

УДК 001.895:622.012«НГМК»

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА НАВОЙСКОМ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ



К. С. САНАКУЛОВ,
генеральный директор,
д-р техн. наук,
Государственное предприятие
Навоийский горно-металлургический
комбинат (Навои, Узбекистан)
info@ngmk.uz

Общие сведения

Навоийский горно-металлургический комбинат (НГМК) сегодня является одной из крупнейших мировых компаний по производству золота и урана, обладает развитой промышленной и социальной инфраструктурой, мощным технологическим и кадровым потенциалом.

Благодаря активной поддержке со стороны правительства и лично Президента Республики Узбекистан комбинат за годы независимости сумел закрепить за собой звание мощного промышленного гиганта, уникального государственного предприятия [1]. В соответствии с Концепцией развития комбината, предусматривается дальнейшее наращивание объемов товарной продукции за счет активизации инновационной деятельности на основе последних достижений науки, внедрения эффективных технологий и процессов в производственную практику. Непрерывный поступательный инновационный процесс требует формирования адекватного кадрового и финансового обеспечения целевых программ по приоритетным направлениям развития предприятия. Основной целью научно-технической стратегии комбината является завоевание лидирующей позиции по применению высокотехнологичных инновационных разработок в области разведки, добычи, транспортирования и комплексной переработки руд, повышение экономической эффективности производства и инвестиционной привлекательности комбината с обеспечением устойчивого социально-экономического развития [2].

Инновационной деятельности, развитию и внедрению новых технологий, импортозамещению и диверсификации производства в НГМК уделяется особое внимание [3].

Система патентования на предприятии охватывает все стадии разработки новых технологий и процессов, идущие вслед за научными исследованиями и опытно-конструкторскими работами. За последние 10 лет комбинатом получено свыше 45 патентов на изобретения и полезные модели. С этой целью в подразделениях НГМК предприняты комплексные меры по поощрению и стимули-

Дано описание производственной деятельности одного из крупнейших горных предприятий Республики Узбекистан – Навоийского ГМК. Приводятся сведения о технологии добычи и переработки золото- и ураносодержащих руд, о достижениях в области модернизации и технического перевооружения производства. Представлены реализованные проекты разработки новых месторождений, строительства горнорудных комплексов и усовершенствования технологических процессов.

Ключевые слова: Республика Узбекистан, Навоийский ГМК, показатели производства, инновационная деятельность, модернизация, техническое перевооружение, концепция, диверсификация производства.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.02.01>

рованию изобретательской деятельности, реализуются программы по развитию технического творчества молодежи, ежегодно проводятся конкурсы по номинациям «Лучший изобретатель», «Лучший молодой рационализатор» и т. д.

Сегодня комбинат располагает передовыми производственными мощностями, а также научно-технической базой для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИиОКР) по внедрению новых инновационных технологий и совершенствованию существующих. Большой объем НИиОКР для комбината выполнили АО «ВНИПИПромтехнологии», ЗАО «Интегра», ЗАО «РИВС», ОАО «Иргиредмет» (Россия), «Outotec» (Швеция), «Dobersek» (Германия). За годы независимости резко возросла роль научных учреждений Узбекистана в деятельности комбината; существенный вклад в технический прогресс на предприятии внесли ГП «НИИМР», Институт микробиологии, Ташкентский государственный технический университет, Навоийский государственный горный институт, Институт ядерной физики и другие организации.

Защита окружающей среды является одним из важнейших приоритетов деятельности комбината. Все большее внимание уделяется бережному использованию водно-энергетических ресурсов, обеспечению безопасного захоронения, переработке и утилизации отходов производства, модернизации очистных сооружений. На постоянной основе проводится экологический мониторинг хвостохранилищ, включающий комплекс полевых работ,

лабораторные методы исследований, физико-математическое моделирование, статистические методы обработки результатов. Разработаны новые способы укладки хвостов для повышения противofильтрационной и противорадиационной устойчивости и экологической безопасности гидротехнических сооружений, хвостохранилищ и подземных вод.

Золото, уран, другие драгоценные и редкоземельные металлы составляют основу, на которой строится вся жизнедеятельность комбината как промышленного предприятия, осуществляющего заверченный цикл производства от поисково-разведочных работ до получения готовой продукции. Кроме того, комбинатом разрабатываются месторождения фосфоритов, пова-

ренной соли, строительного и формовочного песка, известняка. На Навойском машиностроительном заводе выпускаются свыше 12 тыс. наименований продукции, в том числе различные станки, горношахтное и обогатительное оборудование, запасные части к нему, электроды, резинотехнические изделия, товары для фермерских хозяйств и малого бизнеса. Ниже дается характеристика новшеств, внедренных на профильных подразделениях комбината.

Золотодобывающее производство

За годы независимости Республики Узбекистан комбинатом обеспечен устойчивый рост выпуска золота. Объем переработки



руды увеличился в 3 раза. Выполнен большой объем строительно-монтажных работ по вводу в эксплуатацию новых объектов по добыче и переработке золотосодержащих руд, техническому перевооружению и модернизации производства. Внедрены новые технологии, значительно повысившие эффективность горных работ и гидрометаллургического производства.

Месторождение Мурунтау — уникальное по масштабам природное скопление золоторудной минерализации со сложными горнотехническими условиями является ведущим минеральным объектом Зарафшанского золотодобывающего комплекса. Для разработки месторождения создан самый большой на планете золотодобывающий карьер. Уже сейчас он имеет глубину 610 м,

длину 3500 м и ширину 2700 м, в 2025 г. глубина карьера достигнет 735 м, в 2035 г. — 950 м.

Высокая концентрация горных работ в карьере и значительные годовые объемы вскрыши вызвали необходимость внедрения мобильного и высокопроизводительного оборудования. Введены в эксплуатацию экскаваторы с ковшем вместимостью до 26 м³ и 220-тонные самосвалы; рабочие характеристики этой техники позволяют снизить затраты на погрузку и транспортирование горной массы.

По результатам НИР осуществлена модернизация существующего комплекса циклично-поточной технологии (ЦПТ) с демонтажем его внутрикарьерной части и строительством конвейерных линий циклично-поточной технологии на новых трассах. Построен



и введен в строй комплекс ЦПТ-руда с крутонаклонным конвейером КНК-270/3500 на северо-восточном борту карьера. При перевозках горнорудной массы автомобильным транспортом с применением этого комплекса значительно сокращено расстояние транспортирования [4–7].

Специалистами комбината разработана экономико-математическая модель, предусматривающая определение рациональной сети эксплуатационной разведки с использованием стоимостной оценки погрешностей геологоразведочной информации, межгрупповой вариации содержаний металла в блоке и стоимостных параметров промышленного использования недр.

Расчет технико-экономических показателей выполнен на основе экономической модели с учетом календарных планов горных работ и капитальных вложений по объектам строительства, при этом расчет охватывает период до 2048 г. Для проверки адекватности математической модели реальному месторождению использовались данные эксплуатационной разведки на отработанной части месторождения. В результате получена многовариантная стратегия перспективного развития золотодобывающего комплекса, базирующаяся на всестороннем анализе ситуации и сценариях ее развития, с вовлечением в отработку ряда природных и техногенных объектов исключительно открытым способом. При этом глубина карьера «Мурунтау» эффективна к отработке до глубины 1170 м при высоте бортов на отдельных участках до 1200 м; про-

стирание карьера с запада на восток увеличивается в 1,3 раза (с 3300 до 4300 м), а с севера на юг — в 1,5 раза.

Завершены усовершенствования специальных компьютерных технологий автоматизированной системы управления (АСУ) движением горнорудной техники и автотранспорта в карьерах комбината. Отличительным признаком данной системы является использование технологии космической навигации нового поколения, позволяющей с высокой точностью определять координаты движущихся или стационарных объектов. АСУ автотранспортом и горной техникой взаимодействует с системой автоматизированного проектирования горного производства, а также с автоматизированной системой управления качеством рудного потока. Информация о расположении и движении горных механизмов, количестве извлекаемой руды передается на диспетчерский пульт и выводится на сервер в виде, приемлемом для использования. В свою очередь информация о результатах работы отдельных подсистем (сортовой план, маркшейдерские данные, буровой проект и др.) передается в АСУ качеством рудного потока.

Во всех рудоуправлениях комбината внедрена информационная система «контроль ГСМ» на базе системы спутникового мониторинга транспортных средств. Основные функции системы — фиксация местонахождения транспортных средств на карте местности, скорости и направления движения, измерение расхода топлива транспортных средств. Системой в режиме реального вре-



Высокопроизводительное горное оборудование на карьере «Мурунтау». Под погрузкой — самосвал БЕЛАЗ-75307, выпущенный в честь 190-летия «Горного журнала»

мени осуществляется контроль движения транспортных средств, регистрация штатных событий и немедленное оповещение о нарушении программы поездки; также генерируются отчеты о работе автомобиля: пробег, события на борту, посещение объектов, расход топлива и т. п. В 2014 г. система в совокупности позволила комбинату значительно сократить удельную норму расхода топлива на единицу перевозимой горной массы и снизить общий его расход на 7,7 тыс. т.

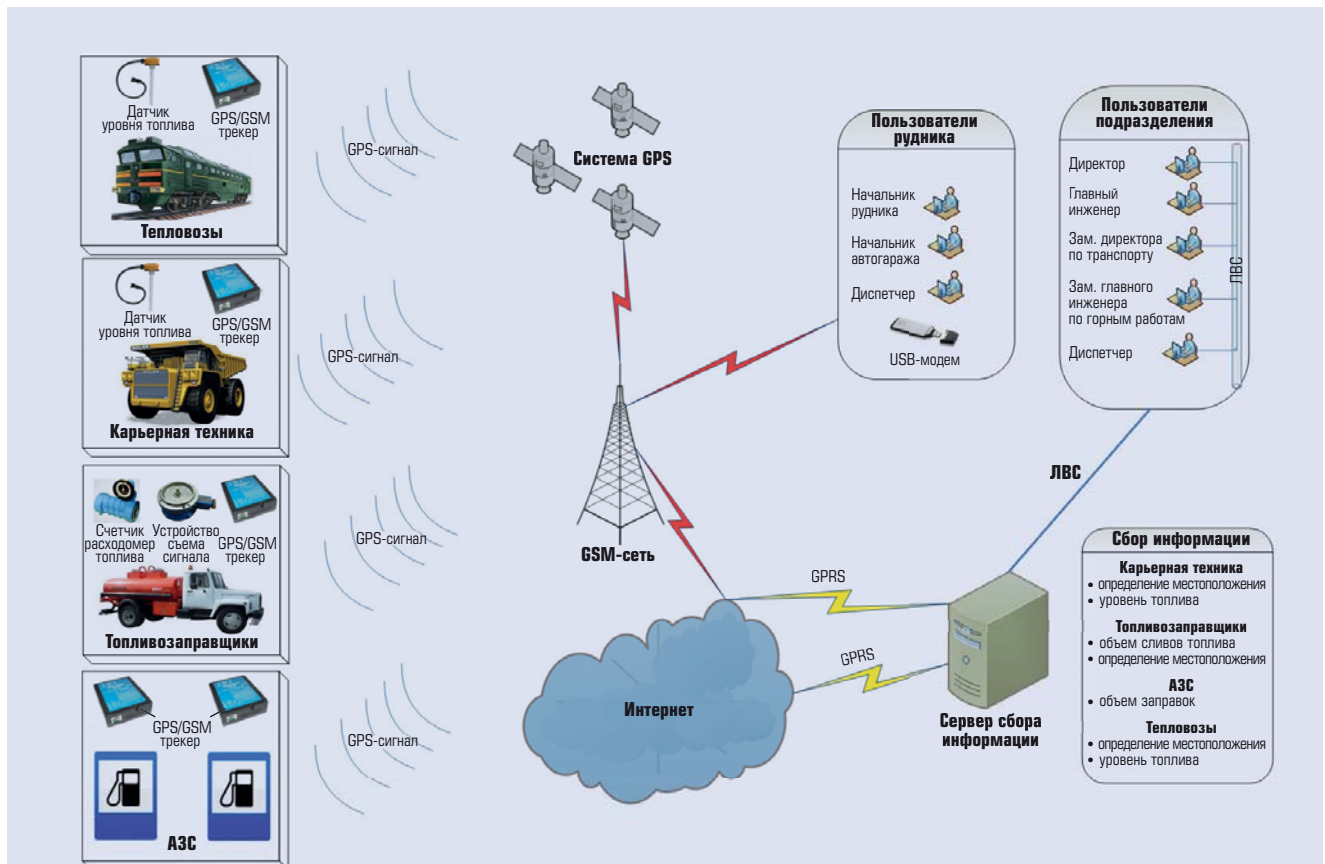
В структуре производства золота гидрометаллургический завод № 2 (ГМЗ-2) Центрального рудоуправления занимает ведущее место. На заводе осуществляется полный цикл переработки руды — от дробления исходной руды до получения готовой продукции. За счет проводимого на постоянной основе комплекса работ по техническому перевооружению и реконструкции действующих технологических переделов, а также ввода новых мощностей годовая производительность завода по переработке руды в 2015 г. значительно выросла. Внедрена технология попутного получения аффинированного серебра и палладия. Выпуск серебра за последние 6 лет увеличился в 3 раза.

В 2013 г. на существующем производстве цеха кучного выщелачивания золота параллельно запущен участок, включающий в себя узел локально-сорбционных установок с технологией осаждения золота на активированный уголь, узел десорбции и реактивации угля.

В 2008 г. в Северном рудоуправлении на объединенной сырьевой базе золоторудных месторождений Кокпатас и Даугызтау был введен в эксплуатацию горно-металлургический комплекс, осуществляющий добычу и переработку упорных мышьяковистых золотосульфидных руд. В период с 2008 по 2010 г. на ГМЗ-3, входящем в состав комплекса, были поэтапно введены в эксплуатацию две очереди крупнейшей в мире установки бактериального окисления мышьяковистого золотосульфидного флотационного концентрата [8–10].

В целях наращивания сырьевой базы месторождения Кокпатас внедрена технология предварительного рентгенометрического обогащения бедных и забалансовых руд. Технология используется непосредственно на участке добычи и включает две стадии сортировки. На I стадии поступающая горнорудная масса с карьеров проходит посамосвальную крупнопорционную сортировку. На II — осуществляется покусковая сортировка с обогащением ее до товарной руды. Использование технологии предварительного обогащения руд позволило значительно улучшить качество товарной руды, направляемой на ГМЗ-3, содержание золота в руде увеличилось примерно в два раза.

Существующая на ГМЗ-3 схема флотации дополнена операцией межцикловой флотации на сливах классификаторов, что позволило получать извлечение золота во флотоконцентрат на уровне 90 % [11]. При разработке технологии применены совре-



Информационная система «Контроль GSM» на базе спутникового мониторинга транспортных средств

менные реагенты-модификаторы, способствующие стабилизации ионного состава флотируемой пульпы, и собиратели направленного действия на флотацию золота. Планомерный ввод в строй новых перерабатывающих мощностей и постоянная работа над совершенствованием технологии позволили увеличить годовую производительность завода по переработке руды более чем в 5 раз, выпуск золота вырос более чем в 4 раза.

Начатое в Южном рудоуправлении в 2009 г. строительство второго этапа горнорудного комплекса на базе месторождения Зармитанской золоторудной зоны позволило уже в III квартале 2010 г. ввести в эксплуатацию ГМЗ-4 (это второй гидрометаллургический завод, построенный в республике за годы независимости). В 2013 г. завод вышел на полную производственную мощность. Переработка руды на ГМЗ-4 осуществляется с использованием ранее не применявшихся в НГМК технологий ускоренной гравитации и интенсивного выщелачивания золотосодержащего концентрата с последующей сорбцией хвостов гравитации.

Учитывая достаточные запасы золотосульфидных руд на карьерах месторождения Марджанбулак, с целью вовлечения их в переработку, с июня 2012 г. введена в эксплуатацию технологическая линия по переработке упорных золотосульфидных руд. Таким образом, в Южном рудоуправлении за последние 7 лет ежегодное производство золота выросло в 7 раз.

В настоящее время разрабатываются концептуальные и технические решения вовлечения в отработку малых по запасам разведанных месторождений золота в зоне 30 км от базовых перерабатывающих центров.

Анализ разведанных запасов свидетельствуют о том, что доля упорных золотосульфидных руд в будущем будет преобладать. Наличие в рудах, наряду с сульфидными минералами, углистых веществ (органического углерода), которые покрывают (экранируют) сульфиды, представляет повышенную трудность для переработки. Специалисты комбината совместно с институтами Германии, Финляндии, Швеции, Узбекистана и России проводят научные исследования на разрушение плотной механической структуры и вскрытие золота. Проводятся опытно-промышленные испытания, направленные на повышение степени извлечения золота из упорных сульфидных золотомышьяковистых руд, содержащих углистые вещества.

Специалисты комбината адаптировали ацидофильную ассоциацию микроорганизмов, применяемых в процессе биовыщелачивания золотосульфидных концентратов [12]. Создана эффективная питательная среда для культивирования микроорганизмов, включающая в себя фосфор, калий и азот. В качестве фосфор- и азотсодержащего компонента питательной среды используется аммофос, производимый в Узбекистане.

На ГМЗ-2 и ГМЗ-3 разработана и внедрена технология извлечения золота из прудковых вод хвостохранилища.

Урановое производство

Начиная с 1994 г. вся добыча урана в НГМК ведется способом подземного выщелачивания (ПВ). Данная технология позво-

лила увеличить сырьевую базу за счет вовлечения в отработку запасов бедных руд месторождений песчаникового типа, залегающих в Кызылкумском регионе, переработка которых ранее считалась нерентабельной [13, 14]. В соответствии с требованиями времени Навоийский ГМК проводит политику технического перевооружения, направленную на повышение качества производимой продукции и снижение затрат.

За годы независимости Республики Узбекистан проделана огромная работа по расширению добычных мощностей комбината и вводу в отработку новых перспективных месторождений. Развитие уранового производства НГМК продвигается с учетом востребованности всего спектра необходимых товарно-материальных ценностей. В настоящее время действуют шесть рудников ПВ, в отработку вовлечены запасы девяти месторождений. Получаемый на рудниках урансодержащий продукт подвергается окончательной переработке на ГМЗ-1.

Программой развития НГМК до 2020 г. предусмотрен рост уранового производства. Основой темпов роста добычи является ввод в эксплуатацию месторождений со сложным вещественным составом и большой глубиной залегания рудного горизонта, что требует особого подхода к сооружению скважин и ведению технологического процесса добычи урана.


Проводятся научно-изыскательские работы, связанные с очисткой от кольматантов и интенсификацией процессов выщелачивания воздействием полем упругих колебаний, взрывом небольших зарядов взрывчатого вещества, реверсией скважин, химической обработкой закольматированной зоны, и т. д.

В процессах обогащения, сорбции и десорбции урана отрицательную роль играют депрессирующие примеси. В их качестве выступают анионы, хорошо сорбируемые анионитами и конкурирующие с извлекаемыми комплексами урана. К анионам такого рода относятся сульфат- и бисульфат-ионы, нитрат, хлорид, фторид и фосфат-ионы. В первую очередь надо было найти способ очистки от фосфорсодержащих примесей, присутствующих в исходных продуктивных растворах подземного выщелачивания. Определены оптимальные варианты отмывки насыщенного сорбента от фосфора. Внедрена технология очистки урана от фосфат-ионов.

Заключение

Государственное предприятие — Навоийский горно-металлургический комбинат сегодня является одной из крупнейших мировых компаний по производству золота и урана, обладает развитой промышленной и социальной структурой, мощным технологическим и кадровым потенциалом. Рассчитанная на многие годы производственная деятельность комбината направлена на обеспечение устойчивого экономического роста и социальной стабильности Республики Узбекистан путем дальнейшего повышения эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов, увеличения объемов выпускаемой высоколиквидной продукции и диверсификации производства.

Библиографический список

1. Каримов И. А. Узбекистан на пороге XXI века: угрозы безопасности, условия и гарантии прогресса. — М.: Дрофа, 1997. — 315 с.
2. Кадыров А. А., Санакулов К. С., Бибики И. П. Концептуальные основы стратегии инновационного развития Кызылкумского региона. — Ташкент: Издательство «Узбекистан», 2013. — 400 с.
3. Снитка Н. П., Мадаминов Ш. А. Управление инновационными процессами на НГМК // Горный журнал. 2013. № 8(1). С. 9–12.
4. Ракишев Б. Р. Классификация систем разработки и технологических комплексов открытых горных работ // Горный вестник Узбекистана. 2015. № 1(60). С. 3–5.
5. Мальгин О. Н., Ларионов Е. Д., Шелепов В. И. Проектирование, конструктивные и технологические особенности комплекса ЦПТ-руда с крутонаклонным конвейерным подъемником // Горный журнал. 2013. № 8(1). С. 49–53.
6. Патент № FAP 00989 от 21.01.2015. Устройство для транспортирования скальной горной массы из карьера.
7. Stanic Z., Dos Santos J. A. Pit Crushing and High Angle Conveying at Copper Mine Majdanpek // Bulk Solids Handling. 1997. Vol. 17. No. 1. P. 83.
8. Санакулов К. С., Сагдиева М. Г. Биогидрометаллургия в Республике Узбекистан: состояние, проблемы и перспектива развития руд // Горный вестник Узбекистана. 2015. № 1(60). С. 3–5.
9. Patent WO 1998007892 A1. Method and apparatus for biocatalyzed anaerobic oxidation of metal sulfides / Hunter R. M., Stewart F. M.; Publ.: February 26, 1998.
10. Hoffman W., Katsikaros N., Davis G. Design of a reactor bioleach process for refractory gold treatment. FEMS Microbiology Reviews. 1994. Vol. 21. P. 221–230.
11. Санакулов К. С., Эргашев У. А., Ахатов Н. А. Усовершенствование технологии сорбционного цианирования продукта биоокисления ГМЗ-3 // Горный вестник Узбекистана. 2012. № 3(50). С. 36–40.
12. Мустакимов О. М., Мавжудова А. М., Черкасова Г. В., Сагдиева М. Г. Подбор оптимальных питательных сред для биоокисления флотационного концентрата // Горный вестник Узбекистана. 2012. № 4(51). С. 58–61.
13. Мамиллов В. А., Петров Р. П. и др. Добыча урана методом подземного выщелачивания. — М.: Атомиздат, 1980. С. 155–158.
14. Patent WO 2004081241 A. Improved heap leach / Williams T. L., Hunger C. J.; Publ.: September 23, 2004. 

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 2, pp. 5–11
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.02.01>

Major trends in the innovative development of Navoi Mining and Metallurgy Company

Information about author

K. S. Sanakulov¹, Chief Executive Officer, Doctor of Engineering Sciences, info@ngmk.uz

¹ State Company Navoi Mining and Metallurgy Combine, Navoi, Uzbekistan

Abstract

In spotlight of the article are the innovative activities at Uzbekistan's largest governmental company – Navoi Mining and Metallurgy Company. The Company's main products are gold, uranium, and other noble and rare earth metals. The Company also produces phosphates, common salt, mortar and molding sand, limestone, and manufacturers and exports metal-working machines.

For the period of independence of the Republic of Uzbekistan, the company has ensured sustainable gold production. Large amount of work on construction and assembling during introduction of new gold ore extraction and concentration facilities in operation, and in technical upgrading and reequipment of the production has been accomplished. New technologies introduced have considerably enhanced performance of mining and hydrometallurgical processes. A key mineral project of the Company is Muruntau deposit. The deposit is under development by the world's biggest open pit mine that is already 610 m deep; its ultimate depth will be 1170 m. The open pit mine operates heavy-duty electrical and hydraulic excavators with bucket capacity of 26 m³ and dump trucks with capacity of 220 t. The standard design crushing-and-conveying system for overburden haulage is modernized. It is added by newly built and commissioned high-angle conveying system for ore haulage, which greatly reduces transportation costs. The open pit mine has adopted automated control over operating equipment.

Since 1994 the Company produces uranium using the method of underground leaching, there are 6 operating open pit uranium mines all in all. The studies aimed to improve techniques of removal of admixtures from pregnant solutions in order to intensify leaching are in process.

Many innovations have been implemented in processing and metallurgical circuits of the Company, which is also described in the article.

Keywords: Republic of Uzbekistan, Navoi Mining and Metallurgical Company, production performance, innovation activities, modernization, technical upgrading, concept, production diversification.

References

1. Karimov I. A. *Uzbekistan na poroge XXI veka: ugrozy bezopasnosti, usloviya i garantii progressa* (Uzbekistan on the threshold of the XXI century: security threats, conditions and guarantees of the progress). Moscow : Drofa, 1997. 315 p.

2. Kadyrov A. A., Sanakulov K. S., Bibik I. P. *Kontseptualnye osnovy strategii innovatsionnoy razvitiya Kyzylkumskogo regiona* (Conceptual basis of innovation development strategy in Kyzylkum region). Tashkent : Publishing House «Uzbekistan», 2013. 400 p.

3. Snitka N. P., Madaminov Sh. A. *Upravlenie innovatsionnymi protsessami na Navoiyskom gorno-metallurgicheskom kombinat* (Innovation processes control at Navoi Mining and Metallurgical Combine). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2013. No. 8(1). pp. 9–12.

4. Rakishev B. R. *Klassifikatsiya sistem razrabotki i tekhnologicheskikh kompleksov otkrytykh gornyx rabot* (Classification of development systems and technological complexes of open-cast mining). *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining bulletin of Uzbekistan*. 2015. No. 1(60). pp. 3–5.

5. Malgin O. N., Larionov E. D., Shelepov V. I. *Proektirovanie, konstruktivnye i tekhnologicheskie osobennosti kompleksa TsPT-ruda s krutonaclonnyim konveyernym podemnikom* (Designing, structural and technological peculiarities of complex of conveyor ore transportation with high-angle conveyor elevator). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2013. No. 8(1). pp. 49–53.

6. Shelepov V. I., Malgin O. N., Larionov E. D. et al. *Ustroystvo dlya transportirovaniya skalnoy gornoy massy iz karera* (Equipment for rock mass transportation from open pit). Patent FAP 00989. 2015. Bulletin No. 2.

7. Stanic Z., Dos Santos J. A. *Pit Crushing and High Angle Conveying at Copper Mine Majdanpek*. Bulk Solids Handling. 1997. Vol. 17. No. 1. p. 83.

8. Sanakulov K. S., Sagdieva M. G. *Biogidrometallurgiya v Respublike Uzbekistan: sostoyanie, problemy i perspektiva razvitiya rud* (Biogidrometallurgy in the Republic of Uzbekistan: state, problems and prospects of ore development). *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining bulletin of Uzbekistan*. 2015. No. 1(60). pp. 3–5.

9. Hunter R. M., Stewart F. M. *Method and apparatus for biocatalyzed anaerobic oxidation of metal sulfides*. Patent WO1998007892 A1. Published: February 26, 1998.

10. Hoffman W., Katsikaros N., Davis G. *Design of a reactor bioleach process for refractory gold treatment*. FEMS Microbiology Reviews. 1994. Vol. 21. pp. 221–230.

11. Sanakulov K. S., Ergashev U. A., Akhatov N. A. *Usovershenstvovanie tekhnologii sorbtionnogo tsianirovaniya produkta biokisleniya Gidrometallurgicheskogo Zavoda No. 3* (Improvement of the technology of sorption cyanidation of biooxidation product at the Hydrometallurgical Plant No. 3). *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining bulletin of Uzbekistan*. 2012. No. 3(50). pp. 36–40.

12. Mustakimov O. M., Mavzhudova A. M., Cherkasova G. V., Sagdieva M. G. *Podbor optimalnykh pitatelnykh sred dlya biokisleniya flotatsionnogo kontsentrata* (Choice of optimal nutrient medium for the biooxidation of flotation concentrate). *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining bulletin of Uzbekistan*. 2012. No. 4(51). pp. 58–61.

13. Mamilov V. A., Petrov R. P. et al. *Dobycha urana metodom podzemnogo vysshchelachivaniya* (Uranium mining by underground leaching method). Moscow : Atomizdat, 1980. pp. 155–158.

14. Williams T. L., Hunger C. J. *Improved heap leach*. Patent WO2004081241 A1. Applied: February 24, 2004. Published: September 23, 2004.