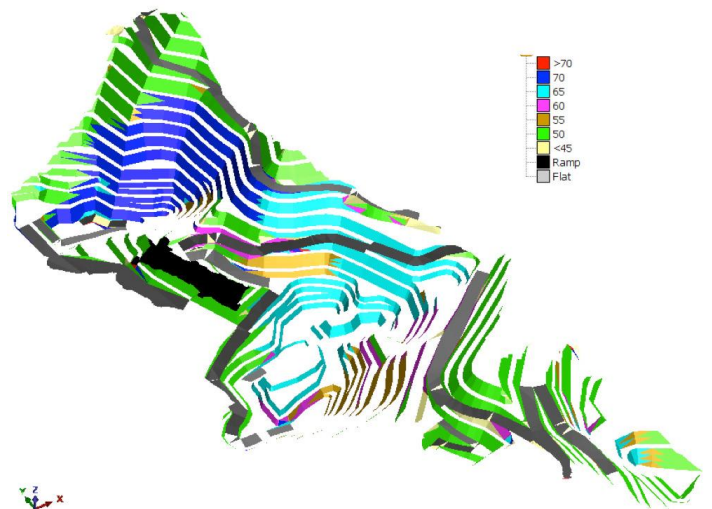
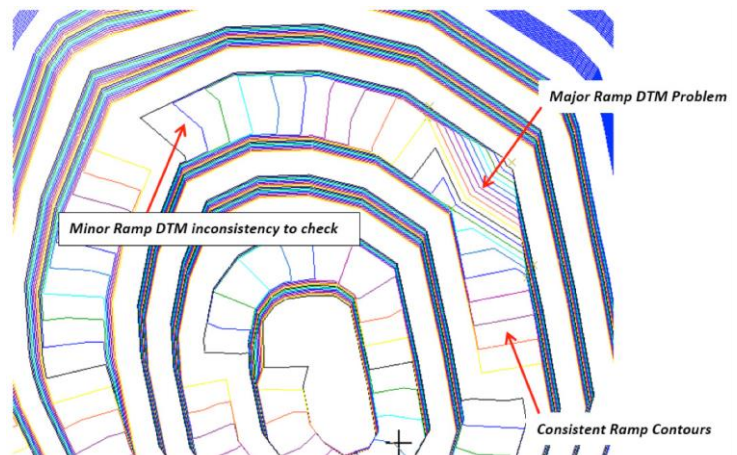


Рисунок 14 Пример изолиний карьера для проверки



ФОТОПРИМЕРЫ ПРОБЛЕМ

Почему у нас есть валы безопасности



Источник вышеуказанных фотографий: неизвестен



Повреждение грузовика из-за плохого проектирования съезда, вызывающего нагрузку на рулевую раму и оси



Источник вышеуказанных фотографий: неизвестен



Съезды карьера с левосторонней загрузкой у стенки

Это предпочтительная схема, когда это возможно:



(Золотой рудник St. Ives, Австралия)(Месторождение Freeport-McMoran, США)



Съезды карьера с левосторонней загрузкой у края карьера

Это менее предпочтительная схема (но может быть неизбежной из-за разворотов)



(Чукикамата).



(Калгурли Супер-Пит)

Источник вышеуказанных фотографий: неизвестен

Съезды карьера с правосторонней загрузкой у края карьера

Это наименее предпочтительная (наименее безопасная) схема:



(источник: сайт Mining Mayhem, местоположение неизвестно)

Разворот с пологим уклоном



(Ою-Толгой) - Источник: неизвестен

Неудачный разворот



(неизвестно и лучше оставить анонимным)(Grasberg, Индонезия) - Источник: неизвестен

Группировка

Пример скопления грузовиков на съезде:



БЛАГОДАРНОСТИ

При подготовке этих заметок я хотел бы поблагодарить следующих коллег по отрасли за рецензирование, ценные предложения и хорошие объяснения:

- » Стив Франклин, главный консультант, Cement & Aggregate Consulting
- » Боб Харрис, независимый технический консультант, Project Definition Pty Ltd.
- » Крис Данбар, начальник производства шахты, Premier Coal Limited.
- » Джереми Стоун, начальник горных работ, СП Амбатови.
- » «Команда Deswik» – мои старшие коллеги-консультанты, которые внесли ценный вклад в эти заметки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

DMIRS, 2016, “Traffic management audit – guide”, Department of Mines, Industry Regulation and Safety, Government of Western Australia, 27 January 2016, 37 pp. downloadable from:

http://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Safety/MSH_AuditGuide_TrafficManagement.pdf

Holman. 2006. “Caterpillar Haul Road Design and Management”, presentation downloadable from:

<http://www.directminingservices.com/wp-content/uploads/2010/06/CAT-Haul-Road-Design.pdf>

Jordaan, J.T. 2011. Determining waste mining capacities for open pit mines, in Y Potvin (ed.), Proceedings of the Fourth International Seminar on Strategic versus Tactical Approaches in Mining, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 339-346. downloadable from:

https://papers.acg.uwa.edu.au/p/1108_27_Jordaan/

Kaufman W.W. & Ault J.C. 1977. Design of surface mining haulage roads – a manual. U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, Information Circular 8758. downloadable from:

<https://www.osmre.gov/resources/library/ghm/haulroad.pdf>

Mumme, A. and Pothitos, F. 2006 Cutback Optimisation and Implementation. 2nd International Seminar on Strategic vs Tactical Approaches in Mining, Perth, section 23.

Tannant, DD and Regensburg, B. 2001, Guidelines for Mine Haul Road Design. (University of British Columbia: Kelowna, B.C. Canada). 115 pp, downloadable from:

https://www.researchgate.net/profile/Dwayne_Tannant/publication/277759950_Guidelines_for_Mine_Haul_Road_Design/links/5584333f08aeb0cdaddbb03d/Guidelines-forMine-Haul-Road-Design.pdf

Thompson, 2015. “Principles of Mine Haul Road Design and Construction”, Course Notes, 156 pp, downloadable from:

http://mineravia.com/yahoo_site_admin/assets/docs/Principles_of_mine_haul_road_design_and_construction_v5_Sep_2015_RJTs.28192929.pdf