

Код МРНТИ 52.31.47

С.Г. Тө

Товарищество с ограниченной ответственностью «Е4-Capital» (г. Алматы, Казахстан)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. В настоящей статье предлагается технология оптимизации конструкции горнотехнической системы с целью повышения эффективности добычи золота. Представлен теоретический обзор научных исследований по проблемам эффективности открытой добычи рудных залежей различными геотехнологическими методами. Предложено использование технологии высоких уступов, которая способствует модернизации технологических процессов и повышению показателя эффективности добычи золота с учетом определенной для конкретного карьера глубины. Автор приходит к выводу, что при переходе на высокие уступы золотодобывающее предприятие достигает цели увеличения глубины карьеров, повышения объемов добычи полезных ископаемых и удлинения срока функционирования месторождения.

Ключевые слова: открытая добыча, золото, эффективность добычи, высокие уступы, горные работы, глубина карьера, геотехнология.

Тау-кен жүйесінің конструкциясы оңтайландыру технологиясы негізінде алтын өндірудің тиімділігін арттыру

Аңдатпа. Бұл мақалада тау-кен жүйесінің дизайнын оңтайландыру технологиясы негізінде алтын өндірудің тиімділігін арттыру жолы ұсынылады. Әр түрлі геотехнологиялық әдістермен кен шоғырларын ашық өндіру тиімділігі мәселелері бойынша ғылыми зерттеулерге теориялық шолу ұсынылған. Технологиялық процестерді модернизациялауға және белгілі бір карьер үшін анықталған тереңдікті ескере отырып, алтын өндіру тиімділігінің көрсеткішін арттыруға ықпал ететін жоғары кертпештері технологиясын пайдалану ұсынылады. Автор жоғары кертпештерге кезінде алтын өндіретін кәсіпорын карьерлердің тереңдігін арттыру, тау-кен көлемін ұлғайту және кен орнының қызмет ету мерзімін ұзарту мақсатына жетеді деген қорытындыға келеді.

Түйінді сөздер: ашық кен өндіру, алтын, өндіру тиімділігі, жоғары кертпештер, тау-кен жұмыстары, карьердің тереңдігі, геотехнология.

Improving the efficiency of gold mining based on the technology of optimizing the design of the mining system

Abstract. This article suggests a way to improve the efficiency of gold mining based on the technology of optimizing the design of the mining system. A theoretical review of scientific research on the problems of the efficiency of open-pit mining of ore deposits by various geotechnological methods is presented. It is proposed to use the technology of high ledges, which contributes to the modernization of technological processes and increase the efficiency of gold mining, taking into account the depth determined for a particular quarry. The author comes to the conclusion that when moving to high ledges, the gold mining enterprise achieves the goal of increasing the depth of quarries, increasing the volume of mineral extraction and lengthening the life of the deposit.

Key words: open pit mining, gold, mining efficiency, high ledges, mining operations, quarry depth, geotechnology, stability factor, enterprise, production technology.

Введение

В ходе разработки месторождений золота возникает ряд проблем, связанных с ухудшением качества добываемой руды и сложными условиями выполнения горных работ. Фактически перед золотодобывающими предприятиями стоит важная задача – обеспечение полноты и высокого качества добычи руды с незначительным содержанием полезных компонентов. Это обуславливает необходимость внедрения нового стратегического решения, ориентированного на эффективное функционирование предприятия на всех этапах освоения месторождения.

Сложные экономические условия требуют такого подхода, при котором не требуется серьезная реконструкция и изменение структурных процессов горного производства, обновление парка горнотранспортного, выемочно-погрузочного оборудования. В связи с этим актуальным является вопрос возможности и эффективности применения геотехнологических методов в ходе освоения золоторудных месторождений открытым способом.

Методы и подходы

При разработке месторождения перед горнодобывающим предприятием стоит ряд важных задач, связанных с:

- организацией вскрытия и выбором эффективной системы разработки;

- развитием рабочей зоны;
- установлением режима горных работ;
- выбором методики выборки и усреднения горных пород;
- внедрением эффективной системы эксплуатации месторождения по руде и по горной массе.

С.А. Съедина в своем исследовании¹ пишет, что в рабочей зоне карьера может содержаться резерв по выемке горных пород и при максимуме скорости углубки, и при переменных направлениях ведения горных работ, что позволяет корректировать производительность по руде.

Производительность горного оборудования, предназначенного для выемочно-погрузочных работ, уменьшается с возрастанием глубины карьера. Это негативный фактор, приводящий к снижению объемов добычи и отставанию выемки вскрыши. Исследования²⁻⁴ доказывают, что КПД любого горного оборудования не может достигать максимального значения при глубинной разработке карьера.

Ф.К. Низаметдинов с группой авторов [1] отмечают, что комплексность освоения карьера позволяет увеличить глубину месторождения, и этим процессом можно управлять. Коэффициент выемки руды можно использовать как показатель эффективности открытого способа добычи. Стоит отметить,

¹ Съедина С.А. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при его углубке. / Дисс... PhD: 6D070700. – Алматы, 2019. – 119 с.

² Qudrat-Ullah H., Panthaloor P. Operational Sustainability in the Mining Industry. The Case of Large-Scale Open-Pit Mining (LSOPM) Operations. – Singapore: Springer Singapore, 2020. – 162 p.

³ Хрунина Н.П. Эффективность горного оборудования на месторождениях золота и серебра: монография. – Хабаровск, 2019. – 158 с.

⁴ Утегенова А.Е. Обоснование рациональной транспортной системы карьера на основе энергетического критерия. / Дисс.... PhD: 6D070700. – Алматы, 2019. – 102 с.

что для данной методики есть одно допущение – она обоснована лишь при комплексном включении всех групп полезных ископаемых в разработку.

Проблемы устранения отставания по вскрышным работам рассматривались многими исследователями и горными инженерами⁵ [2, 3]. Так, корректная оценка высоты уступа, как считает И.В. Гапонова, должна производиться с соотношением разубоживания, засорения, потерь руды и с учетом фактора уменьшения производительности по руде при увеличении высоты уступа [4]. По мнению автора, здесь важно добавить еще учет размера экономического ущерба от засорения.

И.Т. Мислибаев с соавторами утверждают, что традиционное оборудование можно использовать и на высоких уступах, а развал взорванной породы можно контролировать посредством определенных технологических рычагов [5]. Но данное утверждение однозначно только для мелкомасштабных месторождений золота.

Исследователь В.С. Федотенко в своей работе⁶ раскрыл, как эффективно открытым способом освоить мощные угольные месторождения, своевременно переходя на вскрышные высокие уступы. Он доказал возможность наращивания глубины разработок открытого типа с извлечением дополнительно до 23% проектных залежей полезных ископаемых, при этом не превышая пограничных показателей коэффициента вскрыши. Это становится возможным, благодаря переносу переключения осуществления горных работ методом высоких вскрышных уступов на тот момент, когда достигается пограничный показатель коэффициента вскрыши. Этот подход стал основой разработки по применению подобного метода к золотодобыче. По мнению автора, важным постулатом выступает соответствие высоты уступов условиям разработки золоторудного месторождения для каждого периода его эксплуатации, так как на практике в большинстве случаев оно определяется постоянным на весь период.

Результаты

Применение высоких уступов при разработке золотосодержащих руд открытым способом обосновано следующими особенностями:

- высоким запасом устойчивости уступов и бортов, что обусловлено повышенной прочностью вскрышных и вмещающих пород;
- отработкой глубинных и нагорных горизонтов;
- применением драглайнов при погрузке руды на транспорт;
- использованием возможностей сдвигания и стравливания уступов.

Для открытой технологии добычи основными конструктивными элементами выступают уступы и борта карьеров. Именно от высоты уступа зависит степень освоения месторождения, срок возведения и эксплуатации карьера, период выемки вскрыши.

В рамках работы эффективная глубина перехода на технологию высоких уступов может быть представлена, как функция, где параметры и факторы выступают в роли ее аргументов. Это можно представить в виде (1):

$$\mathcal{E} = f(\alpha_i; x_i; p_i), \quad (1)$$

где α_i – технико-экономические эксплуатационные показатели работы карьера;

x_i – факторы, ограничивающие введение технологии высоких уступов (сейсмические, морфометрические, горно-геологические и прочие);

p_i – технологические параметры работы горнотехнической системы (в т. ч. конструкция и прочность борта карьера).

Исходя из представленного, проблему поиска оптимального показателя переключения на высокие уступы можно определить следующим образом: при определенных условиях реального состояния горнотехнического комплекса по итогам ее работы α_i с поправкой на влияющие факторы x_i нужно вычислить такие значения p_i , при которых можно получить максимум эффективности системы \mathcal{E} . Исходя из этого, целевая функция, обеспечивающая максимальный эффект добычи и комплекс ограничений при определенных условиях, может быть представлена в виде формулы (2):

$$\mathcal{E}(C; h; M) \rightarrow \max, \text{ если:} \quad (2)$$

$$\begin{cases} C = c_1 + Ec_2; \\ h = [MK/(\text{ctg} \beta_1 + \text{ctg} \beta_2) + (M - D)/2] \times \text{tg} \beta \rightarrow \max; \\ M \rightarrow \max; \\ \tau_1, \tau_2 \leq \tau_3, \end{cases}$$

где C – удельный показатель приведенных затрат, необходимых для освоения балансовых запасов при введении технологии с высокими уступами, тг/м³;

h – показатель глубины карьера, м;

M – средняя мощность рудной залежи, м;

c_1 – удельный показатель затрат на работы по добыче при введении технологии с высокими уступами, тг/м³;

E – нормативный коэффициент капитальных вложений;

c_2 – дополнительные капиталовложения при введении технологии с высокими уступами, тг/м³;

K – граничный коэффициент вскрыши;

β_1 – угол наклона по лежащему боку рудной залежи;

β_2 – угол наклона по висящему боку рудной залежи;

D – минимальный показатель ширины рабочей площадки при введении технологии с высокими уступами, м;

β – угол откоса развала взорванной горной массы;

τ_1 – результирующее предельное напряжение со стороны висящего бока, МПа;

τ_2 – результирующее предельное напряжение со стороны лежащего бока, МПа;

τ_3 – касательное напряжение, МПа.

Для доработки балансовых приконтурных залежей необходимо произвести расчет оптимальных параметров работы горнотехнического комплекса p_i , которые гарантируют условие максимальной глубины для эффективности добычи с применением технологии высоких уступов для обеспечения полной отработки залежей способом открытой добычи. Главным ограничивающим фактором является коэффициент, характеризующий запас устойчивости целого

⁵Verbrugge B., Geenen S. *Global Gold Production Touching Ground. Expansion, Informalization, and Technological Innovation.* – New York: Springer International Publishing, 2021. – 747 p.

⁶Федотенко В.С. *Обоснование параметров и разработка технологии эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими вскрышными уступами.* / Дисс... канд. техн. наук: 25.00.21. – М., 2018. – 300 с.

карьера и его отдельных уступов. Исходя из изложенного, эффективность работы горнотехнического комплекса Э можно изобразить в форме целевой функции с сопутствующей системой ограничений (3):

$$\mathcal{E}(A; \lambda; M) \rightarrow \max, \text{ если:} \quad (3)$$

$$\begin{cases} A \rightarrow \min; \\ \lambda \rightarrow \min; \\ M \rightarrow \max, \end{cases}$$

где A – годовые эксплуатационные расходы, тг.;

λ – коэффициент, характеризующий запас устойчивости уступов и борта карьера.

Анализируя опыт зарубежных и отечественных предприятий горнодобывающей промышленности, можно сделать вывод, что показатель λ для обеспечения устойчивости уступов сроком до пяти лет должен равняться 1,34 и более. Уступы, срок устойчивости которых составляет менее пяти лет, характеризуются запасом прочности, равным 1,15-1,25. Так как использование высоких уступов подразумевает повышение интенсивности горных работ, на стадии их планирования необходимо обеспечить соответствие сроков стояния высоких уступов требуемому коэффициенту запаса устойчивости.

Обсуждение результатов

На рис. 1 отчетливо видно, что необходимо учитывать конструкцию карьера на каждом этапе добычи полезных ископаемых: от разработки проекта освоения месторождения до проектирования комплекса работ. Приближение к максимальному углу откоса (при соответствии правилам безопасности) на несколько градусов может повысить эффективность всего проекта за счет минимизации объемов вскрыши и увеличения количества извлекаемой руды.

Для того, чтобы найти оптимальный диапазон глубины карьера, при котором эффективна технология высоких уступов, для карьера Аксу была построена модель эффективной работы горнотехнического комплекса. Модель была составлена с использованием коэффициентов запаса устойчивости, находящихся в диапазоне 1,05-1,43. В результате построения модели был получен результат, отображенный на рис. 2.

Исходя из полученных в ходе осуществленного научно-методического подтверждения данных оптимального диапазона глубины карьера для работы по технологии высоких уступов в процессе отработки балансовых залежей месторождения Аксу, был найден диапазон: 300-800 м. Переключение на предложенную технологию при разных показателях коэффициента запаса устойчивости гарантирует рост эффективности добычи до 1,7 раз при соблюдении условия отработки балансовых и законтурных залежей в полном объеме.

Заключение

Для обеспечения полноты выемки и повышения конкурентоспособности рабочей зоны карьера при золотодобыче необходимо применять геотехнические решения. На уменьшение числа горизонтов влияет повышение высоты уступов, что способствует модернизации технологических процессов. При переходе на высокие

уступы золотодобывающее предприятие достигает нескольких целей: увеличение глубины карьеров, повышение объемов добычи полезных ископаемых и удлинение срока функционирования месторождения.

Применение технологии высоких уступов ведет к усовершенствованию системы логистики на руднике

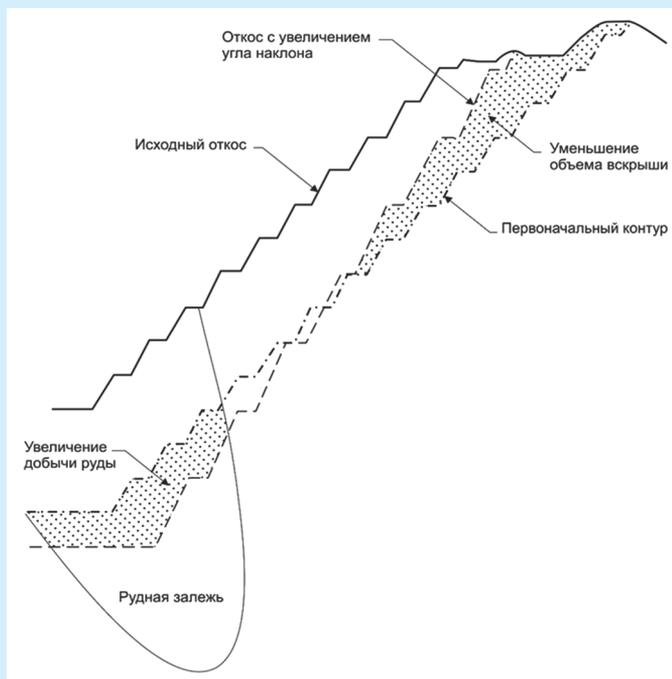


Рис. 1. Модель изменения угла откоса бортов карьера для месторождения Аксу.
Сурет 1. Аксу кен орны үшін карьердің ернеулері енісінің бұрышын өзгерту моделі.
Figure 1. Model of changing the angle of slope of the sides of the quarry for the Aksu deposit.

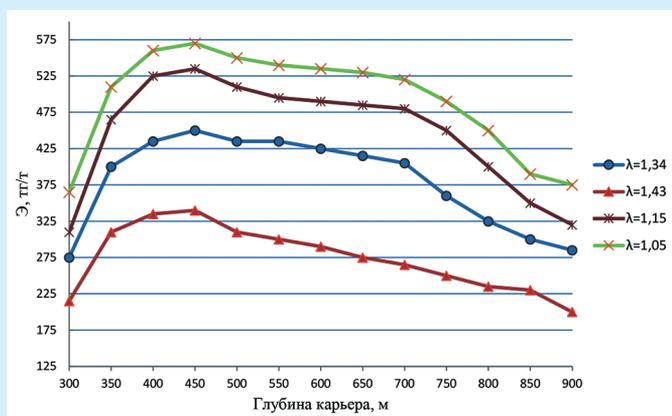


Рис. 2. Эффективность работы горнотехнической системы на месторождении Аксу при введении технологии высоких уступов в зависимости от глубины карьера.
Сурет 2. Карьердің тереңдігіне байланысты жоғары кертпештер технологиясын енгізу кезінде Аксу кен орнындағы тау-кен техникалық жүйесі жұмысының тиімділігі.
Figure 2. The efficiency of the mining system at the Aksu deposit with the introduction of high ledge technology depending on the depth of the quarry.

и делает возможным снижение численности единиц эксплуатируемого на карьере горного транспорта, что влечет за собой оптимизацию временных затрат на перемещение оборудования и машин, минимизацию числа рабочих площадок, уменьшение длины

транспортного сообщения, числа пунктов перегрузки, росту эффективной глубины горных работ открытого типа. Все эти аспекты также сокращают вредное воздействие на окружающую среду, которое оказывают горные работы по добыче золота.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Низаметдинов Ф.К., Бесимбаева О.Г., Иммель И.А. Геомеханическое обоснование параметров карьеров добычного комплекса на месторождении Алайгыр. // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации – современные концепции» (отв. ред. Д.Р. Хисматуллин). – Уфа: Инфинити, 2020. – С. 97-103 (на русском языке)
2. Nekmat A. Добыча золота открытым способом: лучшие методы в мире. // Материалы 27-го Международного симпозиума по планированию горных работ и выбору оборудования – MODES 2018. – Нью-Йорк: Нью-Йорк Пресс, 2019. – P. 69-75 (на английском языке)
3. Струков К.И. Комплексные исследования комбинированной геотехнологии – основа устойчивого развития компании «Южуралзолото». // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – №3. – С. 25-39 (на русском языке)
4. Гапонова И.В. Обоснование конструкции уступов верхних горизонтов карьера для формирования техногенного георесурса и реализации его потенциала. // Актуальные проблемы горного дела. – 2019. – №2. – С. 3-9 (на русском языке)
5. Мислибаев И.Т., Тухтаев А.Б., Гиязов О.М., Норов А.Ю. Определение оптимально-расчетных устойчивых углов бортов карьеров при отработке маломощных рудных тел. // Universum: технические науки. – 2020. – №11-2(80). – С. 33-41 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Низаметдинов Ф.К., Бесимбаева О.Г., Иммель И.А. Алайгыр кен орнындағы өндіру кешені карьерлерінің параметрлерін геомеханикалық негіздеу. // «Ғылым және инновациялар – заманауи тұжырымдамалар» халықаралық ғылыми форумы жұмысының қорытындысы бойынша ғылыми мақалалар жинағы (жауапты ред. Д.Р. Хисматуллин). – Уфа: Инфинити, 2020. – Б. 97-103 (орыс тілінде)
2. Nekmat A. Ашық тәсілмен алтын өндіру: әлемдегі ең үздік әдістер. // 27-ші халықаралық тау-кен жұмыстарын жоспарлау және жабдықтарды таңдау жөніндегі симпозиум материалдары – MODES 2018. – Нью-Йорк: Нью-Йорк Пресс, 2019. – Б. 69-75 (ағылшын тілінде)
3. Струков К.И. Аралас геотехнологияны кешенді зерттеу – «Южуралзолото» компаниясының тұрақты дамуының негізі. // Тула мемлекеттік университетінің известиясы. Жер туралы ғылымдар. – 2021. – №3. – Б. 25-39 (орыс тілінде)
4. Гапонова И.В. Техногендік георесурсты қалыптастыру және оның әлеуетін іске асыру үшін карьердің жоғарғы горизонттарының кертпештерінің конструкциясын негіздеу. // Тау-кен ісінің өзекті мәселелері. – 2019. – №2. – Б. 3-9 (орыс тілінде)
5. Мислибаев И.Т., Тухтаев А.Б., Гиязов О.М., Норов А.Ю. Қуаты аз кен денелерін өңдеу кезінде карьерлер ернеулерінің оңтайлы-есептік тұрақты бұрыштарын анықтау. // Universum: техникалық ғылымдар. – 2020. – №11-2(80). – Б. 33-41 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Nizametdinov F.K., Besimbaeva O.G., Immel' I.A. Geomechanicheskoe obosnovanie parametrov kar'erov dobychnogo kompleksa na mestorozhdenii Alajgyr [Geomechanical substantiation of the parameters of the quarries of the mining complex at the Alaigyr field]. // Sbornik nauchnyx statej po itogam raboty Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma «Nauka i innovacii – sovremennye koncepcii» = Collection of scientific articles based on the results of the International Scientific Forum «Science and innovation – modern concepts» (executive editor D.R. Khismatullin). – Ufa: Infiniti, 2020. – P. 97-103 (in Russian)
2. Nekmat A. Open-pit gold mining: the best methods in the world. // Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection – MODES 2018. – New York: New York Press, 2019. – P. 69-75 (in English)

3. *Strukov K.I. Kompleksnye issledovaniya kombinirovannoj geotexnologii – osnova ustojchivogo razvitiya kompanii «Yuzhuralzoloto» [Integrated research of combined geotechnology is the basis for the sustainable development of Yuzhuralzoloto]. // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of Tula State University. Earth Sciences. – 2021. – №3. – P. 25-39 (in Russian)*
4. *Gaponova I.V. Obosnovanie konstrukcii ustupov verxnix gorizontov kar'era dlya formirovaniya texnogenogo georesursa i realizacii ego potentsiala [Substantiation of the construction of ledges of the upper horizons of the quarry for the formation of a man-made resource and the realization of its potential]. // Aktual'nye problemy gornogo dela = Actual problems of mining. – 2019. – №2. – P. 3-9 (in Russian)*
5. *Mislibaev I.T., Tukhtaev A.B., Giyazov O.M., Norov A.Yu. Opredelenie optimal'no-raschetnyx ustojchivyx uglov bortov kar'erov pri otrabotke malomoshhnyx rudnyx tel [Determination of optimal and calculated stable angles of the board of quarries during the development of low-power ore bodies]. // Universum: texnicheskie nauki = Universum: Technical Sciences. – 2020. – №11-2(80). – P. 33-41 (in Russian)*

Сведения об авторах:

Тё С.Г., старший горный инженер (MPONEN, MAusIMM) Товарищества с ограниченной ответственностью «Е4-Capital» (г. Алматы, Казахстан), sergey.tyo@yandex.ru; <https://orsid.org/0000-0001-7458-5388>

Авторлар туралы мәліметтер:

Тё С.Г., «Е4-Capital» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің аға тау-кен инженері (MPONEN, MAusIMM) (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Tyo S.G., Senior Mining Engineer (MPONEN, MAusIMM) of the «E4-Capital» Limited Liability Partnership (Almaty, Kazakhstan)



Мы рады предоставить Вам следующие виды услуг в сфере недропользования:

- консалтинговые услуги;
- полное сопровождение Заказчика для получения всех типов Лицензий;
- разработка проектов добычи, планов разведки, планов горных работ, планов ликвидации и деклараций промышленной безопасности;
- составление и сдача отчетов;
- работы и услуги в области инженерно-геодезического и природоохранного производства.

Компания имеет лицензии на проектирование, осуществление инженерно-геодезических работ; аттестат на право проведения работ в области промышленной безопасности, сертификаты по безопасности и охране труда.

Более подробная информация о компании и видах оказываемых услуг на сайте <https://niipi.kz/> и в Instagram [too_niipi](https://www.instagram.com/too_niipi).

Адрес: РК, г. Нур-Султан, пр. Сарыарка, 15, ВП-9,
Тел: +7 (7172) 54 60 48, +7 701 598 55 29,
e-mail: too_niipi@mail.ru.