

УДК 622.014.2

В.В. Русских<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
В.В. Лапко<sup>1</sup>,  
С.А. Зубко<sup>2</sup>

1 – Государственное высшее учебное заведение  
“Национальный горный университет”, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: vladislav3000@mail.ru  
2 – ЗАО „Запорожский железорудный комбинат“,  
г. Днепрорудное, Украина

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ И ПРИНЯТИЕ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮЖНО- БЕЛОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

V.V. Russkikh<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Tech.),  
V.V. Lapko<sup>1</sup>,  
S.A. Zubko<sup>2</sup>

1 – State Higher Educational Institution “National Mining  
University”, Dnepropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: vladislav3000@mail.ru  
2 – ZAO „Zaporozhskiy zhelezorudny kombinat“,  
Dneprorudnoye, Ukraine

## DEVELOPMENT AND ADOPTION OF NEW TECHNICAL DECISIONS FOR DEVELOPMENT OF YUZHNO-BELOZERSKOYE ORE DEPOSIT UNDER DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

**Цель.** Обоснование новых технических решений по отработке крутопадающих рудных залежей в условиях слабой устойчивости вмещающих пород висячего бока.

**Методика.** В условиях ЗАО „Запорожский железорудный комбинат“ был проведен анализ опыта отработки месторождения по всем вышележащим этажам, определены расчётно-допустимые параметры проектируемых очистных камер и границы их отработки. Создана имитационная модель отработки месторождения со стороны висячего бока и проведены ее исследования. Для определения свойств имитационной модели проводилась эксплуатационная разведка глубоких горизонтов скважинами бескернового бурения с последующим применением геофизического способа опробования по геологическим проектам. Геологические данные дополнялись за счет сопутствующей разведки при документировании горных выработок.

**Результаты.** Обоснована система разработки для отработки рудной залежи со стороны висячего бока. На шахте „Эксплуатационная“ ЗАО „Запорожский железорудный комбинат“ был выделен экспериментальный участок шахтного поля, где в условиях этажа 740–825 м опробованы результаты исследований. Разбуривание рудного массива камер производится восходящими и нисходящими веерами скважин, пробуренными из подэтажных ортов и штреков.

**Научная новизна.** На основании численного моделирования напряженно-деформированного состояния выполнен анализ устойчивости пород висячего бока крутопадающей рудной залежи при различных параметрах очистных камер.

**Практическая значимость.** На основании комплекса научно-исследовательских и опытно-промышленных работ, выполняемых на Запорожском железорудном комбинате, обоснованы методы расчета параметров камер глубже 840 м со стороны висячего бока, и определен порядок их отработки по условию устойчивости. Представленные результаты исследований могут быть также применены на предприятиях, обрабатывающих рудные залежи в аналогичных горно-геологических условиях.

**Ключевые слова:** эксплуатационная скважина, линия наименьшего сопротивления, рациональный диаметр скважины, камерная система разработки

**Постановка проблемы.** Железорудная промышленность Украины по объему производства занимает одно из ведущих мест в мире. Вместе с тем обеспечение металлургического производства высококачественным сырьем продолжает оставаться актуальной проблемой. Рост объемов потребления полезного ископаемого требует расширения сырьевой базы, обеспечения необходимого качества товарной руды, поддержания рентабельности горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятий.

За длительное время работы горнодобывающих предприятий страны горные работы достигли глубины 1000 м и ниже. Соответственно, на таких глубинах значительно увеличилось напряженно-деформируемое состояние массива горных пород, что привело к ухудшению горнотехнических условий разработки месторождений. Кроме того, большая глубина обуславливает увеличение затрат на подъем руды, водоотлив и вентиляцию.

На сегодняшний день со стороны металлургических заводов имеется большой спрос на железорудное сырье. Таким образом, перед горнодобывающими предприятиями стоит непростая задача –

наращивание объёмов производства за счет интенсификации добычи, при постепенно усложняющихся условиях отработки. При этом, для сохранения рентабельности производства, требуется повышение эффективности ведения подземных работ.

Крупным предприятием горно-металлургической отрасли Украины является ЗАО „Запорожский железорудный комбинат“, созданный на базе Южно-Белозерского месторождения богатых железных руд. Содержание железа в целом по месторождению составляет порядка 61%.

Для разработки крутопадающего месторождения, залегающего в сложных горно-геологических условиях, на ЗАО ЗЖРК применяется камерная система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями (рис. 1). В настоящее время при подготовке и эксплуатации горизонтов 740, 840 и 940 м используется передовое современное зарубежное оборудование, в составе: буровые самоходные машины Boomer (“Atlas Copco”), Axera (“Sandvik”), погрузочно-доставочные машины PNE, TORO (“Sandvik”), буровой комбайн для прохождения восстающих Robbins (“Atlas Copco”), комплексы торкретирования Spraymec (“Nomet”), вспомогательная техника Paus и др.

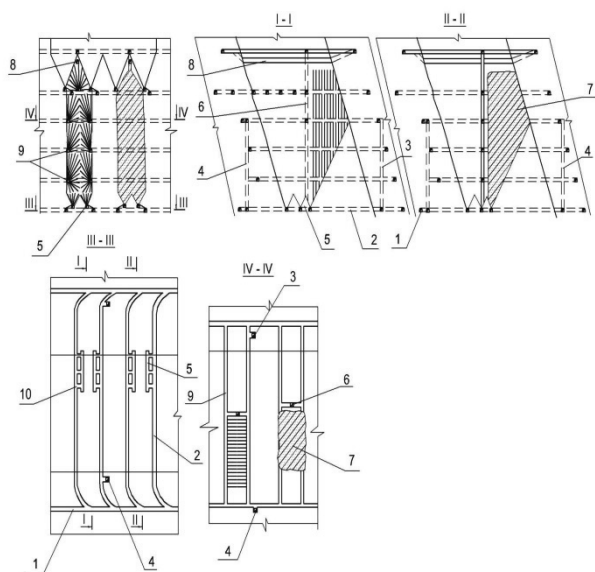


Рис. 1. Этажно-камерная система разработки, применяемая на ЗАО ЗЖРК: 1 – откаточный штрек; 2 – откаточный орт; 3 – вентиляционный восстающий; 4 – рудоперепускной восстающий; 5 – трапезный орт; 6 – отрезной восстающий; 7 – закладка; 8 – закладочный орт; 9 – буровой орт; 10 – вибродоставочные выработки

Начиная с 2000 года интенсивность отработки Южно-Белозерского месторождения значительно возросла, объем годовой добычи поднялся с 3,3 до 4,5 млн т. руды в год. Этому, в большей мере, способствовал переход на самоходные машины при подготовке рудных залежей, так как эта техника обеспечи-

вала быструю их подготовку. К 2025 году на комбинате планируется закончить отработку залежи в отметках 301–840 м. В связи с этим горные работы на Южно-Белозерском месторождении сконцентрируются в этаже 840–1040 м, при этом планируется сдать в работу этажи 1040–1140 м. Будет вестись подготовительная работа по вводу этажа гор. 1140–1240 м.

При отработке этажей 640–740–840м по схеме камера-целик комбинат, на некоторых участках залежи, столкнулся с проблемами устойчивости вмещающих пород всячего бока при параметрах камер: высота – 100–130 м; ширина – 30 м; длина – 40–50 м (рис. 2). Большие размеры камер привели к снижению устойчивости её кровли и всячего борта, что впоследствии отразилось на некотором снижении качественных показателей за счёт увеличения засорения добываемой руды. Внесенные в ходе отработки южной части рудного тела изменения параметров буровзрывных работ, оставление рудных целиков, отделяющих саму камеру от пород всячего бока, нисходящее взрывание, переход к работе через два целика в полной мере не привели к положительному результату. Значительное влияние на это оказали вмещающие породы – сланцы всячего бока.

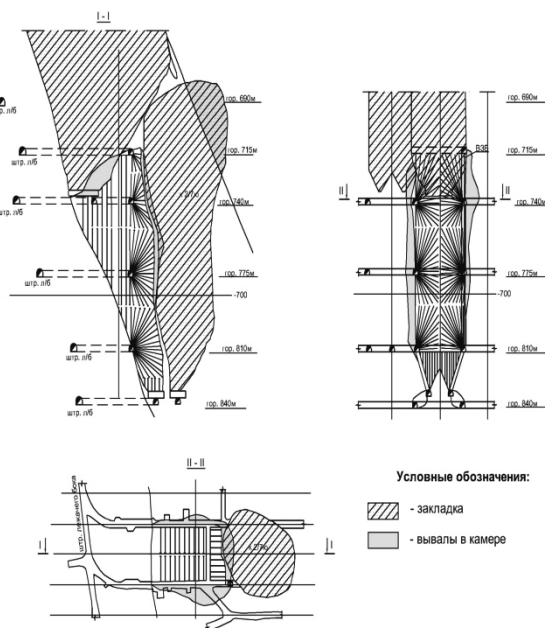


Рис. 2. Области вывалов в обрабатываемых камерах

**Анализ последних исследований.** В работах [1, 2] представлены результаты многолетних исследований и опытно-промышленных работ по обоснованию и определению параметров камерной системы разработки рудных месторождений с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.

Результаты исследований [3, 7] показывают, что, независимо от формы и схем расположения выработок, а также уровня напряженного состояния массива, взаимное влияние прекращается при расстоянии между ними, равном двух-, трехкратному их размеру. Форма и размеры выработанного пространства несо-

поставимы с подготовительными, нарезными и очистными выработками, следовательно, степень и характер влияния также несопоставим.

Работы [4–6] посвящены вопросам геомеханического обоснования камерной выемки руды, электрометрическим исследованиям в подземных условиях, а также совершенствованию систем геоакустического контроля при ведении подземных горных работ. Сейсмоакустическая оценка геомеханического состояния массива горных пород является одним из наиболее перспективных методов контроля динамических проявлений горного давления, сопровождающих процесс подземной разработки месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах.

Широко применяемый порядок отработки по падению крутопадающих залежей системами разработки без поддержания пород всячего бока обуславливает необходимость оценки влияния выработанного пространства на область подготовительных и очистных работ, располагающуюся под выработанным пространством, на стыке лежачего и всячего боков залежей. Влияние выработанного пространства на массив горных пород, расположенный в всячем и лежачем боках, а также на флангах залежей, в достаточной степени не изучено. Отсутствие научного обоснования закономерностей деформации массива вокруг выработанного пространства не позволяет производить оценку степени влияния на вмещающие породы и, следовательно, учитывать ее в технологии ведения горных работ.

**Цель.** Обоснование новых технических решений по отработке крутопадающих рудных залежей в условиях слабой устойчивости вмещающих пород всячего бока.

**Изложение основного материала.** После выполнения качественного анализа по отработке месторождения в целом по всем вышележащим этажам стало очевидно, что одной из основных причин увеличения проектных контуров камер (обрушения и вывалы) являются неустойчивые породы всячего бока. Так при отработке верхних горизонтов (этажи 480...580 м и 548...640 м), на протяжении всего шахтного поля с севера на юг, в 62-х камерах было отмечено превышение проектных границ очистного пространства, из которых в 37 (60%) – вывалы располагались в зоне контакта с вышеуказанными сланцами, хотя зона сланцев в пределах этих этажей имеет протяженность по простиранию 250...300 м из общей протяженности залежи. Главная – 1000 м.

Из отработанных в этажах от гор. 340 м до гор. 640 м обрушения и вывалы объемом более 5 тыс. м<sup>3</sup> отмечены в 40 камерах, 32 (80%) из которых расположены в зоне примыкания кварц-серицит-хлоритовых сланцев к всячему боку залежи.

Эксперимент отработки высокими 100-метровыми камерами с шириной 15 м (камера 2/11ю в этаже 605...740 м) показал, что в таких камерах происходит интенсивное бочкование стенок на север и юг залежи до достижения оптимального соотноше-

ния высоты и ширины, что, очевидно, объясняется так называемым коэффициентом формы сечений.

На глубоких горизонтах (этажи 605...740 м и 715...840 м), которые на сегодняшний день находятся в отработке, данная характерная закономерность, в части превышения проектных контуров камер у всячего бока, неизменно сохраняется. Такие же проблемы следует ожидать, соответственно, при отработке этажей ниже гор. 840 м, поэтому возникает задача предотвращения обрушений пород всячего бока залежи в зоне примыкания к рудной залежи.

Для определения рациональной технологии отработки камер всячего бока в этажах 740...840 м, с целью предотвращения вывалообразований, на основании детальной геологической разведки, были определены расчётно-допустимые параметры проектируемых очистных камер и границы их отработки.

В данном случае опережающая эксплуатационная разведка глубоких горизонтов проводилась скважинами бескернового бурения с последующим применением геофизического способа опробования по геологическим проектам. Геологические данные дополнялись за счет сопутствующей разведки при документировании горных выработок. Степень разведанности высокая – установлены контуры рудного массива, характеристика горных пород, степень их обводненности.

Для камеры прямоугольной формы допустимые эквивалентные размеры обнажения пород определялись из выражений

$$L_k = \pi^2 \sqrt{1 + \sin 2i_k \frac{R}{K_{pn} \gamma H}};$$

$$L_n = \frac{\pi^2}{\pi - 2 \sin \beta} \sqrt{\frac{R}{K_{pn} \gamma H}};$$

$$L_b = \pi^2 \sqrt[3]{3f} \sqrt{\frac{R}{K_{pn} \gamma H}};$$

где  $L_n$  – наклонное или вертикальное обнажение по простиранию залежи, м;  $L_k$  – горизонтальное обнажение по простиранию залежи, м;  $L_b$  – вертикальное обнажение вкрест простирания залежи, м;  $i_k$  – угол наклона кровли камеры по простиранию, град;  $\beta$  – угол падения пород всячего бока, град;  $\gamma H$  – давление налегающих пород, т./м<sup>2</sup>;  $K_{pn}$  – коэффициент разгрузки напряжений в надработанном рудном массиве и расположенном под заложеным выработанным пространством; для камер лежачего бока  $K_{pn} = 0,4$ , для центральных – 0,6, для камер всячего бока –  $K_{pn} = 1,2$ .

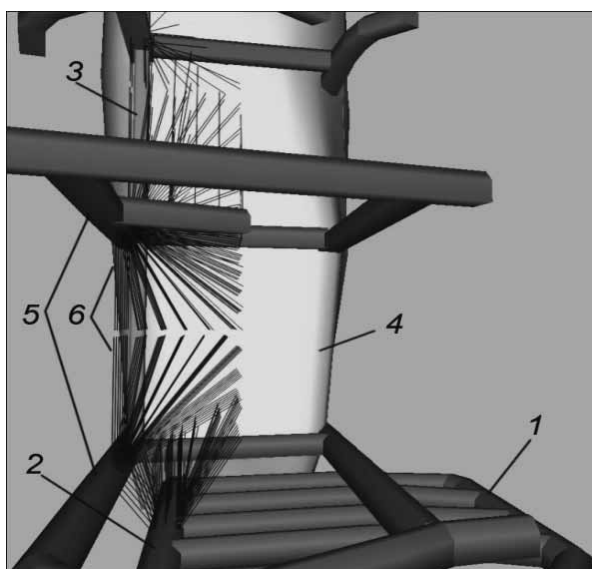
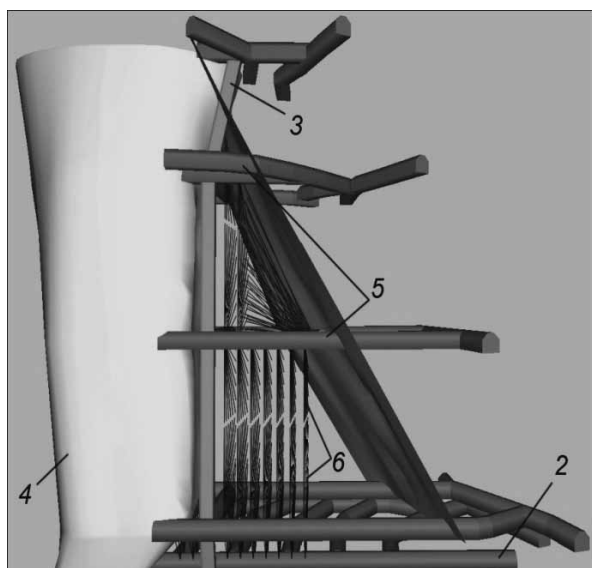


Рис. 3. Модель отработки рудного массива со стороны висячего бока: 1 – откаточный орт; 2 – подсечной орт; 3 – отрезной восходящий; 4 – закладка; 5 – буровой орт; 6 – веера скважин

После проведения соответствующих расчетов, для отработки камер со стороны висячего бока был выделен экспериментальный участок шахтного поля, где принята камерная система разработки с последующим заполнением очистного пространства твердеющей закладкой с днищем на гор. 825 м, шириной камер 15 м и высотой от 35 до 80 м в зависимости от контуров рудной залежи. Отбойка в камерах подэтажная, вертикальными слоями в одной плоскости или с опережением верхними подэтажами, производится на предварительно разделанную вертикальную отрезную щель, расположенную поперек камеры. Разбуривание рудного массива камер производится восходящими и нисходящими веерами скважин, пробуренными из подэтажных ортов и штреков. Днище камер создано в рудном массиве, плоским. Образовывается путём

взрыва вееров скважин, пробуренных из подсечного орта на расширение отрезной щели, которая расположена поперек камеры (рис. 3). Подсечные и откаточные орты связаны между собой погрузочными заездами. Откатка руды из камеры производится погрузочно-доставочной машиной TORO-400E.

Ряд камер на этом участке, с такими параметрами, уже успешно отработан, подтвердив достоверность выполненных исследований.

#### Выводы, перспективы дальнейшего развития.

Сегодня комбинат проводит подготовку шахтного поля в этаже 840–940 м. Учитывая возникшие проблемы отработки этажей 640-740-840, крайне важно обосновать рациональные параметры технологии ведения очистных работ в условиях повышенного горного давления и слабых вмещающих породах висячего бока ниже гор. 840 м. Для этого необходимо решить следующие основные задачи:

1. Выполнять мониторинг, путем замеров сдвижения пород висячего бока в этажах 640-740-840 м, в условиях действующего производства.
2. Разработать схемы поляризационно-оптических моделей для отработки камер ниже гор. 840 м, изготовить их и произвести испытания.
3. Произвести моделирование отработки залежи камерами различных типоразмеров от висячего бока к лежащему для условий этажей 840-940-1040 м.
4. Согласно практическим и экспериментальным данным выполнить прогнозную оценку напряженно-деформированного состояния горного массива ниже гор. 840 м.
5. На основе прогнозной оценки напряженно-деформированного состояния горного массива разработать рекомендации по порядку отработки и параметрам очистных камер в этажах ниже гор. 840 м.

#### Список литературы / References

1. Ляшко В.И. Определение параметров технологии подземной разработки урановых месторождений / Ляшко В.И., Дядечкин Н.И. // Горный журнал. – 2009. – №10. – С. 55–58.  
Lyashko, V.I., Dyadechkin, N.I. (2009), “Defining the parameters of underground mining of uranium deposits”, *Gornyy zhurnal*, no.10, pp. 55–58.
2. Бадтиев Б.П. Камерная система разработки вкрапленных руд в условиях подработки на руднике „Комсомольский“ / Бадтиев Б.П., Галаов Р.Б., Марысюк В.П. // Горный журнал. – 2009. – №10. – С. 58–60.  
Badtiev, B.P., Galaov, R.B. and Marysyuk V.P. (2009), “Chamber system development of disseminated ores in a part-time work at the mine “Komsomolsky”, *Gornyy jurnal*, no.10, pp. 58–60.
3. Хоменко О.Е. Синергетический подход к оценке прочностных свойств горных пород / Хоменко О.Е. // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 7. – С. 29–31.  
Khomenko, O.Ye. (2007), “Synergetic approach to the assessment of the rock strength properties”, *Collected articles of National Mining University*, no.7, pp 29–31.
4. Фрейдин А.М. Геомеханическое обоснование камерной одностадийной выемки руды на николаев-

ском рудниці / Фрейдин А.М., Усков В.А., Неве-  
ров А.А. // Горный журнал. – 2006. – №6. – С. 65–68.

Freydin, A.M., Uskov, V.A. and Neverov, A.A. (2006), “Geomechanical substantiation of chamber single-stage ore extraction at the mine “Nikolanovskiy”, *Gornyi jurnal*, no.6, pp. 65–68.

5. Логачева В.М. Обработка и интерпретация данных электрометрических исследований на шахтах подмосковного угольного бассейна. // Горный журнал. – 2006. – №6. – С. 69–72.

Logacheva, V.M. (2006), “Data processing and interpretation of electrometric studies in the mines near Moscow coal basin”, *Gornyi jurnal*, no.6, pp. 69–72.

6. Искра А.Ю. Совершенствование систем геоакустического контроля при ведении подземных горных работ / Искра А.Ю., Калинов Г.А., Рассказов И.Ю. // Горный журнал. – 2006. – №6. – С. 72–77.

Iskra, A.Yu. (2006), “Improvement of geo-acoustic control in the management of underground mining”, *Gornyi jurnal*, no.6, pp. 72–77.

7. Хоменко О.С. Натурні дослідження поведінки масиву гірських порід навколо первинних очисних камер. / Хоменко О.С., Кононенко М.М. // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 9–10. – С. 21–24.

Khomenko, O.Ye. (2010), “Research works of rock mass behavior around the primary chambers”, *Collected articles of National Mining University*, no. 9–10, pp 21–24.

**Мета.** Обґрунтування нових технічних рішень з відпрацювання крутопадаючих рудних покладів в умовах слабкої стійкості вміщуючих порід висячого боку.

**Методика.** В умовах ЗАТ „Запорізький залізорудний комбінат“ був проведений аналіз досвіду відпрацювання родовища по всіх вищерозміщених поверхах, визначені розрахунково-допустимі параметри проєктованих очисних камер і межі їх відпрацювання. Створено імітаційну модель відпрацювання родовища з напрямку висячого боку і проведено її дослідження. Для визначення властивостей імітаційної моделі проводилася експлуатаційна розвідка глибоких горизонтів свердловинами безкернового буріння з подальшим застосуванням геофізичного способу випробування за геологічними проєктами. Геологічні дані доповнювалися за рахунок супутньої розвідки при документуванні гірничих виробок.

**Результати.** Обґрунтовано систему розробки для відпрацювання рудного покладу висячого боку. На шахті „Експлуатаційна“ ЗАТ „Запорізький залізорудний комбінат“ було виділено експериментальну ділянку шахтного поля, де в умовах поверху 740–825 м випробувані результати досліджень. Розбурювання рудного масиву камер проводилося висхідними і спадними віями свердловин, пробурених з підповерхових ортів і штреків.

**Наукова новизна.** На підставі чисельного моделювання напружено-деформованого стану виконано аналіз стійкості порід висячого боку крутопадаючого рудного покладу при різних параметрах очисних камер.

**Практична значимість.** На підставі комплексу науково-дослідних і дослідно-промислових робіт, що виконуються на Запорізькому залізорудному комбінаті, обґрунтовано методи розрахунку параметрів камер глибше 840 м зі сторони висячого боку, і визначено порядок їх відпрацювання за умовою стійкості. Представлені результати дослідження можуть бути використані на підприємствах, що відпрацьовують рудні поклади в аналогічних гірничо-геологічних умовах.

**Ключові слова:** експлуатаційна свердловина, лінія найменшого опору, раціональний діаметр свердловини, камерна система розробки

**Purpose.** To validate new technological solutions for mining steeply dipping ore deposits in the unstable bearing strata hanging wall.

**Methodology.** At ZAO “Zaporozhskiy zhelezorudny kombinat”, there we have analyzed the experience of production of ore from all overlying levels of the deposit in order to define acceptable parameters of the designed rooms and the limits of excavation. A simulation model of the deposit development from hanging wall has been created and studied. To determine the properties of the simulation model the operating exploration boreholes were drilled without coring deep levels of drilling and subsequent application of geophysical methods for geological projects testing. Geological data were supplemented by data from associated prospecting when documenting mine workings.

**Findings.** The system of ore production from the hanging wall has been substantiated. The research results have been tested in the mine “Ekspluatatsionnaya” of ZAO “Zaporozhskiy zhelezorudny kombinat” at the depth of 740–825 m. Rock block holing of the ore massif in cameras was done by ascending and descending borehole fans drilled from the sublevel drifts and bords.

**Originality.** On the basis of numerical modeling of stressed state the analysis of stability of rock in steep ore hanging wall at different parameters of the camera was carried out.

**Practical value.** On the basis of complex research and industrial works performed at the ZAO “Zaporozhskiy zhelezorudny kombinat” the methods of calculating the parameters of the cameras of the hanging wall beyond the depth of 840 m has been substantiated and the procedure of excavation in stable conditions has been defined.

The results can be used at enterprises developing ore deposits in the same geological conditions.

**Keywords:** operational borehole, line of least resistance, rational diameter of a borehole, heading-and-stall method

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Бондаренком. Дата надходження рукопису 03.01.12.