

БЕНЧМАРК-АНАЛИЗ РИСКОВ НЕДОСТИЖЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

BENCHMARK RISKS ANALYSIS OF NOT FULFILLING THE DESIGN PARAMETERS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE FIELD DEVELOPMENT



С. Н. Гончаренко, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
gsn@isis.ru

S. Goncharenko, National University of Science and Technology MISIS, Moscow

Проект отработки месторождения представляет собой совокупность работ, которые в силу уникальности горно-геологических условий, территориального расположения, климатических факторов, отсутствия необходимой инфраструктуры будут подвержены высокой степени проектного риска. *Объект исследования* – проектные параметры технико-экономического обоснования отработки месторождения. *Предмет исследования* – риски недостижения проектных параметров отработки месторождения. *Цель исследования* – научно обосновать возможность повышения эффективности реализации проекта отработки месторождения на основе сравнительно-сопоставительного анализа основных технико-экономических показателей с мировыми отраслевыми лидерами. *Материалы и методы*: на основе модели минеральных ресурсов месторождения и сравнительно-сопоставительного анализа с эталонной базой более чем с сорока ведущими мировыми месторождениями (бенчмаркетинг) проведен стратегический анализ основных технико-технологических, организационных и экономических параметров отработки карьера. По результатам анализа рисков скорректированы и обновлены входные параметры, использованные в предварительной технико-экономической оценке проекта. Осуществлен выбор предельной оболочки карьера, решена задача выбора метода отработки и параметров использованного оборудования, выполнен анализ оптимальной высоты уступа карьера и этапности отработки технологических блоков месторождения. *Результаты исследования*: полученные значения основных технико-экономических показателей легли в основу формирования плана горных работ, а также оценки эксплуатационных и капитальных затрат с учетом факторов риска. Определены следующие наиболее значимые риски: наличие штата сотрудников с соответствующим опытом и компетенциями, необходимыми для выполнения плана горных работ; окисление рудных складов длительного хранения, которое ведет к понижению показателей извлечения полезного ископаемого; высокие затраты на дизель и электричество. *Выводы*: на базе выявленных факторов риска определены капитальные и эксплуатационные затраты, проведена их корректировка с учетом уровня энергозатрат, стоимости буровзрывных работ, контроля содержаний полезного компонента, погрузки, затрат на обслуживание, трудозатрат и общих издержек

Ключевые слова: бенчмарк-анализ рисков, модель месторождения, предварительная технико-экономическая оценка, оптимизация параметров отработки месторождения, формирование плана горных работ, выбор технологического оборудования, категории ресурсов, капиталоемкость проекта, стадийность отработки, движение горной массы

The mine development project is a set of works, which, due to the uniqueness of mining and geological conditions, territorial location, climatic factors, lack of the necessary infrastructure, will be subject to a high degree of project risk. *The aim of the work* is to increase the implementation efficiency of the field development project based on a comparative analysis of the main technical and economic indicators with world industry leaders. *Materials and methods*. Based on the model of the mineral resources of the deposit and the comparative analysis carried out with a reference base with more than forty leading world deposits (benchmarking), a strategic anal-

ysis of the main technical, technological, organizational and economic parameters of open pit development has been carried out. The risk analysis, the input parameters used in the preliminary feasibility study of the project are adjusted and updated. The choice of the limiting open pit shell has been carried out, the problem of choosing the mining method and parameters of the equipment used has been solved, and the analysis of the optimal height of the open pit bench and the stages of development of technological blocks of the field have been carried out. *Results.* The obtained values of the main technical and economic indicators have formed the basis for the formation of a mining plan, as well as an assessment of operating and capital costs, taking into account risk factors. The following most significant risks are identified: availability of staff with relevant experience and competencies required to implement the mining plan; oxidation of long-term storage ore warehouses, which leads to a decrease in mineral extraction rates; high diesel and electricity costs. *Conclusions.* Based on the identified risk factors, capital and operating costs have been determined and adjusted for the level of energy consumption, the cost of drilling and blasting operations, control of the content of the useful component, loading, maintenance costs, labor costs and general costs

Key words: benchmark risk analysis; field model; preliminary technical and economic assessment; optimization of field development parameters; formation of a mining plan; selection of technological equipment; resource categories; capital intensity of the project; stages of development; rock mass movement

Введение. Анализ рисков, проведенный для горно-добычных операций в рамках начального этапа технико-экономического обоснования проекта отработки месторождения, главным образом ориентирован на выявление риска недостижения трех основных результатов исследования: стадийность отработки руды; график движения горной массы; смета затрат на добычу [5].

В ходе исследований установлено, что геологические риски низкие, поскольку месторождение крупное с относительно равномерным распределением содержаний полезного компонента. Вероятность изменчивости минерализации на минимальных расстояниях принята во внимание и учтена при планировании отработки технологических блоков месторождения [4; 6].

Выполнен значительный объем буровых работ в период после разработки предварительной оценки проекта (Scoping Study) и до настоящего исследования, при этом бурение было направлено в основном на подтверждение содержаний, использованных при подсчете минеральных ресурсов. План горных работ предполагает отработку минеральных ресурсов категории *выявленные* (Indicated) со средней степенью достоверности данных 75 % в течение первых пяти лет и с достоверностью 85 % в течение первых десяти лет. Такой риск следует устранить путем проведения дополнительного объема заверочного бурения в период разработки данного начального этапа технико-экономического обоснования, а дополнительные данные позво-

лят перевести большую часть минеральных ресурсов категории *выявленные* (Indicated) первых пяти лет отработки в категорию *измеренные* (Measured).

Все допущения по геотехническим параметрам характеризуются высокой степенью риска. В контуре предельных бортов карьера геотехнического бурения не проводилось. Параметры, принятые для отработки месторождения, имеют значительные расхождения в сравнении с Scoping Study, поэтому существуют горно-геологические риски при разработке проекта *карьера* ввиду следующих базовых предпосылок: качество полезного ископаемого значительно ниже того, которое определено в ходе испытаний; положение и характер основных разрывных нарушений отрицательно влияют на устойчивость бортов карьера; уровни грунтовых вод и содержание влаги выше тех, которые определены по результатам гидрогеологических исследований [1]. В этой связи, анализ указанных параметров и оценка риска недостижения проектных значений основных технико-экономических показателей отработки месторождения являются *актуальной* научной и практической задачей.

Объект исследования – проектные параметры технико-экономического обоснования отработки месторождения.

Предмет исследования – риски недостижения проектных параметров отработки месторождения.

Цель исследования – научно обосновать возможность повышения эффективности ре-

ализации проекта отработки месторождения на основе сравнительно-сопоставительного анализа основных технико-экономических показателей с мировыми отраслевыми лидерами.

Задачи исследования:

– сравнительная оценка и корректировка уровня совокупных затрат на движение горной массы с эталонной базой данных крупных мировых горно-добывающих компаний;

– оценка достижения производительности и основных технико-технологических параметров буровзрывных работ;

– оценка показателей функционирования и выбор вариантов погрузочно-доставочного оборудования;

– определение и анализ наиболее значимых рисков реализации проекта отработки месторождения.

Материалы и методы. В исследовании использованы показатели производительности развитых экономик и достаточно низкие ставки оплаты труда, характерные для современных реалий. При том, что показатели производительности рабочих и специалистов по техническому обслуживанию вполне достижимы, есть вероятность того, что для реализации запланированной производительности потребуются привлечь дорогостоящих специалистов на руководящие и контролирующие должности и, несмотря на то, что это значительно увеличит эксплуатационные затраты, существенного влияния на конечный контур карьера оказано не будет. Такой риск больше связан с достижением производительности и, следовательно, графиком движения горной массы [8; 9].

В ходе подготовки исследования выявлено, что на мировом рынке сырья имелись значительные объемы доступного горно-шахтного оборудования. Переговоры с фирмами-изготовителями оборудования указали на возможность договориться о лучшей цене при размещении заказов на оборудование. Риск того, что наличие оборудования и капитальные затраты повлияют на план движения горной массы или смету затрат, очень низкий.

Обеспечение запланированного исходного содержания полезного компонента в первые годы отработки требует складирования значительного объема руды в течение ряда лет. При хранении запасов руды на складе возникает три основных вида рисков. Че-

рез несколько лет хранения горной массы на рудном складе она подвергается окислению. Вероятность того, что руда окислится, зависит от ее минералогического состава. В первичной руде процесс окисления приводит к тому, что полезный компонент подвергается значительному качественному изменению, однако в процессе измельчения поверхность минерала очищается и не оказывает влияния на последующий процесс флотации. Кроме того, в холодном климате скорость окисления медленнее, а количество воды, которое способствует окислению, ограничено. Поскольку такие изменения могут оказать существенное влияние на стадийность отработки руды, следует провести исследования ее минералогического состава для полного понимания и оценки потенциала окисления [10; 11].

В холодное время года замерзшую складированную руду необходимо взрывать. Риск замерзания складированной руды минимальный, так как для ее замерзания требуются вода и грязь. Как правило, в этом регионе осадков выпадает мало, а при правильном уходе за рудными складами, когда объем попадающей на рудный склад влаги минимизируют посредством расчистки поверхности склада от снега по окончании зимы, замораживание маловероятно. В случае замерзания какого-либо участка могут потребоваться дополнительные затраты на его рыхление или взрывание. Стадийность отработки запасов предполагает оконтуривание их по содержанию, когда на переработку в первую очередь подается руда с высокими содержаниями, а затем – с более низкими. В случае неправильного хранения руды на складе может оказаться, что руды с необходимыми содержаниями может не быть. Затраты на систему транспортировки руды самосвалами включены в общую сумму затрат. Правильно разработанная и применяемая система транспортировки позволит минимизировать вероятность того, что самосвал отправится за рудой не на нужный участок рудного склада. Риски в отношении складирования руды относятся к стадийности ее отработки.

По международным стандартам, общая сумма затрат на добычу руды относительно низкая. Однако повышение тарифов на топливо и электроэнергию может оказать существенное влияние на общую смету затрат на добычу. Наиболее значимым последстви-

ем такого повышения затрат может стать необходимость использования дизельного оборудования. Увеличение затрат на электроэнергию и топливо представляет высокий уровень риска.

Удаленное расположение проекта, возможность проведения замены оборудования и обеспечение запасными частями сопряжено с следующими рисками. Внезапный и полный отказ основного оборудования для земельных работ, в особенности в зимний период, может привести к невозможности использовать экскаваторы на протяжении длительного времени (до нескольких месяцев). В этой связи, критерии выбора парка горного оборудования включали возможность проведения технического обслуживания, по крайней мере, четырех единиц основного оборудования для земельных работ. При вероятном приповерхностном залегании руды трех экскаваторов должно быть достаточно для обеспечения питанием фабрики в течение нескольких месяцев. Единственный период, когда это будет сделать невозможно, – первые три года отработки производственного процесса и наращивания объемов производства. Ввиду того, что на этих этапах оборудование

используется новое, вероятность отказа техники значительно ниже. Кроме того, в парк вспомогательного оборудования включены большие фронтальные погрузчики, которые можно использовать для загрузки основного парка самосвалов и, таким образом, восполнять потенциальные потери на производстве вследствие отказа другой техники. Риск нарушения графика движения горной массы по причине длительного простоя оборудования будет достаточно низкий [12].

Результаты исследования и их обсуждение. По международным стандартам, совокупные затраты проекта на добычу полезного ископаемого относительно невысокие. Так, например, на крупных горно-добывающих предприятиях в Чили затраты варьируют в интервале 2,00...3,00 \$ за 1 т. На рис. 1 представлено сравнение показателей эталонной базы крупных горно-добывающих предприятий-аналогов (бенчмаркинг) с различными объемами движения горной массы по планируемым показателям отработки месторождения. Из рис. 1 видно, что затраты в эталонной базе данных значительно выше, чем текущая оценка совокупных затрат на движение горной массы.

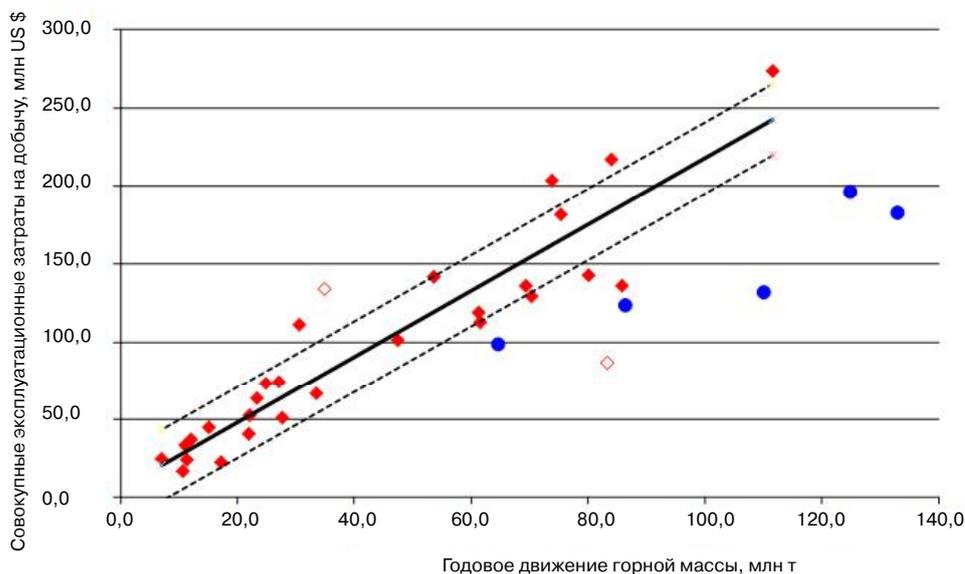


Рис. 1. Сравнительная оценка совокупных затрат на движение горной массы с эталонной базой данных крупных горно-добывающих компаний (синими точками показана оценка затрат на месторождении, красными – данные из эталонной базы (бенчмарки) / Fig. 1. Comparative assessment of the total cost of rock mass movement with the reference database of large mining companies (blue dots show cost estimates for the field, red dots show data from the reference base (benchmarks))

Горно-добывающие предприятия, включенные в эталонную базу, находятся либо в экономически развитых районах со значительно более высокими трудозатратами, либо в экономически неразвитых, где стоимость труда очень низкая, но и эффективность труда также низкая, что ведет к увеличению шта-

та и требует наличия дорогой рабочей силы. На большинстве рудников, кроме двух, не используется электрическое оборудование. В этой связи в проекте погрузочное оборудование заменено на дизельное. Результат сравнения с учетом внесенных корректировок показан на рис. 2.

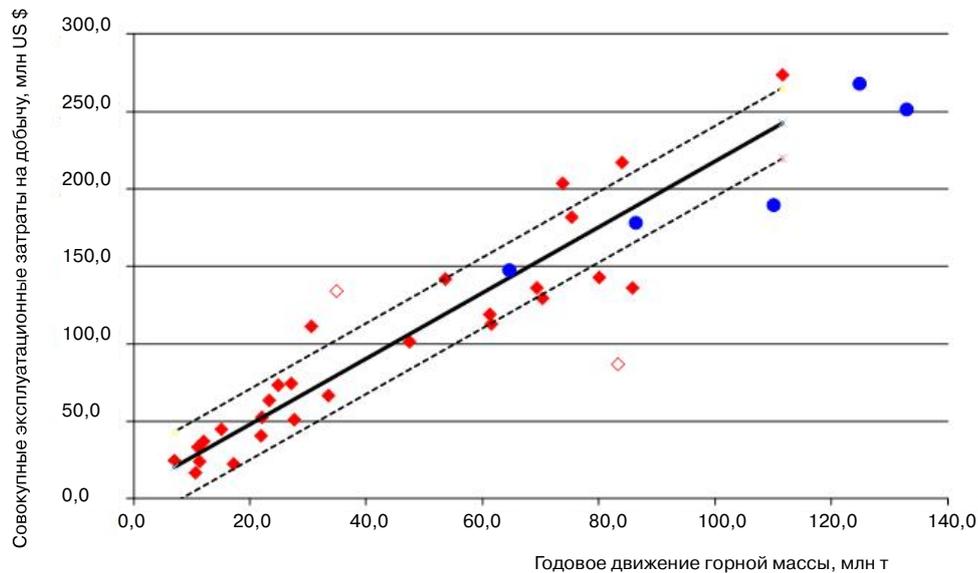


Рис. 2. Скорректированная оценка совокупных затрат на движение горной массы в сравнении с эталонной базой (синими точками показана оценка затрат на месторождении, красными – данные из эталонной базы (бенчмарки) / Fig. 2. Adjusted estimate of the total cost of rock mass movement in comparison with the reference base (blue dots show cost estimates for the field, red dots show data from the reference base (benchmarks))

С учетом внесенных корректировок оценка затрат текущего проекта возросла и сравнялась с данными из эталонной базы, со значением удельных затрат около 2,00 \$/т. Это выявляет два основных риска в оценке эксплуатационных затрат – найм на работу людей с соответствующим опытом, который гарантирует экономическую эффективность, адекватную для данной ставки оплаты труда, и обеспечение энергией, необходимой для достижения значения удельных эксплуатационных затрат.

Маловероятно, что перечисленные риски повлияют на границу предельного карьера или не позволят вести эксплуатацию рудника в соответствии с планом горных работ. Возникновение указанных рисков повлечет удорожание затрат по проекту, но, поскольку коэффициент вскрыши относительно низкий,

то затраты на добычу по международным стандартам составят незначительную часть общей структуры затрат [7].

При разработке карьера планируется, что контурное взрывание будут проводить не на всех бортах, локальные технологические решения будут приниматься с учетом краткосрочных геомеханических проблем, которые еще не до конца понятны. Сумма затрат на забой составит 5,00 долл. США/м² и 8,85 долл. США/м скважины. Ввиду того, что промежуточные борта карьера относительно высокие и будут пребывать в таком состоянии еще в течение нескольких лет, то предполагается, что на ранних этапах разработки карьера контурное взрывание будут проводить на 50 % борта карьера с увеличением до 90 % в финальном контуре карьера при отработке основной залежи. Стоимость бурения

зависит от размера сетки бурения. При использовании параметров, заданных при проектировании взрыва, производительность буровзрывной скважины составит 107,9 т/м

с допуском на 10 %-ный объем перебура. Такой выход сопоставим с диаметром скважины по показателям эталонной базы данных, как показано на рис. 3.

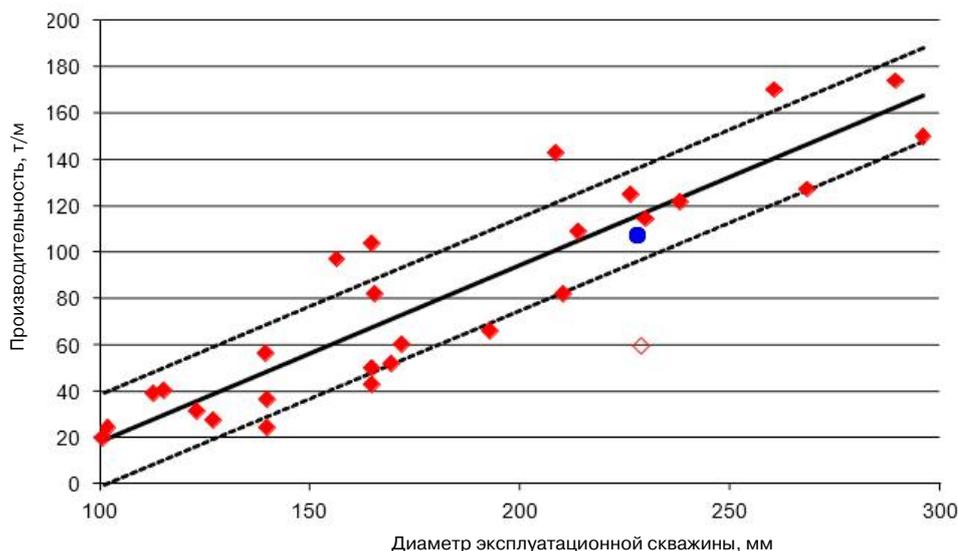


Рис. 3. Зависимость производительности буровзрывной скважины от диаметра по эталонной базе данных (синей точкой показана оценка параметров производительности и диаметра на месторождении, красными – данные из эталонной базы (бенчмарки) / Fig. 3. The dependence of the productivity of a drill-blast hole on the diameter according to the reference database (the blue dot shows the evaluation of the productivity and diameter parameters in the field, the red dots show the data from the reference base (benchmarks))

Данная производительность скважины была достигнута на участках, где использовался сопоставимый диаметр скважин. Такую ситуацию можно наблюдать и на участках с достаточно сложными условиями взрывания. В этой связи сделано предположение, что при использовании вращательного способа бурения с частотой вращения 120 оборотов в минуту будет достигнуто в среднем 80 % от максимальной осевой нагрузки, равной 24000 кг. Таким образом, мгновенная скорость бурения составит 47,8 м/ч. Рабочая скорость бурения (32,3 м/ч) сравнивается со значениями в эталонной базе данных на рис. 4.

Буровзрывные работы обеспечивают материал для погрузки и транспортировки. На участках с высокой производительностью нарабатывают до 5000 ч бурения в год. При этом, на участках, где стараются увеличить количество часов бурения, происходят задержки с погрузкой и откаткой горной массы

ввиду недостаточных запасов отбитого материала. Расчет затрат на погрузку позволил предложить вариант карьерного гусеничного экскаватора P&H2800 с емкостью ковша 35 м³ (рис. 5). Показатель производительности экскаватора в карьере принимается на уровне 4078 т/ч, а для учета экскавации при создании рудного склада – 4278 т/ч.

Стоимость затрат на транспортировку рассчитывается по данным производительности карьерных самосвалов CAT793. Расчет полной загрузки в 229 т выполнен при условии плотности горной массы 2,65 т/м³, таким образом, самосвал загружается до полного объема. Анализ загрузки показал, что следует использовать полную грузоподъемность самосвала. Необходимое количество часов работы рассчитано исходя из данных анализа погрузочного оборудования, а время, необходимое для откатки каждой тонны и количество эксплуатационных часов самосвала определены исходя из грузоподъемности

самосвала. При этом, удельные затраты будут снижаться в течение первых пяти лет эксплуатации рудника, поскольку общий объем движения горной массы будет увеличиваться, таким образом фиксированные затраты будут отнесены на больший тоннаж горной

массы. Удельные затраты будут оставаться относительно постоянными примерно до 10 лет эксплуатации рудника, а затем начнут увеличиваться в связи с увеличением среднего плеча откатки.

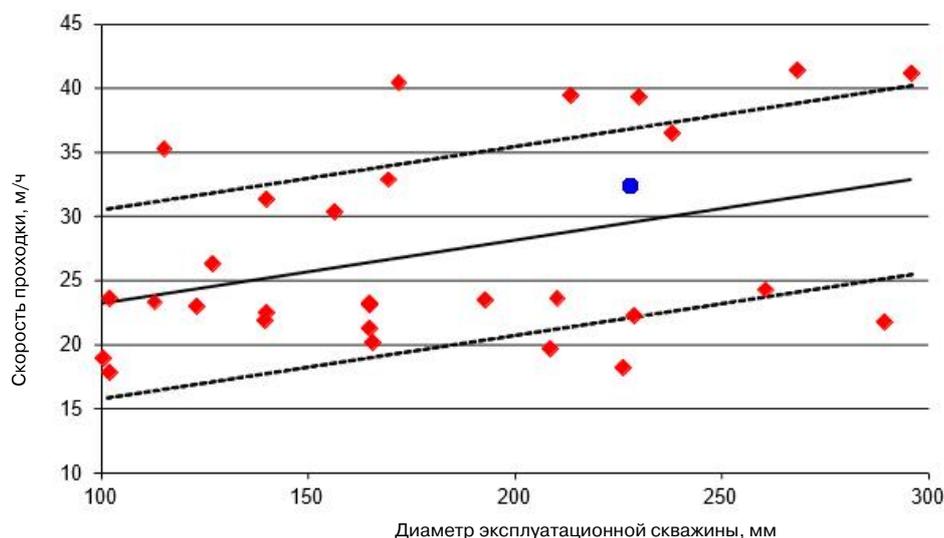


Рис. 4. Зависимость скорости проходки от диаметра эксплуатационной скважины в сравнении с эталонной базой данных (синей точкой показана оценка параметров скорости и диаметра на месторождении, красными – данные из эталонной базы (бенчмарки) / Fig. 4. Rate of penetration versus production hole diameter vs. reference database (the blue dot shows the evaluation of the productivity and diameter parameters in the field, the red dots show the data from the reference base (benchmarks))

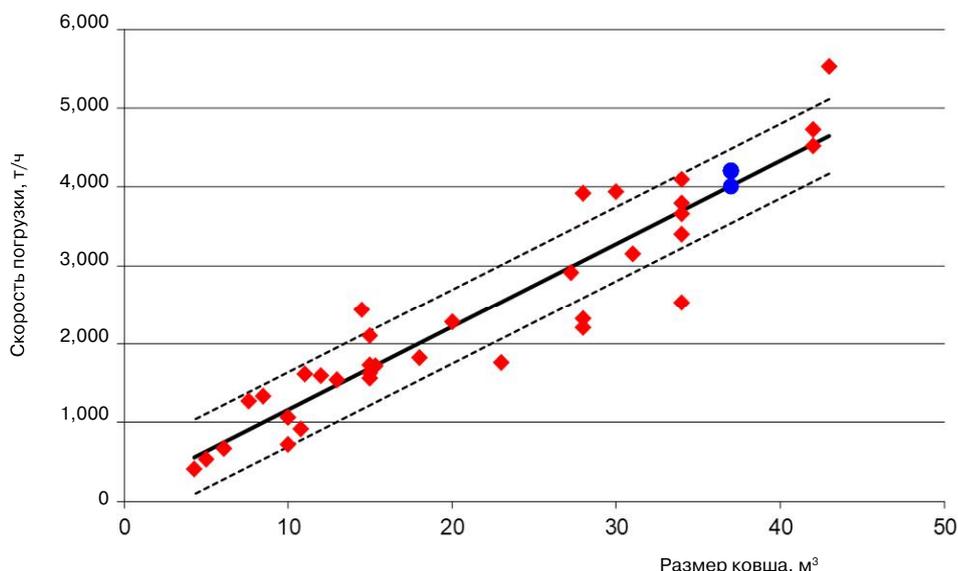


Рис. 5. Зависимость скорости погрузки от размера ковша экскаватора по эталонной базе данных (синими точками показана производительность экскаватора на месторождении, красными – данные из эталонной базы (бенчмарки) / Fig. 5. The dependence of the loading speed on the size of the excavator bucket according to the reference database (blue dots show the performance of the excavator in the field, red dots show data from the reference database (benchmarks))

Для решения задачи выбора парка техники рассматривались три основных типа мобильного горного оборудования: фронтальный погрузчик, экскаватор, одноковшовый экскаватор с прямой лопатой [3].

При этом, одноковшовый экскаватор с прямой лопатой отличается самой высокой производительностью, он может безопасно и эффективно работать с более высокими уступами. Время отработки уступа является определяющим фактором, влияющим на скорость отработки карьера. Отработка с использованием более высокого уступа увеличивает оборот горной массы и повышает производительность отработки руды. Одноковшовый экскаватор может обрабатывать высокие уступы, в отличие от описанных ранее машин. Несмотря на то, что одноковшовые экскаваторы являются менее мобильными из всех рассматриваемых вариантов, только они могут запитываться от электричества. При проведении оценки потерь и разубоживания установлено, что уменьшение высоты уступа, а также применение меньшей минимальной выемочной единицы не добавит экономического эффекта, поэтому использование экскаваторов не потребует-

ся. Учитывая, что месторождение является большим и на нем будут использоваться несколько погрузочных единиц, мобильность фронтального погрузчика не потребуется для поддержания необходимого качества перемешивания руды. Поэтому на основе проведенного анализа рекомендуется применять одноковшовые экскаваторы с электрическим приводом с прямой лопатой, как наиболее приемлемые для месторождения, ибо они позволят оптимизировать показатели добычи, снизить стоимость добычи и не дадут негативного эффекта на объемах разубоживания.

По данным эталонной базы, оптимальной целью может быть достижение 6000 эксплуатационных часов в год для одноковшового экскаватора, что соответствует производительности 3333 т/ч. Размер/класс одноковшового экскаватора чаще всего зависит от объема ковша машины. Для этих целей рассчитана производительность для трех типов одноковшовых экскаваторов с объемом ковша 27; 35; 51 м³. Для погрузки предусмотрено использование 229- и 313-тонных самосвалов. На рис. 6 показано сопоставление данных параметров с значениями эталонной базы данных.

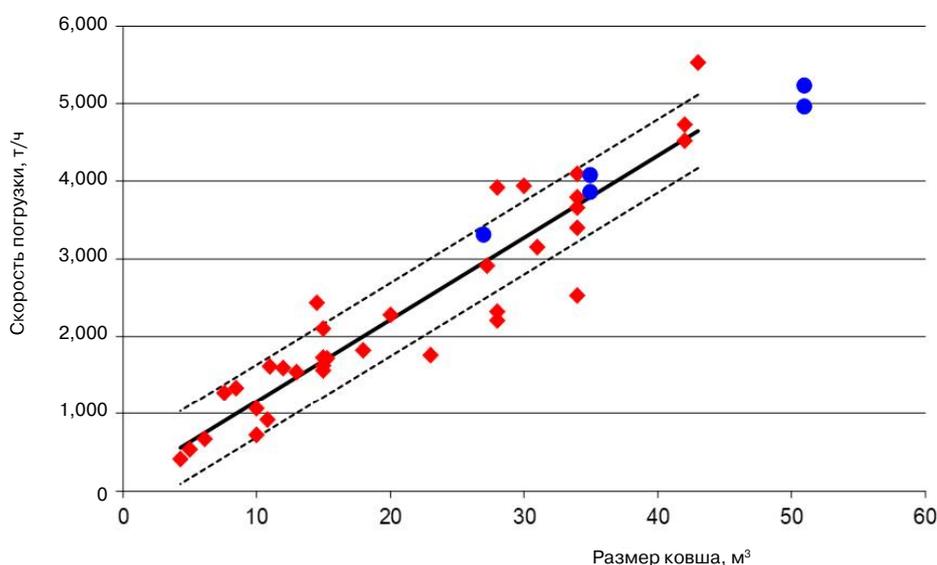


Рис. 6. Зависимость скорости погрузки от размера ковша экскаватора по эталонной базе данных (синими точками показаны оценки параметров на месторождении, красными – данные из эталонной базы (бенчмарки) / Fig. 6. The dependence of the loading speed on the size of the excavator bucket according to the reference data base (blue dots show estimates of parameters at the field, red dots show data from the reference database (benchmarks))

В результате анализа установлено, что производительность для экскаватора с емкостью ковша 27 м^3 довольно высокая по сравнению с эталонной базой как следствие близких величин номинального размера ковша и объема кузова автосамосвала. Производительность погрузчика с емкостью ковша 35 м^3 снижается при использовании автосамосвалов большего размера, так как вместимость ковша не сопоставима с максимальной загрузкой кузова. Показатели производительности экскаваторов с емкостью ковша 35 м^3 и 51 м^3 немного ниже оценок для экскаваторов подобного класса, а для экскаватора с емкостью ковша 27 м^3 на 15 т/ч выше. Это говорит о том, что производительность 3300 т/ч для экскаватора с емкостью ковша 27 м^3 может быть предельной в рамках возможного диапазона.

Если производительность оборудования не будет снижаться, то технологическое увеличение высоты уступа должно привести к небольшому снижению уровня эксплуатационных затрат. Это снижение связано, прежде всего, с более эффективным применением буровзрывных работ. При более высоком уступе увеличится количество руды на одну пробуренную скважину и уменьшится показатель времени на перемещение и постановку буровой установки на точку бурения. Если не брать в расчет потери производительности экскаватора, то переход от 10 м уступа к 15 м сократит стоимость буровзрывных работ примерно на $0,03$ долл. за 1 т . При этом, даже незначительное снижение производительности экскаватора приведет к повышению стоимости погрузки, которое будет более существенно, чем снижение затрат на буровзрывные работы.

Для расчета продолжительности цикла транспортировки для всех выемочных блоков использованы следующие исходные параметры: карьерный самосвал – CAT793; максимальная скорость – 54 км/ч ; грузоподъемность – 229 т ; постановка под загрузку – $1,0 \text{ мин}$; время загрузки – $2,0 \text{ мин}$; время в очереди – $2,0 \text{ мин}$; время разгрузки – $1,5 \text{ мин}$.

С увеличением движения объема горной массы постепенно увеличивается потребность в количестве карьерных самосвалов.

К концу каждого этапа продолжительность циклов транспортировки увеличивается с увеличением глубины отработки. Горная масса, вывозимая с карьера, будет подаваться напрямую в дробилку либо выгружаться на склад дробильного комплекса, рассматриваемый как стратегический склад долгосрочного хранения, расположенный рядом с обогатительной фабрикой, либо выгружаться на складе окисленной руды или в отвалы. Участки размещения отвалов, склада окисленной руды и склада долгосрочного хранения определяют с помощью вычисления кратчайшего пути транспортировки до места назначения. Рядовую руду и горную массу со склада долгосрочного хранения перевозят по фиксированным маршрутам. Для оптимизации маршрута движения по всей протяженности транспортировки руды со склада долгосрочного хранения на дробилку использованы показатели средневзвешенной продолжительности цикла транспортировки и плеча откатки на каждый год для каждого типа материала и места назначения [2]. На рис. 7 показаны изменения в расстояниях откатки, движении общего объема горной массы и количестве используемых автосамосвалов.

Рисунок 7 демонстрирует, как начальное увеличение числа самосвалов связано с увеличением движения объема горной массы. Резкое уменьшение количества самосвалов до 2032 г. обусловлено началом этапов с высоким коэффициентом вскрыши на верхних горизонтах. Далее происходит увеличение плеча откатки с продолжительностью цикла откатки в среднем 40 мин с 2033 по 2042 гг. В этот период сделано некоторое сглаживание продолжительности циклов, чтобы предотвратить нецелесообразно высокое количество машин. Это было возможным сделать за счет откатки на более дальние расстояния.

Для четырех выбранных циклов плечо откатки было скорректировано по эквиваленту отрезка прямой дороги (Effective Flat Haul (EFH)) и сопоставлено с эталонной базой данных рис. 8. При этом, полученные значения продолжительности цикла достаточно близки с трендовой линией данных эталонной базы.

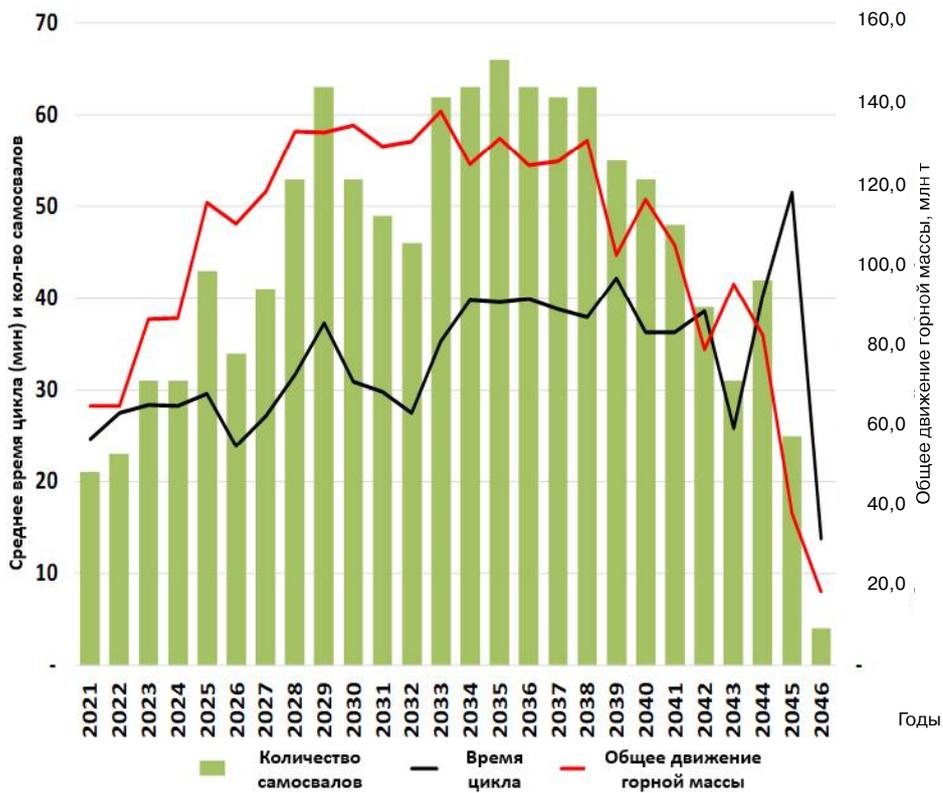


Рис. 7. Динамика общего объема движения горной массы по этапам отработки месторождения и оценка необходимого количества самосвалов / Fig. 7. The dynamics of the total volume of rock mass movement by stages of mining the deposit and an assessment of the required number of dump trucks

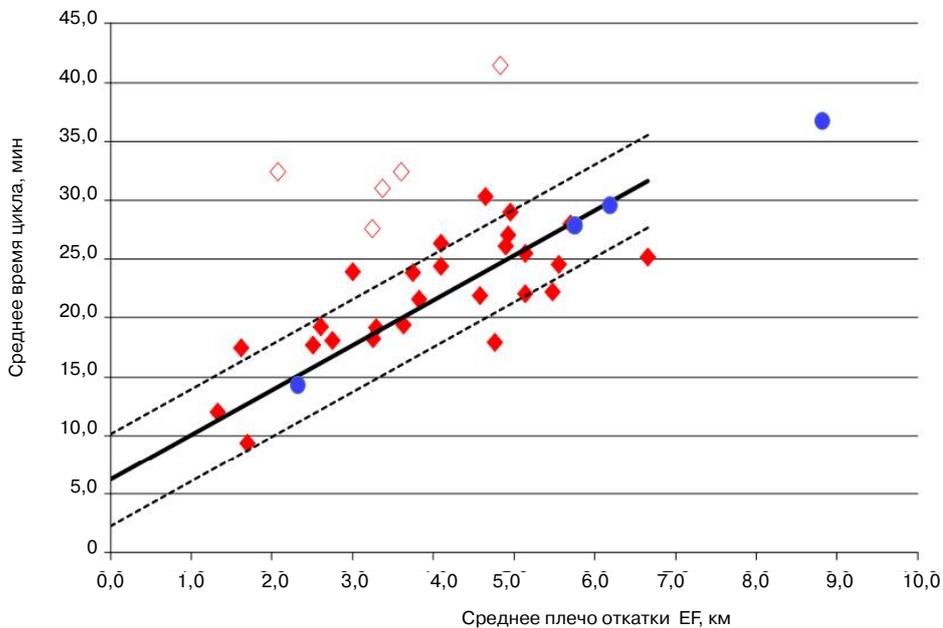


Рис. 8. Зависимость среднего времени цикла от плеча откатки EFH (синими точками показаны оценки параметров на месторождении, красными – данные из эталонной базы (бенчмарки) / Fig. 8. The dependence of the average cycle time on the haulage arm EFH (blue dots show parameter estimates at the field, red dots show data from the reference base (benchmarks))

Выводы. В ходе проведенных исследований установлено, что предварительная оценка (Scoping Study) свидетельствует о том, что проект потенциально представляет ценность и требует проведения более детального изучения в рамках предварительного технико-экономического обоснования (Preliminary Feasibility Study). Ключевыми чувствительными показателями проекта являются чистый доход от реализации (стоимость продукции и извлечение металла) и операционные затраты.

Сопоставление с эталонной базой (бенчмаркетинг) проекта более чем с 40 ведущими мировыми месторождениями дает возможность сделать следующие выводы:

– разрабатываемое месторождение является одним из самых крупных проектов в мире, занимая место в первой десятке аналогичных проектов по количеству минеральных ресурсов;

– коэффициент вскрыши на месторождении самый низкий по сравнению с аналогичными месторождениями. Данный показатель снижает эксплуатационные и капитальные затраты по проекту по сравнению с проектами, оцененными в ходе сопоставления с эталонной базой;

– капиталоемкость проекта довольно низкая, как результат низкого показателя коэффициента вскрыши и минимальных требований внешней инфраструктуры. При этом, местные и региональные государственные структуры способны развить регион и предоставить все ключевые аспекты инфраструктуры (электричество и транспорт);

– эксплуатационные расходы по проекту относительно велики и это, прежде всего, результат высоких цен на электроэнергию и дизельное топливо;

– наиболее значимые риски реализации проекта связаны непосредственно с кадровым потенциалом, окислением рудных скважин длительного хранения, ведущим к понижению извлечения полезного компонента в рамках обогатительного передела и высокими затратами на энергоносители.

Определение денежного потока базируется на допущении, что прибыль будет получена в тот же год, когда будет произведен первый концентрат, зная, что часть товарного концентрата может быть отправлена с территории месторождения потребителям лишь в следующем году, по мере доступности зимней дороги и порта.

Список литературы

1. Бердалиев Б. А. Повышение эффективности функционирования уранодобывающего предприятия на основе моделирования и оптимизации процессов добычи и переработки продуктивных растворов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 208–214. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-208-214.
2. Боженок Н. Н. Уточнение петрофизических данных и подбор оптимальных параметров построения геологической модели // Нефтяное хозяйство. 2015. № 7. С. 72–75.
3. Воробьев В. С., Петров А. Н. Использование горизонтальных скважин при построении геологических моделей // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 12. С. 24–32.
4. Гончаренко С. Н. Геопространственное обеспечение и методы построения программы аналитического контроля качества проведения геологоразведочных работ на месторождении // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2021. Т. 26, № 3. С. 71–86. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-3-71-86.
5. Гончаренко С. Н. Геостатистический анализ ресурсной базы месторождения на основе создания трехмерных каркасных моделей минерализованных зон // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. №1. С. 46–62. DOI:10.21685/2072-3059-2021-1-5.
6. Гончаренко С. Н. Построение индикаторной модели интерпретации границ геологических и рудных областей минерализации месторождения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 5. С. 184–196. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-5-184-197.
7. Козлов В. В., Агафонов В. В. Обоснование метода математического моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Уголь. 2017. № 3 С. 70–71. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-3-70-71>.

8. Молдаши Д. Н. Методы идентификации системных задач стратегического управления и повышения эффективности геологоразведочных работ на предприятии // Горные науки и технологии. 2020. № 5. С. 266–284. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-266-284>.

9. Молдаши Д. Н. Разработка проблемно-ориентированной системы управления сопровождением сооружения геотехнологических скважин // Программные продукты и системы. 2020. № 4. С. 689–696. DOI: 10.15827/0236-235X.132.689-696.

10. Подрезов Д. Р. Методы и модели идентификации запасов технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана // Прикаспийский журнал. Управление и высокие технологии. 2020. № 2. С. 32–43. DOI: 10.21672/2074-1707.2020.50.2.032-043.

11. Подрезов Д. Р. Моделирование показателей функционирования геотехнологических блоков и движения вскрытых запасов рудника подземного скважинного выщелачивания урана // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. № 47. С. 98–107. DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107.

12. Якунчиков Е. Н., Агафонов В. В. Оптимизация функциональных структур угольных кластеров (многофункциональных шахтосистем) // Уголь. 2018. № 9. С. 64–69. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-64-69>.

References

1. Berdaliyev B. A. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information and analytical bulletin), 2018, no. 2, pp. 208–214. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-208-214.

2. Bozhenyuk N. N. *Neftyanoye khozyaystvo* (Oil industry), 2015, no. 7, p. 72–75.

3. Vorobiyev V. S., Petrov A. N. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftnyanyh i gazovyh mestorozhdeniy* (Geology, geophysics and development of oil and gas fields), 2017, no. 12, pp. 24–32.

4. Goncharenko S. N. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologiy* (Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies), 2021, vol. 26, no. 3, pp. 71–86. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-3-71-86.

5. Goncharenko S. N. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tehnicheskiye nauki* (News of higher educational institutions. Volga Region. Technical Sciences), 2021, no. 1, pp. 46–62. DOI: 10.21685/2072-3059-2021-1-5.

6. Goncharenko S. N. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskiye nauki* (Proceedings of the Tula State University. Technical science), 2021, no. 5, pp. 184–196. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-5-184-197.

7. Kozlov V. V. Agafonov V. V. *Ugol* (Coal), 2017, no. 3, pp. 70–71. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-3-70-71>.

8. Moldashi D. N. *Gornyye nauki i tekhnologii* (Mining sciences and technologies), 2020, no. 5, pp. 266–284. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-266-284>.

9. Moldashi D. N. *Programmnye produkty i sistemy* (Software products and systems), 2020, no. 4. С. 689–696. DOI: 10.15827/0236-235X.132.689-696.

10. Podrezov D. R. *Prikaspiyskiy zhurnal. Upravleniye i vysokiye tekhnologii* (Caspian Journal. Management and High Technologies), 2020, no. 2, pp. 32–43. DOI: 10.21672/2074-1707.2020.50.2.032-043.

11. Podrezov D. R. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* (Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science), 2020, no. 47, pp. 98–107. DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107.

12. Yakunchikov Ye. N., Agafonov V. V. *Ugol* (Coal), 2018, no. 9, pp. 64–69. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-64-69>.

Информация об авторе

Information about the author

Гончаренко Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия. Область научных интересов: геоинформационные системы; геостатистический анализ; моделирование и анализ рисков; аналитический контроль качества
gsn@misis.ru

Sergey Goncharenko, doctor of engineering sciences, professor, professor of the Automated Control Systems department, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia. Scientific interests: geoinformation systems; geostatistical analysis; risk modeling and analysis; analytical quality control

Для цитирования

Гончаренко С. Н. Бенчмарк-анализ рисков недостижения проектных параметров технико-экономического обоснования отработки месторождения // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 1. С. 6–18. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-1-6-18.

Goncharenko S. Benchmark risks analysis of not fulfilling the design parameters of the technical and economic justification of the field development // Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 1, pp. 6–18. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-1-6-18.

Статья поступила в редакцию: 19.01.2022 г.

Статья принята к публикации: 24.01.2022 г.