

УДК 622.271.326.012.3:622.647.2:621.867.262.7

**Левченко Е.С.**, аспирант  
(ИГТМ НАН Украины),

**Казола А. Д.**, аспирант  
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

**ВСКРЫТИЕ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРА КАТОКА ПРИ  
ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ С КРУТОНАКЛОННЫМ  
КОНВЕЙЕРОМ**

**Левченко К.С.**, аспірант  
(ИГТМ НАН України),

**Казола А.Д.**, аспірант  
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**РОЗКРИТТЯ ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТІВ КАР'ЄРУ КАТОКА ПРИ  
ЦИКЛІЧНО-ПОТОКОВІЙ ТЕХНОЛОГІЇ З КРУТОПОХИЛИМ  
КОНВЕЄРОМ**

**Levchenko K.S.**, Doctoral Student  
(IGTM NAS of Ukraine),

**Kazola A.D.**, Doctoral Student  
(State H E I "National Mining University")

**OPENING OF DEEP HORIZONS OF CATOCA QUARRY WITH  
CYCLIC-FLOW TECHNOLOGY AND WITH STEEPLY INCLINED  
CONVEYOR**

**Аннотация.** Изложены основные направления развития алазодобывающей промышленности Республики Ангола. Выполнен анализ горно-геологических условий отработки карьера Катока, который позволил определить направление грузопотоков при применении циклично-поточной технологии горных работ с крутонаклонными конвейерами. Обоснованы типы внутрикарьерного и поверхностного перегрузочных пунктов. Для механического дробления горной массы принята дробилка крупного дробления. Выбран тип конвейера, для которого обоснована кусковатость горной массы при ее поступлении на конвейер. Определено расположение внутрикарьерного перегрузочного пункта. На основании выполненных исследований предложена схема вскрытия глубоких горизонтов карьера Катока с применением циклично-поточной технологии с крутонаклонным конвейером, которая позволяет повысить производительность карьера.

**Ключевые слова:** циклично-поточная технология, крутонаклонный конвейер, глубокие горизонты карьера.

**Введение.** Циклично-поточная технология (ЦПТ) горных работ наибольшее распространение получила на карьерах Кривбасса. ЦПТ применяют при углах наклона конвейера до  $18^{\circ}$ . Вскрытие горизонтов осуществляют подземными выработками. Применение схем вскрытия горизонтов подземными выработками и небольшой угол наклона магистральных конвейеров приводят к консервации значительных запасов руды, снижают экономическую эффективность

ЦПТ и ограничивают область ее применения.

Наступает новый этап развития ЦПТ, предусматривающий применение ее в комплексе с крутонаклонными конвейерами (КНК) [1, 2]. Особенно это актуально при добыче алмазов на карьере Катока (Республика Ангола). Месторождение имеет особые геологические, климатические и горные условия, что необходимо учитывать при применении ЦПТ на этом карьере.

Цель исследования - обосновать схему вскрытия горизонтов на карьере Катока при применении ЦПТ с КНК и определить ее эффективность.

**Анализ исследований и публикаций.** Применительно к условиям залегания алмазоносных пород (кимберлитов) и их открытой разработки отсутствуют данные о применении ЦПТ. ИГТМ НАН Украины выполнены исследования по применению ЦПТ на карьере трубки «Удачная» в Якутии. По строению она имеет некоторое сходство с месторождением Катока. При этом предусматривалось применение не крутонаклонных, а наклонных конвейеров. Однако суровые климатические условия и отсутствие соответствующей инфраструктуры не позволили применить эту технологию на карьере трубки «Удачная».

**Постановка задания.** В связи с большой глубиной ведения горных работ и соответственно дальностью транспортирования горной массы автосамосвалами снижается производительность карьера. Ее повышение может быть достигнуто при применении ЦПТ. Таким образом, для условий карьера Катока необходимо разработать схему вскрытия глубоких горизонтов с учетом применения КНК, а также обосновать типы и расположение перегрузочных пунктов внутри карьера и на поверхности, определить эффективность применения ЦПТ с КНК для данных условий.

### **Изложение материала и результатов.**

*1. Современное состояние алмазоносных месторождений Анголы и перспективы их освоения.*

Месторождения алмазов представлены кимберлитовыми трубками и россыпями, сосредоточенными на Северо-Востоке республики Анголы. Наиболее крупными из них являются трубки – Катока, Камафука и Камазамбо, а также россыпи в пределах Анголо-Касайской алмазоносной провинции, общие прогнозные запасы которых оцениваются в 310-350 млн. кар.

Алмазная промышленность в Анголе начала стремительно развиваться в 2002 г. и в настоящее время республика занимает пятое место в мире по добыче алмазов. По данным ангольской государственной алмазной компании Endiama, запасы алмазов коренных (кимберлитовых) месторождений страны оцениваются в 500 - 600 млн. кар, россыпных аллювиальных месторождений – в 150 млн. кар. Основные запасы алмазов сосредоточены в провинции Лунда Норте на северо-востоке страны (рис. 1), где выделяются два алмазоносных района: Лунда-Норте и Кванго. В районе Лунда-Норте обнаружены как коренные, так и россыпные месторождения алмазов; в районе Кванго, расположенном в долине одноименной реки, известны богатые алмазные россыпи [3-5].

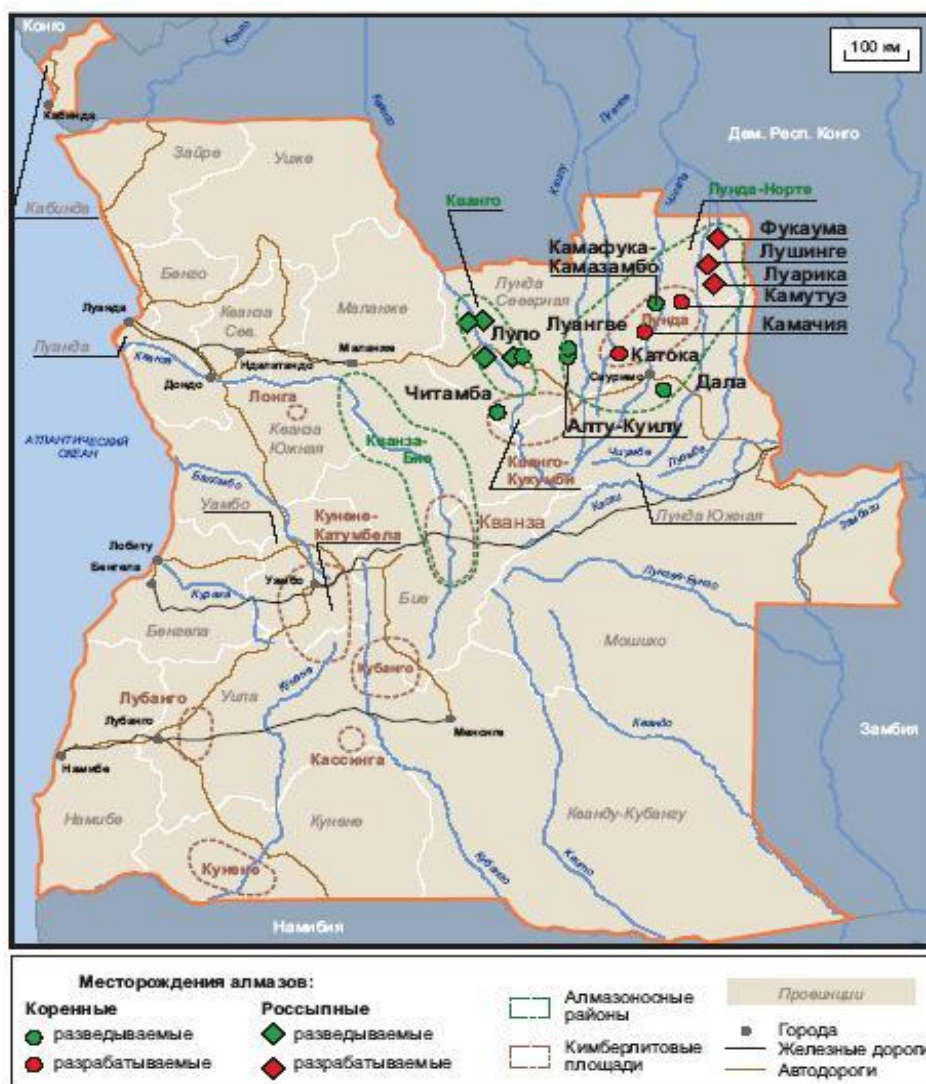


Рисунок 1 – Карта алмазоносности Анголы

## 2. Горно-геологические условия и технология добычи алмазов на карьере Катока.

Одним из крупнейших коренных месторождений алмазов в мире является кимберлитовая трубка Катока. Она расположена в северо-западной провинции Лунда Сул, в северо-восточной Анголе, в 56 км к северу от города Сауримо (административного центра провинции) и в 780 км к востоку от Луанды, столицы Республики Ангола. Трубка является правым склоном реки Среднего Лова. Климат тропический, с двумя сезонными характеристиками в течение года: сезон дождей (сентябрь - май) и сухой сезон (май - август). Самый тяжелый дождевой период в ноябре - марте до 55,6 мм в сутки, или до 40 – 50% от годовой нормы. Количество дождливых дней, может составлять от 75 до 90. Температура воздуха является стабильной, составляя 16 °С минимальная и максимальная 28 °С. Относительная влажность находится в диапазоне от 30 % в зимний и 70-80 % - в летний период. Такие климатические условия благоприятны для применения ЦПТ с КНК на этом месторождении.

Месторождение имеет сложную форму залегания (рис. 2).

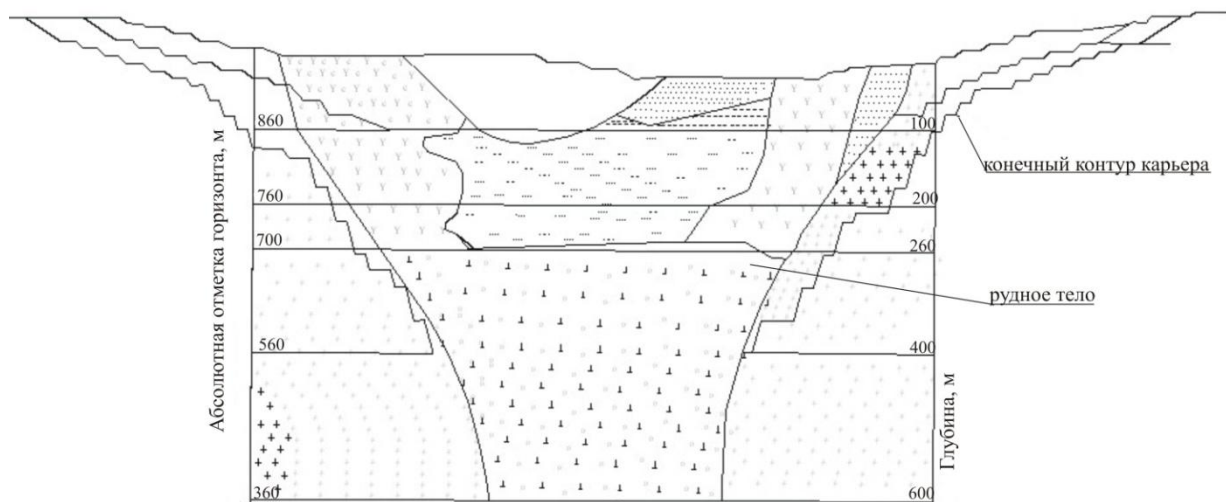


Рисунок 2 – Разрез по месторождению алмазов Катока в Республике Ангола

Трубка является изометрической, имеет размерность в плане 900 x 900 м и занимает площадь 65,7 га. Общие точки контакта с окружающими породами четко выражены до глубины 130 – 150 м. Угол падения залежи составляет 75-85°. Вмещающими породами являются выветрелые гнейсы. Плотность гнейсов возрастает с отметки +960 м. Периферийная часть трубки представлена кимберлитовыми порфирами. С глубиной плотность кимберлита возрастает до 2,2 т/м<sup>3</sup>. Отработку месторождения производят по транспортной системе разработки с применением экскаваторов с емкостью ковшей 7-18 м<sup>3</sup> и автосамосвалов с емкостью кузова 20-50 м<sup>3</sup>. Плотные гнейсы обрабатывают с предварительным рыхлением [3-5].

Применение циклической технологии горных работ с использованием автомобильного транспорта не может в дальнейшем обеспечить планомерное наращивание производственной мощности по полезному ископаемому и вскрыше. Поэтому необходимо рассмотреть возможность применения ЦПТ в условиях месторождения Катока. Перспективной в современных условиях является ЦПТ с КНК [2].

### 3. Обоснование ЦПТ с КНК для условий карьера Катока.

Любые виды наклонных и крутонаклонных конвейеров работоспособны при транспортировании скальной горной массы с определенным ее гранулометрическим составом. При выборе конвейера главными влияющими факторами являются:

- максимальный размер куса горной массы, которую транспортируют конвейером, должен быть таким, чтобы при заданной скорости перемещения конвейерной ленты, динамические нагрузки при его ударе с роликоопорой, не приводили к ее разрушению;

- гранулометрический состав, дисперсность транспортируемой горной массы, которые должны быть таковы, чтобы при заданной конструкции крутонаклонного ленточного конвейера не происходило скатывание кусков и обеспечивалось их плотное прижатие лентой (при применении крутонаклонных кон-

вейеров с лентой глубокой вогнутости или с прижимной лентой).

Учет и соблюдение этих факторов, кроме применения множества различных технических усовершенствований конвейера, достигается путем выбора соотношения максимального размера куска транспортируемой скальной горной массы и скорости перемещения конвейерной ленты. Угол подъема скальных пород с глубоких горизонтов карьера Катока крутонаклонным конвейером может быть принят на начальных этапах  $30 - 36^\circ$ .

Требования к гранулометрическому составу скальной горной массы, транспортируемой КНК, более высокие, чем при применении наклонных конвейеров. При применении КНК с углом наклона  $32-36^\circ$  максимальная крупность куска должна составлять 150-175 мм при скорости движения конвейерной ленты 2,5 м/с, а средний размер транспортируемых кусков составит около 90 мм [1,6-9].

На основании вышеприведенных сведений обосновывается оборудование и параметры следующих технологических процессов: транспортирование горной массы от перегрузочного пункта до поверхности; механическое и взрывное разрушение пород с учетом требований транспортирования выбранным типом конвейера. Для устойчивой работы КНК должно обеспечиваться поступление на конвейер скальной горной массы заданной кусковатости.

Наиболее близко соответствуют этим требованиям КНК с лентой глубокой вогнутости, которые применяют для транспортирования дробленых горных пород различной крупности. При транспортировании мелкодисперсного материала ленту конвейера роlikоопорами сжимают в трубу, угол подъема достигает до  $90^\circ$ . Степень вогнутости ленты КНК и угол подъема им груза зависят от кусковатости транспортируемого материала и конструктивных особенностей конвейера. Принятый угол подъема груза КНК, степень вогнутости конвейерной ленты, ее скорость, максимальная крупность кусков исключают возможность их скатывания. Это происходит вследствие того, что угол подъема груза существенно меньше угла естественного откоса пород карьера Катока.

Кроме того, исключению возможности скатывания кусков способствует минимальная скорость движения конвейерной ленты, снижающая динамические удары кусков породы о роlikоопоры.

С увеличением глубины карьера возникает необходимость применения комбинированного (автомобильно-конвейерного) транспорта, как более экономически выгодного, и строительства для этих целей перегрузочных пунктов. Поскольку требования к кусковатости транспортируемой горной массы различные для данных видов транспорта, то перегрузочные пункты зачастую оборудуются дробилками.

При применении ЦПТ на карьерах широко используют конусные дробилки ККД-1500/180. Основными преимуществами стационарных перегрузочных пунктов, оборудованных конусными дробилками типа ККД-1500/180, являются:

- ККД-1500/180 является дробилкой непрерывного действия, что наиболее соответствует ЦПТ;

- производительность дробилки не зависит от производительности питаю-

щих устройств, например, питателей, так как она может работать также под завалом;

- загрузка дробилки может осуществляться различными типами автосамосвалов и думпкаров;

- одновременно с перегрузкой осуществляется дополнительное механическое дробление руды в карьере.

При ЦПТ перегрузочный пункт занимает в карьере небольшую площадь, поскольку разгрузку автосамосвалов осуществляют непосредственно в бункер дробилки. Это позволяет консервировать в целиках значительно меньшие запасы руды, чем при автомобильно-железнодорожных перегрузочных площадках.

Однако такие перегрузочные пункты имеют ряд недостатков:

- большая высота перегрузочного пункта, оборудованного конусной дробилкой (свыше 30 м), что приводит к переподъему горной массы автосамосвалами;

- конусная дробилка из-за неуравновешенности требует мощного фундамента.

В связи с этим, для условий карьера Катока можно применить дробилку меньшего типоразмера – ККД – 1200/150.

Наряду со стационарными, возможно применение переносных перегрузочных пунктов.

Особенностью переносного внутрикарьерного перегрузочного пункта, который рекомендуется применять при ЦПТ с КНК является то, что конусная дробилка, также как и при наклонных конвейерах, располагается в уступе. Однако, поскольку пункт является переносным, то его сооружают следующим образом. Вначале на высоту, примерно, двух уступов в борту карьера создается выемка. Ее параметры соответствуют параметрам колодца, который создают при стационарной установке дробилки. Затем в выемке устанавливают фундаментные блоки, обеспечивая расположение дробилки и бункера над ней. Пространство между фундаментными блоками и стенками выемки заполняют горной массой с ее уплотнением.

Разгрузка руды из дробилки производится конвейером или питателем на рабочую площадку и затем перегружается на КНК.

Создание перегрузочных пунктов на поверхности или внутри карьера для приема горной массы с КНК представляет определенные трудности. Главная из них – не всегда можно найти необходимую площадку для размещения перегрузочного пункта.

Технологический комплекс ЦПТ с КНК включает в себя выемочно-погрузочное оборудование, карьерные автосамосвалы, внутрикарьерный дробильно-перегрузочный пункт, крутонаклонный конвейер, перегрузочный пункт на поверхности, железнодорожный или автомобильный транспорт.

Изложенное позволяет разработать рекомендации для применения ЦПТ с КНК и повысить экономическую эффективность добычи руды и выемки



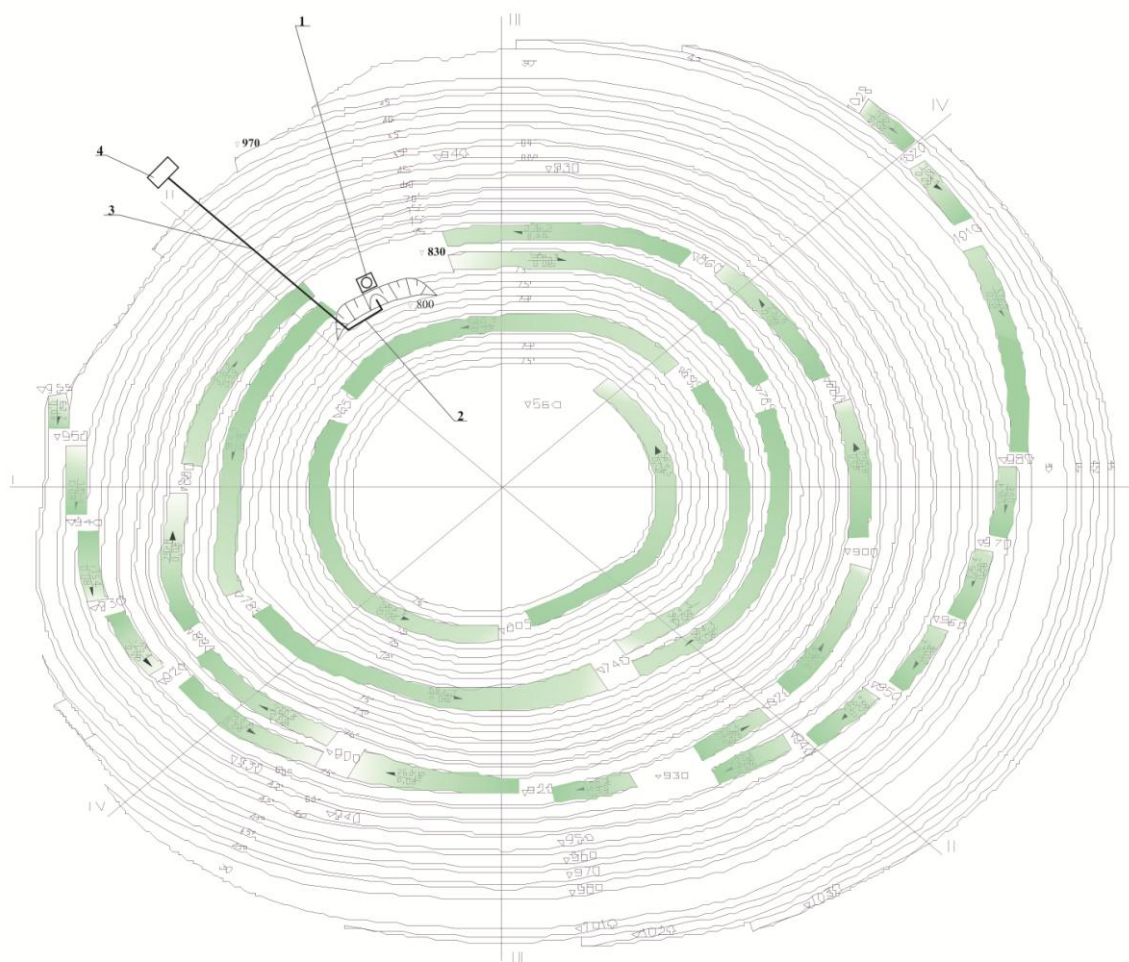
вскрышных пород на карьере Катока.

4. Разработка схемы вскрытия глубоких горизонтов карьера Катока с учётом применения ЦПТ с КНК.

Месторождение вскрыто двумя внутренними траншеями для автомобильного транспорта. Причем выезд с восточной траншеи осуществляется до высоты 1100 м, а западной – до 950 м (рис. 3). Отметка дна карьера – 560 м. Глубина карьера в среднем составляет 420 м. Центральная часть трубки представлена пустыми породами. В восточном борту карьера сосредоточен большой объем пустых пород. Поэтому направление понижения горных работ принято по западному борту, что позволяет формировать нерабочий борт одновременно с добычей руды и достигать минимального объема вскрышных работ.

В связи с этим рационально вскрытие горизонтов осуществлять по западному борту карьера (рис. 3).

Внутрикарьерный перегрузочный пункт предлагается разместить на площадке, предназначенной для разворота автосамосвалов (при этом не нарушается принятая схема движения автосамосвалов), на гор. 830 м (см. рис. 3).



1 – конусная дробилка; 2 – передаточный конвейер; 3 – крутонаклонный конвейер;  
4 – перегрузочный пункт на поверхности

Рисунок 3 – Схема вскрытия глубоких горизонтов карьера Катока при циклично-поточной технологии с крутонаклонным конвейером

Рекомендуемая схема вскрытия горизонтов при ЦПТ с КНК позволяет сократить расстояние транспортирования горной массы автосамосвалами внутри карьера более чем на 2 км и одновременно освободить часть автосамосвалов и направить их для дополнительной транспортировки руды или вскрышных пород. Таким образом, может быть увеличена производительность карьера по горной массе до 13 – 14 млн. т в год, что позволит снизить себестоимость добычи.

С учетом геологического строения и горно-технических условий отработки карьера Катока предлагается строительство ЦПТ с КНК с гор.800 м до поверхности (см. рис.4), при этом рациональным комплектом оборудования является следующее: конусная дробилка ККД-1200/150(при высоком качестве дробления пород взрывом) и крутонаклонный конвейер глубокой вогнутости, размещаемый на западном борту под углом  $32^\circ$ . Параметры конвейера следующие: часовая производительность – 2200 т/ч, длина – 350 м, высота подъема от пункта погрузки до поверхности – 140 м, ширина ленты – 1200 мм, скорость транспортирования – 2,5 м/с, максимальный кусок, поступающий на конвейер – 175 мм.

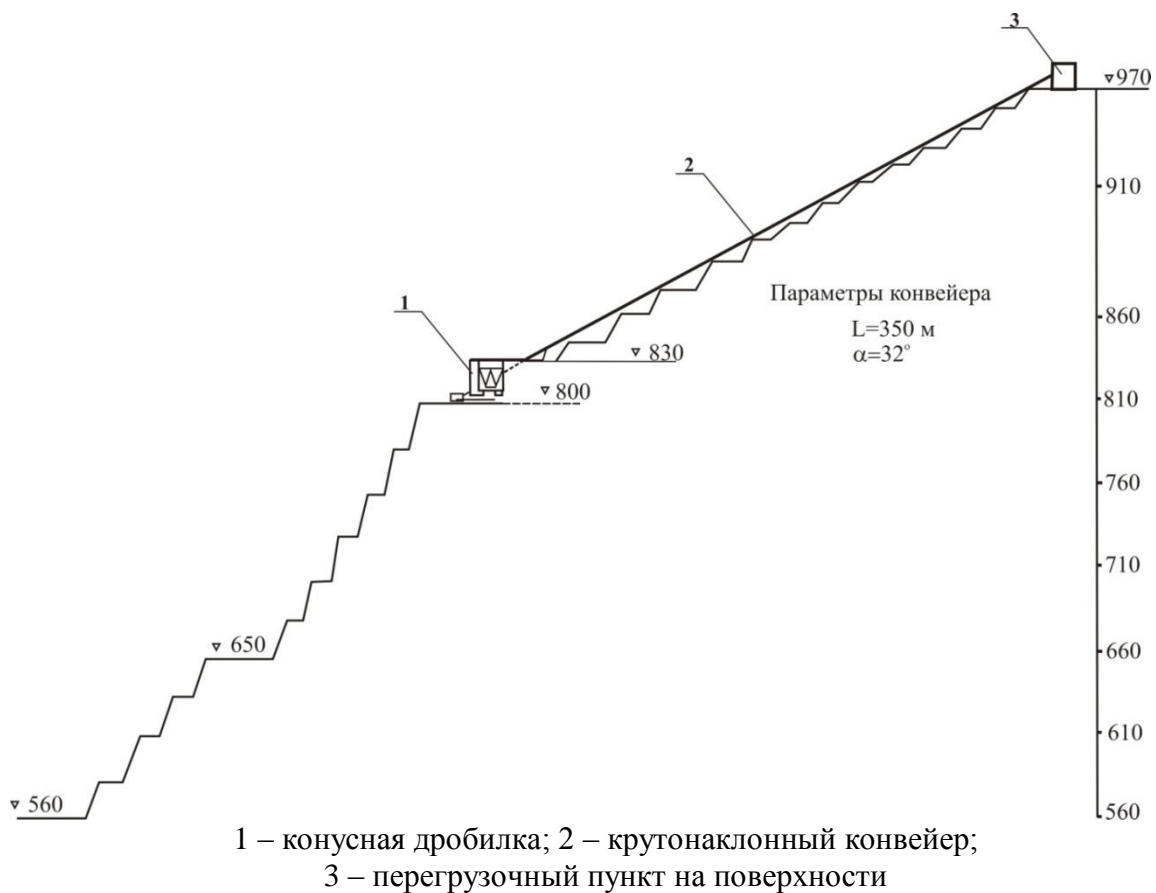


Рисунок 4 – Схема вскрытия, вертикальный разрез

Срок окупаемости предложенной технологии примерно 5 лет.

**Выводы.** Анализ горно-геологических условий и технологии разработки показал, что при понижении горных работ на карьере Катока и применении технологии с использованием только автомобильного транспорта в связи с уве-



личением расстояния автоперевозок и необходимостью ввода дополнительных автосамосвалов или повышением их грузоподъемности будет увеличиваться себестоимость добычи за счет транспортных расходов и снижаться производительность. Кроме того, возрастет загазованность атмосферного воздуха в карьере [10]. Для исключения удорожания добываемых алмазов предлагается на карьере Катока внедрить ЦПТ с КНК глубокой вогнутости, что позволит сократить расстояние транспортирования горной массы автосамосвалами внутри карьера и увеличить производительность карьера по горной массе, что в свою очередь положительно отразится на себестоимости добычи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития / М.С. Четверик, В.В. Перегудов, А.В. Романенко [и др.]. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 356 с.
2. Перспективы применения крутонаклонных конвейеров при циклично-поточной технологии горных работ на карьерах Кривбасса / М.С. Четверик, Е.В. Бабий, А.А. Икол [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 5. – С. 94-98.
3. Mwana Africa plc. Operações e explorações. Angola. Projeto Camafuca [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mwanaafrica.com>. – Загл. с экрана.
4. Escom, S. A., Áreas, Bussines. Mineração. Luo projeto - Camatchia e Camagico Mining Company [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.escom.pt>. 2005. – Загл. с экрана.
5. Акимова, А.В. Перспективы развития алмазной промышленности Анголы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mineral.ru/Analytics/worldtrend/129/271/index.html>. – Загл. с экрана.
6. Четверик, М.С. Перспективы применения крутонаклонных конвейеров при циклично-поточной технологии на карьерах Кривбасса / М.С. Четверик, О.А. Медведева // *Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины*. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 89. – С. 197-203.
7. Булат, А.Ф. Перспективные направления развития циклично-поточной технологии на глубоких карьерах / А.Ф. Булат, Э.Е. Ефремов, М.С. Четверик // *Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сборник научных трудов / ИГД УрОРАН*. – 2008. – Вып. 4 (94). – С. 126-128.
8. Методология адаптированного управления конвейерным транспортом / В.Ф. Монастырский, В.Ю. Максютенко, Р.В. Кирия [и др.] // *Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины*. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 91. – С. 245-254.
9. Обоснование параметров крутонаклонных конвейеров на горных предприятиях / В.Ф. Монастырский, Р.В. Кирия, Д.А. Номеровский [и др.]// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 6. – С. 71-75.
10. Bell, F. G. and Donnelly, L. J. (2006), “Mining and its Impact on the Environmen”, Taylor & Francis Group, New York, USA and Canada.

#### REFERENCES

1. Chetverik, M.S., Peregudov, V.V., Romanenko, A.V., Levitskiy, A.P., Udod, Ye.G. and Fedin, K.A. (2012), *Tsiklichno-potochnaya tekhnologiya na glubokikh karerakh. Perspektivy razviviya* [Cyclic-flow technology in deep pits. Prospects for developing], Dionis, Krivoy Rog, Ukraine.
2. Chetverik, M.S., Babiy, Ye.V., Ikol, A.A. and Tereshchenko, V.V. (2010), “Prospects for the use of high-angle conveyors at cyclical -and-continuous method at Krivbass open-pit mines”, *Metallurgical and Mining Industry*, no.5, pp. 94-98.
3. Mwana Africa plc. (2008), “Angola. Projeto Camafuca”, available at: <http://www.mwanaafrica.com> (Accessed 4 Aug 2014).
4. Escom, S. A. (2005), “Luo projeto - Camatchia e Camagico Mining Company”, available at: <http://www.escom.pt> (Accessed 1 July 2013).
5. Akimova, A.V., “Prospects for the development of the diamond industry in Angola”, available at: <http://www.mineral.ru/Analytics/worldtrend/129/271/index.html> (Accessed 5 Sep 2014).
6. Chetverik, M.S. and Medvedeva, O.A. (2010), “Prospects of application the high-angle of conveyors at a cycling-progressive technology in Krivbass quarries”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 89, pp. 197-203.

7. Bulat, A.F., Yefremov, E.Ye. and Chetverik, M.S. (2008), "Future direction of cyclic-flow technology in deep pits", *Geotekhnologicheskie problemy kompleksnogo osvoeniya nedr*, vol. 4, no. 94, pp. 126-128.

8. Monastirskiy, V.F., Maksyutenko, V.Yu., Kiriya, R.V. and Mishchenko, T.F. (2010), "Methodology of conveyer transport adaptive control", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 91, pp. 245-254.

9. Monastirskiy, V.F., Kiriya, R.V., Nomerovsky, D.A. and Braginets, D.D. (2013), "Rational for high-angle settings conveyors in mines", *Metallurgical and Mining Industry*, no.6, pp. 71-75.

10. Bell, F. G. and Donnelly, L. J. (2006), "Mining and its Impact on the Environmen", *Taylor & Francis Group*, New York, USA and Canada.

---

### Об авторах

**Левченко Екатерина Сергеевна**, аспирант, инженер отдела Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [ekaterinact@ya.ru](mailto:ekaterinact@ya.ru).

**Казола Аугушто Домингуш**, аспирант, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (Государственное ВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, [ekaterinact@ya.ru](mailto:ekaterinact@ya.ru).

### About the authors

**Levchenko Kateryna Sergiivna**, Doctoral Student, Engineer in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [ekaterinact@ya.ru](mailto:ekaterinact@ya.ru).

**Kazola Auhusho Dominhush**, Doctoral Student, State Higher Education Institution «National Mining University» (State H E I "National Mining University"), Dnepropetrovsk, Ukraine, [ekaterinact@ya.ru](mailto:ekaterinact@ya.ru).

---

**Анотація.** Викладено основні напрямки розвитку алмазодобувної промисловості Республіки Ангола. Виконано аналіз гірничо-геологічних умов відпрацювання кар'єру Катока, який дозволив визначити напрямок вантажопотоків при застосуванні циклічно-потокової технології гірничих робіт з крутопохилим конвеєром. Обґрунтовано типи внутрішньокар'єрного і поверхневого перевантажувальних пунктів. Для механічного дроблення гірської маси прийнята дробарка для крупного подрібнення. Вибрано тип конвеєра, для якого обґрунтовано грудкуватість гірської маси при її надходженні на конвеєр. Визначено розташування внутрішньокар'єрного перевантажувального пункту. На підставі виконаних досліджень запропоновано схему розкриття глибоких горизонтів кар'єру Катока із застосуванням циклічно-потокової технології з крутопохилим конвеєром, яка дозволяє підвищити продуктивність кар'єру.

**Ключові слова:** циклічно-потокова технологія, крутопохилий конвеєр, глибокі горизонти кар'єру.

**Abstract.** Key trends of development of diamond mining industry in Republic of Angola are presented. Geological conditions of the Catoca quarry development were analyzed. As a result of the analysis, traffic routs were determined for the weight flows when cyclic-flow technology and steeply inclined conveyors are used. Types of transfer points inside the quarry and on its surface were substantiated. A primary crusher is assumed to be the best for mechanical crushing of the rock mass. A type of conveyor was chosen, and lumpiness of rock mass fed to such conveyor was substantiated. Location of transfer point inside the quarry is determined. Basing on the findings, a scheme for opening deep horizons in the Catoca quarry is proposed which assumes usage of cyclic-flow technology and steeply inclined conveyor. The scheme can increase output of this quarry.

**Keywords:** cyclic-flow technology, steeply inclined conveyor, deep horizons of quarry.

*Статья поступила в редакцию 16.09.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук М.С. Четвериком*