

Practical implications. Optimum installation parameters of bolts are allowed to provide keeping of operating characteristics for the excavation working located in the fractured rock massif over the whole time interval of its maintenance.

Key words: *crack formation, coal face, FEM, rock pressure, rock massif, rope bolts.*

УДК 622.831.24

© О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко, В.И. Ляшенко

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИНЦИПОВ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

© O. Khomenko, M. Kononenko, V. Lyashenko

EVOLUTION OF PRINCIPLES OF MINE WORKINGS SUPPORTING

Выполнен анализ результатов исследований по проведению, креплению и поддержанию подземных выработок, которые выполнялись в научно-исследовательских, проектно-конструкторских и высших учебных заведений Украины. Выявлены широко используемые и новые научно-производственные принципы, используемые при поддержании подземных выработок. Систематизированы установленные принципы по учреждениям, исследователям, годам создания и закладываемым сущностям.

Виконано аналіз результатів досліджень з проведення, кріплення і підтримання підземних виробок, які виконувалися в науково-дослідних, проектно-конструкторських та вищих навчальних закладах України. Виявлено широко використані та нові науково-виробничі принципи, які використані при підтриманні підземних виробок. Систематизовані встановлені принципи за установами, дослідниками, роками створення та вкладеного змісту.

Введение. Разработкой, апробированием и внедрением в производство эффективных технологических схем проведения, крепления и поддержания подземных выработок занимается ряд научно-исследовательских, проектно-конструкторских и высших учебных заведений Украины. Выполнение фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ в Украине осуществляет Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр), Научно-исследовательский горно-рудный институт Государственного ВУЗа «Криворожский национальный университет» и Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии» Министерства энергетики и угольной промышленности Украины (г. Желтые Воды). Кроме указанных НИИ подобные работы выполняют Государственный ВУЗ «Криворожский национальный университет» и Националь-

ный ТУ «Днепровская политехника» (г. Днепр) Министерства образования и науки Украины.

Исследуемым вопросам посвящены работы А.Ф. Булата, А.Н. Зорина, В.В. Виноградова, Т.А. Паламарчук в ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины; М.М. Протодьяконова, А.Н. Динника, А.В. Савостьянова, С.Г. Борисенко, А.И. Зильбермана, В.И. Бондаренко, П.И. Пономаренко, Г.А. Симановича, Л.Н. Ширина, В.И. Бузило, И.А. Ковалевской, В.Я. Кириченко, Ю.М. Халимендика – в Национальный ТУ «Днепровская политехника»; Г.М. Малахова, Ю.П. Капленко, В.Ф. Лавриненко, Б.Н. Андреева, Е.И. Логачева, В.А. Калиниченко – в Государственном ВУЗе «КНУ»; А.Г. Каткова, И.С. Зицера, В.С. Нигматуллина, В.П. Волощенко, В.В. Цариковского, Г.К. Хижняка, А.П. Григорьева, В.Д. Запорожца, В.И. Никонца – в НИГРИ Государственного ВУЗа «КНУ»; Ю.И. Кошика, В.И. Ляшенко – в ГП«УкрНИПИИПромтехнологии».

Основная часть. Анализ существующих принципов поддержания подземных выработок, используемых в:

- ИГТМ имени Н.С. Полякова;

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины остается единственным в Украине академическим учреждением горного профиля, основным направлением деятельности которого является геомеханика и геотехника освоения и сохранения недр. В начале 90-х гг. XX столетия ученые А.Н. Зорин, Ю.М. Халимендик, В.Г. Колесников, в результате обобщения результатов фундаментальных исследований и открытий в различных аспектах горной науки сделали вывод, что на больших глубинах в приконтурной области выработки образуются кольцеобразные чередующиеся зоны разрушенных, сильно нарушенных и раздробленных пород. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг выработок установлено по результатам электро- и радиометрических замеров, ультразвуковым просвечиванием и визуальными наблюдениями, которые подтвердили наличие нескольких последовательно расположенных друг за другом зон, характеризующихся различным напряженно-деформированным состоянием. При относительной нагрузке, равной $(1,0 - 1,2)\gamma H/R_{сж}$, в глубине массива возникает одна зона сильно раздробленных пород, а при повышенной нагрузке до $(2,0 - 2,7)\gamma H/R_{сж}$ – две зоны [1].

В 2002 г. А.Ф. Булатом и В.В. Виноградовым в рамках программы «Анкер» проведены работы по исследованию опорного крепления анкерами высокой несущей способности с основами технологии проектирования, сооружения, приемки и мониторинга горных выработок. В результате установки системы анкеров с высокой несущей способностью по периметру выработки образуется опорно-анкерное перекрытие арочной формы, которое препятствует формированию приконтурной зоны самопроизвольного разрушения массива. Армированное анкерами перекрытие накрывают «искусственным высокопрочным монолитом» большую часть непосредственной кровли выработки, а используемый принцип поддержания это *противодействие* анкерной крепи разрушению массива [2].

В 2002 г. Т.А. Паламарчук разработала теоретические основы геофизического контроля и прогнозной диагностики состояния геомеханических систем с учетом их структурной неоднородности и синергетических процессов. На основе исследований геомеханических процессов в окрестности горных выработок обоснован механизм возникновения синергетических эффектов, которые происходят в результате воздействия горно-геологических и техногенных факторов как переход массива из одного квазистационарного равновесного состояния в другое. Геомеханические процессы, сопровождающие этот переход, носят волновой затухающий характер. Наиболее вероятное направление высвобождения внутренней энергии определялось с помощью фазового подхода, позволяющего по акустическим параметрам среды, ее плотности и изменению фазы упругих волн оценивать разность действующих в массиве компонент напряжений в соответствии с принципом *противодействия* [3].

В 2005 г. А.Ф. Булат и В.И. Дырда представили основы теории фракталов и ее приложение в геомеханике. При рассмотрении разных подходов к построению моделей разрушения, которые позволяют объяснить степенной закон распределения по размерам, мультифрактальность распределения трещин и других дефектов, получают качественно подобные результаты, отражающие связь фрактальности с автомодельностью. Установлено, что величина фрактальной размерности поверхности образующихся трещин служит критерием стадии разрушения. Она близка к трем при объемном образовании дефектов в начальной стадии разрушения и приближается к двум по мере образования микротрещин и окончательного разрушения твердого тела. Использование этой закономерности может служить основой для разработки диагностических критериев разрушения массива [4].

Начиная с 2004 г. Ю.М. Халимендиком выполнен значительный объем работ по исследованию состояния вмещающего массива пород и устойчивости горных выработок, при котором был обоснован выбор параметров канатной анкерной крепи со своевременным закреплением вероятных зон нарушенных пород кровли к устойчивой части массива. Анализ вертикальных деформаций толщи породы из-за перемещающегося опорного давления указывает на наличие двух участков сжатия и растяжения. Максимальные деформации растяжения сосредоточены в интервале 1 – 2 м, сжатия – в интервале 8 – 10 м. Точка смены знака деформаций по всем сериям наблюдений зафиксирована на высоте 7 м. Границу между зонами растяжения и сжатия можно принять за нейтральную ось и считать ее благоприятной для закрепления канатных анкеров. Для оценки влияния очистных работ установлена зависимость ширины зоны техногенных трещин L от глубины ведения горных работ H $L = 0,03H + 1,8$, м [17].

- Национальном ТУ «Днепровская политехника»;

В Национальном техническом университете «Днепровская политехника» Министерства образования и науки Украины выполняет научные исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники в Украине. С 1970 г. под руководством С.Г. Борисенко установлено, что способ поддержания налегающих пород не оказывает существенного влияния на напряженно-

деформированное состояние потолочин. Авторы объясняют это *уравновешиванием* повышающих (давление массива сухой закладки) и понижающих (поддержание пород висячего бока) факторов влияния на уровень напряженности потолочин. Установлено также, что применение технологии с обрушением налегающей толщи пород вслед за очистными работами приводит к снижению тангенциальных напряжений в потолочинах и висячем боку очистных камер в 1,5 – 2,0 раза [6].

В 70-х гг. XX столетия исследователи А.И. Зильберман, Ю.Н. Бабец, В.И. Бондаренко, П.И. Пономаренко, Л.В. Новикова и другие выполняли комплексные исследования по совершенствованию технологии разработки марганцевых руд с креплением сопряжений штреков с лавами механизированных комплексов типа ОКП. Ограничивающим фактором является величина раздвижки секций крепи комплекса ОКП, при котором форма зон неупругих деформаций, формирующихся вокруг штреков, изменяется от эллиптической до трапециевидной. Это позволило разработать и применить патроны постоянного сопротивления, которые способны *противодействовать* нагружению до 180 – 250 кН за счет истекания парафина через отверстия [7].

В 1989 г. В.И. Бондаренко теоретически установил и экспериментально подтвердил закономерности процессов формирования закрепленных зон плавучих пород вокруг горных выработок при электрохимическом, физико-химическом, термохимическом воздействии на них в зависимости от состава, состояния пород и технологических режимов закрепления. Установлены зависимости изменения размеров защитного слоя от прочностных свойств закрепленных пород, характеристики процесса электрохимического закрепления пород в управляемом режиме и зон сдвижения пород надрудной толщи, которые *противодействуют* прорыву плывуна в подготовительную выработку [8].

В 1991 г. П.И. Пономаренко создал теоретические основы заложения капитальных выработок относительно марганцеворудного пласта с учетом структурно-механической неоднородности, а именно путем моделирования совместного деформирования бетонного крепления и глинистой породы, которое приводит к снижению сжимающих радиальных и тангенциальных напряжений во внутреннем породном контуре в 2 – 2,5 раза. Обоснованы и разработаны конструкции штрековых крепей, отличающиеся различной несущей способностью и режимами нагружения вне и в зоне влияния очистных работ. Разработана инструктивная методика определения плотности установки крепи усиления на основе новых способов проведения, охраны и крепления горных выработок, разгружающих контур выработки компенсационными полостями по принципу *противодействия* нагрузок на крепь [9].

В 1992 году Г.А. Симанович установил закономерности влияния регулируемой деформационно-силовой характеристики на параметры состояния массива в окрестности горной выработки, и на этой основе созданы методы управления режимами взаимодействия системы «массив – крепь» по принципу *противодействия*. Система характеризуется тем, что часть объема породного массива в зоне упругих деформаций выводится из предельного равновесия достаточно малыми

воздействиями и при потере устойчивости существенно изменяет величину и характер распределения нагрузки на крепь. В условиях устойчивого предельного состояния части объема пород в зоне неупругих деформаций образуется свод предельного равновесия, на размеры и форму которого оказывают значительное влияние величина и характер распределения реакции крепи по контуру выработки [10].

В 1994 г. Л.Н. Ширин на основе анализа трехмерного напряженного состояния массива горных пород очистной выработки и исследования совместного деформирования системы «взрываемаый забой – механизированная пневматическая крепь – боковые породы» установил, что рациональные режимы взаимодействия крепи с нарушенными взрывом боковыми породами создают эластичные пневмосиловые модули, обеспечивающие щадящий контакт и сейсмозрывоустойчивость конструкции. Получена аналитическая зависимость радиуса зон разрушенных пород в призабойной части очистной выработки от глубины разработки, угла падения рудного тела, шага установки и отпора пневматической крепи, которые работают по принципу *противодействия* [11].

В 1997 г. В.И. Бузило, опираясь на исследованные размеры областей предельного напряженного состояния пород, предложил рациональную схему проведения выработки-станции метро между двух тоннелей, закрепленных анкерно-пневматическим креплением. Определены параметры *противодействия* пневматического крепления (0,01 – 0,3 МПа) и участки выработок наибольшей загруженности для условий станций Киевского и Санкт-Петербургского метрополитенов. Разработана конструкция и параметры установки анкерно-пневматического крепления кровли и забоя выработки в слабых породах и техническая документация для создания агрегата АМШ с пневматическим креплением и опалубкой для различных сооружений [12].

В 2004 г. И.А. Ковалевская установила закономерности влияния пространственной неоднородности геометрических, механических и силовых параметров подсистемы «упрочненные породы – крепь» на ее напряженно-деформированное состояние. Алгоритм оптимизации режимов взаимодействия системы «массив – упрочненные породы – крепь» учитывает пространственный характер периодических изменений ее геометрических, механических и силовых параметров. Обоснованы параметры активного *противодействия* комбинированных крепей и твердеющих смесей, обеспечивающие их равнопрочность и максимально возможную пространственную адаптацию к характеру проявлений горного давления. Это снизило затраты на крепление и поддержание 1 м выработок на 30% и повысило безопасные условия труда [13].

В 2012 г. В.Я. Кириченко обосновал требования к параметрам рабочих характеристик арочных крепей, предельной несущей способности и ее рабочего сопротивления (*противодействия*), которое было повышено более чем в 2 раза. Необходимая конструктивная податливость определяется значениями допустимых смещений пород, обеспечивающих эксплуатационное состояние выработки. Установлено, что вслед за волнообразным изменением напряженного состояния пород в упругом режиме деформации на удалении порядка 0,5 длины лавы

наблюдается явление образования перемещающихся нарушенных зон, сопровождающееся периодическим расщеплением и смыканием породной толщи на структурные блочно-слоистые элементы с выделением сжато-разуплотненных зон. С приближением к очистному забою протяженность этих зон снижается, а степень разрушения увеличивается. Устойчивость выработок достигается соответствующим усилением крепи за счет резервирования запаса прочности [31].

- Государственном ВУЗе «КНУ»;

Исследователи Государственного ВУЗа «Криворожский национальный университет» выполняют научные работы по актуальным направлениям развития экономики Украины: усовершенствование технологии добычи руд подземным и открытым способами и др. Начиная с середины 50-х гг. XX столетия вопросами установления целесообразной последовательности отработки залежей в шахтных полях занимались Г.М. Малахов, В.Ф. Лавриненко, И.А. Кучерявенко и др. Авторами производился учет влияния выработанного пространства при создании новых технологических схем отработки запасов железных руд Криворожского бассейна, сосредоточенных в сближенных залежах. Применение камерных систем разработки рекомендовано при отсутствии обрушений (*уравновешивании*) пород висячего бока до земной поверхности. При наличии обрушения отработку залежей параллельного простирания следует осуществлять системами подэтажного обрушения руды и налегающих пород. При мощности промежуточных толщ менее 35 м очистные работы рекомендовано вести системами подэтажного обрушения с опережением по залежи параллельного простирания, равным половине высоты этажа.

Следующим этапом совершенствования технологии является установление рациональной последовательности отработки залежей по простиранию пород в пределах отрабатываемого этажа, раскрытой в работах Г.М. Малахова, Г.Т. Фаустова, П.А. Абашина, И.И. Золотарева, Н.И. Старикова и др. Анализ результатов исследований показал, что первоочередную отработку залежей основного простирания следует производить на участках под породными перемычками со стороны висячего бока. Являясь естественными целиками, они снижают уровень напряженности пород прилегающих камер путем *уравновешивания* нагрузки и способствуют увеличению их размеров. Также наиболее приемлемым, с точки зрения геомеханики, является проведение горных работ от центра шахтного поля к его флангам, а по падению месторождения – от висячего бока к лежащему [15].

Проведенные Ю.П. Капленко в 1970 – 80 гг. исследования по управлению напряженным состоянием горных пород и параметрами отбойки, раскрыли тесную взаимосвязь между динамическими напряжениями взрывной волны, и статическими, действующими в массиве на момент взрыва. Сопутствующее взрыву обрушение массива, выше линии расположения скважин, исследовалось при отбойке руды на шахте «Им. Кирова», которые показали снижение удельного расхода взрывчатых веществ до 70 г/т при отбойке массива руды горизонтальными слоями. Вертикальное расположение скважин на шахте «Октябрьская»

также сопровождалось снижением сопротивления отрыву, которое происходило за счет *содействия* горного давления отбиваемым слоям руды [16].

Детальные исследования напряженно-деформированного состояния массива вмещающих пород и влияние его на конструктивные элементы камерных систем разработки с середины 70-х гг. XX столетия проводились В.Ф. Лавриненко и В.И. Лысак. Изучено изменение параметров, характеризующих напряженность массива в зоне разгрузки, окружающей очистные камеры с увеличением глубины горных работ. Разработанная методика по определению параметров конструктивных элементов камерных систем разработки учитывает основные и дополнительные напряжения, возникающие в породах вокруг очистных камер, которые *уравновешиваются* в массиве руды междукамерных целиков и потолочин. Влияние очистного пространства рассматривалось как основное напряжение, создаваемое весом подработанных пород, а выработанного пространства – как дополнительное напряжение от веса обрушенных пород [17].

В 2006 г. Б.Н. Андреев выполнил обоснование технологии и параметров взрывной отбойки при подземной добыче руд в условиях техногенеза недр. Определены технологические параметры отбойки слоев руды скважинными зарядами, соответствующие оптимальным значениям требуемого уровня их насыщения энергией взрыва. При этом установлено, что минимизация затрат энергии взрыва обеспечивается при их толщине, составляющей 35 – 38% глубины зоны разгрузки в приконтурном массиве очистной камеры. С учетом этого разработана методика расчета параметров буровзрывных работ, основанная на дискретизации энергетического поля взрыва и позволяющая устанавливать оптимальный уровень затрат энергии взрыва на отбойку каждого слоя руды. Используемый принцип *содействия* обеспечивает снижение расхода взрывчатого вещества и объемов глубокого бурения до 25% [18].

В 2006 г. Е.И. Логачев разработал технологию подземной отработки залежей сопутствующего минерального сырья в условиях сближенного залегания с железными рудами Криворожского бассейна. Доказано, что для обеспечения плановых потерь руды в блоке необходимо формировать дополнительные выпускные выработки, пересекающие плоскость лежачего бока и удаленные друг от друга по падению на 5 – 7 м в зависимости от физико-механических свойств обрушенной руды, высоты столба сыпучей среды над ними и угла падения залежи. Разработаны конструкции систем разработки, позволяющие вести отработку залежей сопутствующего минерального сырья в условиях локализации смещения вышележащих горных пород в проектных границах зон сдвижения и обрушения, сформированных при извлечении запасов железных руд [19].

В 2008 г. В.А. Калиниченко разработал единый концептуальный подход, основанный на принципах обоснования параметров выпуска обрушенной руды на контакте с массивами пустых пород и твердеющей закладки. Установлено, что при куполообразной кровле «пионер-камер» лежачего бока область распространения и абсолютная величина растягивающих напряжений в потолочине уменьшается с увеличением кривизны купола и увеличением угла наклона

плоскости потолочины. При формировании криволинейной боковой поверхности искусственного массива закладки наблюдается снижение величины растягивающих напряжений или их полное отсутствие по принципу *уравновешивания* напряжений с формой обнажения. Технология выпуска отбитой руды на контакте с уплотненными взрывом пустыми породами и одновременным взрывным формированием бокового контакта «руда-порода» в форме, приближенной к форме образующей эллипсоид выпуска отбитой руды, обеспечивает улучшение качества добываемой руды на 0,9% за счет снижения степени разубоживания [20].

- НИГРИ Государственного ВУЗа «КНУ»;

Научно-исследовательский горнорудный институт Государственного ВУЗа «Криворожский национальный университет» с 1993 г. является главным по добыче всех видов горнорудного сырья в Украине. Условия залегания рудных тел на глубине более 1000 м, характеризующиеся уникальным разнообразием физико-механических свойств руд и вмещающих пород, обусловили проявление всех форм горного давления. Под руководством А.Г. Каткова в 1984 г. велись исследования в двух направлениях – применение новых видов крепи и совершенствование схем подготовки блоков. Ежегодно на шахтах юга Кривбасса выводилось из строя до 900 тыс. т подготовленных к отработке запасов. Для вовлечения их в очистные работы требовалось перекреплять 3,0 – 4,0 тыс. м или вновь проходить порядка 2,0 – 3,0 тыс. м поэтажных выработок. Развитие заколообразования во времени увеличило опасность травматизма. Возникла необходимость приближения крепей к забою выработок на расстоянии менее 3 м после взрыва и порядка 1,0 – 1,5 м до взрыва. В свою очередь это привело к возрастанию динамических нагрузок взрыва на крепи и снижению сроков их службы [21].

Выполненный прогноз И.С. Зицером, Е.П. Чистяковым, В.Т. Бескровным и А.Д. Беланом в 1986 г. показал бесперспективность широкого применения рамных металлических податливых крепей. Альтернативой были предложены крепи упрочняющего типа анкерные, армирующие и вовлекающие в работу при контурный массив, *противодействуя* его разрушению. Высокий уровень напряженного состояния ненарушенного массива на глубинах 1000 – 1500 м не исключает проявления смещений породного контура, закрепленного анкерной крепью, и развития заколообразования во времени. После затухания смещений в долгосрочных выработках наносился набрызг-бетон. При этом средние скорости проведения выработок на ЧАО «ЗЖРК» превышают 100 м в месяц с применением современного самоходного оборудования, отставание крепи от забоя достигает 10 м – установка анкером, до 20 – 40 м – навеска сетки и набрызг-бетон [22].

Начиная с первого этапа исследований и освоения технологии отработки Южно-Белозерского месторождения, которые были начаты еще в 60-е годы прошлого столетия В.К. Шендриком, когда параметры камер были увеличены с 15 до 30 м по ширине, с 40 до 100 – 140 м по высоте при 60 м длины. Сегодня отработка месторождения осуществляется сдвоенными этажами высотой более

100 м, что позволило снизить объем работ по подготовке днищ камер в 2,5 раза и в 2 раза снизить количество ортов-заездов. С увеличением глубины работ до 480 м, начиная с 80-х годов прошлого столетия, исследования В.С. Нигматуллина были направлены на корректировку методов расчета параметров камер и размеров зон их влияния по принципу *уравновешивания* [23].

Принятые по аналогии с традиционными технологиями отработки месторождений системами с обрушением налегающих пород методы экстраполяции зависимостей расчетных параметров с увеличением глубины работ на практике отработки Южно-Белозерского месторождения с закладкой выработанного пространства не подтвердились. В процессе формирования закладки как горного массива выделяются стадии набора прочности и изменения деформационных характеристик. На основе шахтных исследований в 2000 – 2006 годах в методику расчета параметров зон неупругих деформаций и влияния камер были внесены дополнения, которые позволили принимать более устойчивые и *уравновешенные* геометрические параметры камер до горизонта 940 м. Благодаря разработкам В.П. Волощенко В.К. Шендрика, А.Н. Малого, Е.П. Чистякова, В.М. Статкевича, Л.Г. Настобурко, Г.Д. Корнева технологии успешно достигли рентабельности порядка 30% [24].

Применительно к камерным системам разработки в начале 90-х годов прошлого столетия на основании лабораторных и промышленных исследований, проведенных В.В. Цариковским, В.В. Саковичем, П.И. Кишкиным, М.А. Коваленко, была установлена взаимосвязь радиуса кривизны и предельного пролета обнажения сводаобразных потолочин по принципу *устранения*. Для повышения устойчивости наклонных и горизонтальных рудных обнажений разработаны сводаобразные и шатровые формы потолочин, располагающихся горизонтально и наклонно [25].

Выполнены исследования Г.К. Хижняком, В.К. Плехановым, Н.М. Сенниковым по изысканию резервов сокращения объемов и стоимости горно-капитальных работ при вскрытии и разработке новых горизонтов шахт Кривбасса. Предложена технология отработки ранее законсервированных запасов руды в лежащем боку залежи «Пужмерки-Магнетитовая» на шахте «Им. Ленина». Продолжались работы по контролю за самообрушением налегающих пород, *уравновешиванием* устойчивости обнажений и локализацией выработанного пространства в увязке с горными работами на шахте «Им. Орджоникидзе» реализованные В.В. Цариковским, А.П. Григорьевым, Е.П. Яценко, В.В. Саковичем и В.Д. Запорожцем [26].

В 1992 – 1993 гг. исследователи А.П. Григорьев, Е.И. Яценко, Н.Г. Григорец, В.В. Цариковский и В.В. Сакович разработали технологию совместной добычи различных типов железных руд и нерудного сырья подземным способом, обеспечивающую снижение удельных затрат на вскрытие, подготовку и отработку запасов. В процессе решения поставленной задачи было установлено, что на шахте «Гвардейская» и шахтах РУ «Им. Кирова» резерв подъемных возможностей достигает 2 млн т/год. В этой связи с целью снижения удельных затрат на подготовку запасов горизонтов и реализацию указанных резервов было

рекомендовано наряду с добычей богатых руд приступить к подготовке производств к добыче 4,0 – 4,3 млн т бедных железных руд и амфиболитов на шахте «Гвардейская» и 6,5 – 7,0 млн т бедных железных руд и гранитов на шахтах РУ «Им. Кирова» [27].

В 1998 г. была выполнена работа применительно к горно-геологическим условиям шахты «Новая» совместного предприятия «ВостГОК-Ашурст» (ныне ООО «Восток-Руда», г. Желтые Воды), целью которой было разработать технологию подземной добычи железных руд с учетом опыта шахт Кривбасса. В процессе проведения исследований было выполнено геомеханическое (В.В. Цариковский, В.В. Сакович) и технологическое (А.П. Григорьев, Е.И. Яценко, С.Д. Мячин) обоснование крупномасштабной технологии добычи железистых кварцитов. Впервые для условий шахты «Новая» были рекомендованы очистные камеры высотой 200 м и объемом 280 – 300 тыс. м³, а также фронтально-бесцеликовая технология отработки запасов. Учитывая отсутствие опыта добычи руд крупномасштабными технологиями у инженерно-технических работников шахты, в работе предусмотрены меры контроля за состоянием выработанных пространств, В.Д. Запорожцем и А.Ф. Мигуль предложены способы их локализации.

Для решения задачи повышения качества марганцевой руды в Украине была разработана и испытана на шахте № 8 бесцеликовая селективная технология отработки с оставлением породы в выработанном пространстве. Новая технология бесцеликовой отработки участков пласта мощностью 0,75 – 1,4 м полосами со складированием породы в выработанном пространстве предназначена для отработки запасов охранных целиков и под населенными пунктами. В.И. Никонцом, А.Н. Запольским, А.Н. Ивденко разработана металлическая инвентарная крепь, технология и средства бесшпурового возведения анкерной крепи в подготовительных выработках забивного типа и механизмы для ее возведения [27].

- ГП «УкрНИПИИпромтехнологии».

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии» Министерства энергетики и угольной промышленности Украины был создан для научного и проектно-изыскательского сопровождения объектов атомной промышленности [28].

Таблица

Систематизация принципов поддержания горных выработок

Учреждение	Исследователь	Год	Сущность	Принцип
ИГТМ НАН Украины	А.Н. Зорин	2001	Использование энергии горного давления для добычи полезных ископаемых	Противодействие
	В.В. Виноградов	2002	Формирование арочного опорно-анкерного перекрытия над выработкой	
	Т.А. Паламарчук	2002	Диагностика состояния вертикальных стволов по синергетическим процессам	
	А.Ф. Булат	2005	Диагностика состояния массива по фрактальной модели разрушения	
	Ю.М. Халимендик	2012	Установка замка канатного анкера на границе раздела зон растяжения-сжатия	
НТУ «Дніпровська політехніка»	С.Г. Борисенко	1965	Повышение устойчивости очистных камер путем изменения размеров и формы	Уравновешивание
	А.И. Зильберман	1978	Повышение сопротивления податливых крепей за счет парафинопатронов	Противодействие
	В.И. Бондаренко	1989	Формирование закрепленной зоны различными химическими методами	
	П.И. Пономаренко	1991	Проведение опережающей выработки и бетонное крепление основной	
	Г.А. Симанович	1992	Соответствие реакции крепи своду предельного равновесия выработки	
	Л.Н. Ширин	1994	Учет времени с момента разрушения пород на контуре очистной выработки	
	В.И. Бузило	1997	Крепление зон предельных напряжений анкерно-пневматическими креплениями	
	И.А. Ковалевская	2004	Достижение равнопрочности для комбинированных крепей выработок	
	В.Я. Кириченко	2012	Повышение устойчивости крепи путем изменения формы, сечения, прочности	
	Г.М. Малахов	1956	Порядок подработки и наработки залежей в пределах шахтного поля	
Ю.П. Капленко	1980	Отбойка слоев руды в областях интенсивного деформирования массива	Содействие	
Государственный ВУЗ «КНУ»	В.Ф. Лавриненко	1980	Повышение устойчивости выработок при оптимизации размеров и формы	Уравновешивание
	Б.Н. Андреев	2006	Отбойка слоев руды в зонах разгрузки выработок в условиях техногенеза	Содействие
	Е.И. Логачев	2006	Изменение формы очистных камер для повышения показателей извлечения	Уравновешивание
	В.А. Калининченко	2008	Формирование опережающих камер с эллиптической формой контуров	
НИГРИ Государственного ВУЗа «КНУ»	А.Г. Катков	1984	Максимальное приближение арок податливых крепей к забою выработок	Противодействие
	И.С. Зицер	1986	Замена арочных крепей на облегченные комбинированные крепи выработок	Устранение
	В.С. Нигматуллин	1990	Изменение места заложения подготовительных выработок относительно камер	
	В.П. Волощенко	2000	Учет зон неупругих деформаций на увеличение размеров очистных камер	Уравновешивание
	В.В. Цариковский	1990	Сводообразная и шатровая формы горизонтальных и наклонных потолочин	
	Г.К. Хишняк	1994	Оставление межкамерных целиков при отработке законсервированных запасов	Противодействие
	А.П. Григорьев	1992	Пильное формирование выработок при сопутствующей добыче гранитов	
	В.Д. Запорожец	1998	Внедрение фронтально-бесцеделковой технологии ведения очистных работ	Уравновешивание
	В.И. Никоненко	2003	Бесцеделково-селективная технология с рамно-анкерным креплением выработок	Противодействие
	ГП «НИПИИпром- технологии»	Ю.И. Кошик	1992	Устойчивость земной поверхности регулированием напряжений в недрах
В.И. Ляшенко		2005	Устойчивость горных выработок по остаточной несущей способности пород	

Практикой отработки урановых месторождений, локализованных в скальных массивах В.И. Ляшенко в 1992 – 2017 гг. показано, что устойчивость массива обеспечивается при условии достаточной механической прочности нижнего ряда заклинивающихся структурных блоков, пригруженного массивом пород в пределах свода естественного равновесия. В последующем определено, что сохранение земной поверхности от разрушения обеспечивается *уравновешиванием* уровня напряжений в разнопрочных участках, взаимной увязкой выемки руды во времени, пространстве и степени ее подготовленности к добыче и на этой основе предложены новые природоохранные и ресурсосберегающие технологии и технические средства, которые дали положительные результаты при подземной разработке урановых месторождений России, Казахстана и Украины [29].

Установление зависимости между природными и технологическими факторами позволяет уточнить нормативы вскрытых, подготовленных и готовых к отработке запасов руд по геомеханическим процессам на основе математических и графоаналитических методов с достижением экономической эффективности за счет повышения оперативности и надежности управления горными работами. Для урановых месторождений Украины величина коэффициента опережения запасов руды, подготовленных и относительно готовых к отработке, находится в пределах 4,0 – 5,7 и зависит от порядка подготовки, нарезки и отработки рудных тел, состояния искусственных массивов и содержания полезного компонента в руде.

Также установлены особенности проявления горного давления в скальных массивах сложного строения, обусловленные интенсивностью разрывных структур (акустическая жесткость от 0,11 до 0,18 МПа/с, коэффициент удароопасности – 0,98). Определены условия проявления остаточной несущей способности нарушенных пород и перевода геоматериалов в режим объемного сжатия (в зоне нарушенных пород коэффициент ослабления снижается до 0,04 – 0,15 с первоначальной величины 0,25 – 0,35). В таких условиях горизонтальные напряжения в массиве до 5 раз могут превышать вертикальные, что подтверждает интенсивную тектонику месторождений [30].

Выводы:

1. В результате выполнения анализа отечественных разработок по способам поддержания подземных выработок установлено, что современные научные-производственные представления, на которых базируется большинство украинских технологий, основываются на двух основных принципах (табл.). Первый принцип – *противодействие* крепей разрушению вмещающего массива за счет изменения их видов, параметров установки и условий эксплуатации, с обеспечением эффективного отпора крепежной системы (17 научных разработок – составляет 53%).

2. Второй принцип – *уравновешивание* устойчивости массива с параметрами горных выработок путем изменения их размеров или формы для достижения максимальной устойчивости контуров обнажений (13 разработок – 38%). Если принцип противодействия в основном используется для поддержания подгото-

вительных выработок, то принцип уравнивания – для повышения устойчивости очистных камер. Оба принципа не позволяют использовать энергию горного давления, а только обеспечивают снижение затрат на крепление и поддержание за счет оптимизации технологических параметров.

3. Также выявлено 2 новых принципа – это принцип *содействия*, заложенный Ю.П. Капленко и Б.Н. Андреевым в технологиях отбойки слоев руды, которые находятся в областях интенсивного деформирования или зонах разгрузки напряжений, а также принцип *устранения*, используемый В.С. Нигматуллиным в порядке нахождения рациональных мест заложения подготовительных выработок относительно очистных камер. Под принципом содействия понимается использование энергии горного давления, которая за счет выполняемой работы по разупрочнению массива содействует технологии разрушения горных пород при производстве подготовительных и очистных работ, и приводит к экономии энергии взрыва во время отбойки. Под принципом устранения понимается нахождение рационального места заложения подготовительных или очистных выработок относительно выработанного или очистного пространства с пониженным потенциалом горного давления, что приводит к снижению

4. Выполненный анализ отечественных разработок по закладываемым в них принципам поддержания подземных выработок показал, что в подавляющем большинстве случаев научно-прикладные исследования базировались на принципе противодействия крепей возрастающей энергии массива. Большинство проанализированных исследователей учитывали изменения напряженности массива по степени его влияния на параметры крепей выработок и систем разработки лишь для минимизации затрат. Эти условия не позволило авторам выявить тенденции развития научно-производственных представлений о креплении и поддержании подземных выработок, которые развиваются от *противодействия* и *уравнивания* к *содействию*, *устранению* и *перенесению* сконцентрированной энергии массива, и позволяют целенаправленно ее использовать при креплении и поддержании подземных выработок.

Перечень ссылок

1. Зорин, А., Халимендик, Ю., & Колесников, В. (2001). Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр».
2. Булат, А., & Виноградов, В. (2002). Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Д.: ИГТМ НАН Украины.
3. Паламарчук, Т. (2001). Особенности и теоретические предпосылки контроля процессов самоорганизации породного массива, ослабленного горной выработкой. Геотехническая Механика, (23), 156-159.
4. Булат, А., & Дырда, В. (2005). Фракталы в геомеханике. Д.: Научная мысль.
5. Khalymendyk, J., Chervatuk, V., & Eremin, S. (2012). Substantiation of rope anchors length in the conditions of mines in the Western Donbas Coal Region. Rockbolting And Rock Mechanics In Mining, 285-292.
6. Борисенко, С., & Комской, Е. (1970). Расчет на прочность элементов блоков при разработке рудных месторождений. К.: Техника.

7. Новикова, Л., Зильберман, А., & Лесников, В. (1986). Новая методика определения упругопластических деформаций горных пород вокруг сопряжений очистной и подготовительной выработок. *Шахтное Строительство*, (12), 25-29.
8. Бондаренко, В. (1989). Научные основы физико-химического закрепления слабых водонасыщенных пород вокруг горных выработок (Докт. Техн. Наук). Днепропетровск, ДГИ.
9. Пономаренко, П. (1991). Геомеханические основы управления состоянием породного массива и устойчивостью горных выработок марганцеворудных шахт Украины (Докт. Техн. Наук). Днепропетровск, ДГИ.
10. Симанович, Г. (1993). Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристики (Докт. Техн. Наук). Днепропетровск, ИГТМ НАН Украины.
11. Ширин, Л. (1994). Физико-технические основы малооперационной технологии разработки тонкожилых крутопадающих месторождений пневмогидравлическими очистными комплексами (Докт. Техн. Наук). Днепропетровск, ИГТМ НАН Украины.
12. Бузило, В. (1997). Геомеханическое обоснование технологий проведения выработок с использованием пневмоконструкций при сооружении станций метрополитена в слабых породах (Докт. Техн. Наук). Днепропетровск, НГАУ.
13. Ковалевська, І. (2004). Геомеханіка управління стійкістю просторової системи «масив-зміцнені породи-кріплення підземних виробок» (Докт. Техн. Наук). Дніпропетровськ, НГУ.
14. Кириченко, В. (2012). Наукові основи підвищення стійкості виробок вискоресурсним кріпленням у геодинамічних зонах очисного виймання (Докт. Техн. Наук). Дніпропетровськ, ДВНЗ «НГУ».
15. Малахов, Г., Арсентьев, А., & Фаустов, Г. (1954). Влияние способов отработки камер на устойчивость потолочин и висячего бока. *Горный Журнал*, (3), 21-27.
16. Капленко, Ю. (1977). Влияние напряженно-деформированного состояния массива на эффективность отбойки руды при очистной выемке. *Разработка Рудных Месторождений*, (24), 23-26.
17. Лавриненко, В., & Лысак, В. (1978). Перспективы применения камерных систем разработки на больших глубинах. *Разработка Рудных Месторождений*, (26), 50-55.
18. Андреев, Б. (2006). Наукове обґрунтування технології і параметрів вибухової відбійки при підземному добуванні руд в умовах техногенезу надр (Докт. Техн. Наук). Кривий Ріг, КТУ.
19. Логачов, Є. (2006). Розробка технології підземного відпрацювання покладів супутньої мінеральної сировини в умовах Криворізького басейну (Докт. Техн. Наук). Кривий Ріг, КТУ.
20. Калініченко В. (2008). Розвиток наукових основ раціонального використання сировинної бази Кривбасу при включенні в розробку втрачених руд і магнетитових кварцитів (Докт. Техн. Наук). Кривий Ріг, КТУ.
21. Катков, А. (1984). Вопросы управления состоянием горного массива. *Научные Сообщения ИГД Им. А.А. Скочинского*, (242), 7-11.
22. Цицер, И., Чистяков, Е., & Бескровный, В. (1986). Крепление горных выработок на шахтах Кривбасса. *Кривой Рог: НИГРИ*.
23. Нигматуллин, В. (1979). Влияние степени подработки рудного массива на деформацию выработок. *Подземная Добыча Руд Черных Металлов*, (3), 54-57.
24. Чистяков, Е., Близнюков, В., & Мошинский, В. (2000). Пути повышения эффективности разработки крутопадающих месторождений системами с закладкой выработанного пространства. *Сборник Научных Трудов НИГРИ*, 67-73.
25. Цариковский, В., Сакович, В., & Кишкин, П. (1991). Определение геометрических параметров камерных систем разработки в Кривбассе со сводчатой и шатровой формами обнажения потолочин. *Кривой Рог: НИГРИ*.

26. Отчет о НИР № ГР 01910037597. (1994). Исследование и выбор технологии очистной выемки и схемы отработки законсервированных запасов богатых руд в лежащем боку залежи «Пужмерки-Магнетитовая» шахты им. Ленина. Кривой Рог: НИГРИ.
27. Близнюков, В., Штанько, Л., Салганик, В., Цариковский, В., & Ахкозов, Ю. (2008). На передовых рубежах горной науки: к 75-летию ГП «НИГРИ». Кривой Рог: ГП «НИГРИ».
28. Кошик, Ю., Ляшенко, В., & Назаренко, М. (2008). Совершенствование технологий и технических средств при разработке урановых месторождений Украины. Науковий Вісник НГУ, (10), 30-36.
29. Ляшенко, В., Савельев, Ю., & Ткаченко, А. (2005). Геомеханическое обоснование безопасности подземной разработки урановых месторождений. Науковий Вісник НГУ, (12), 8-12.
30. Ляшенко В., Голик В., Хоменко О. (2017). Повышение геодинамической безопасности подземной разработки сложноструктурных рудных месторождений. Бюллетень «Черная металлургия», (3), 24-32.

ABSTRACT

Purpose. To reveal evolution of research-and-production principles development that underlain in technology of bolting and supporting of underground workings.

The methodology. Fundamental and applied research works, which are directed to development, approbation and introduction in production of effective technological schemes of drivage, bolting and supporting of underground workings are analyzed. The analysis of scientific-and-applied developments by research, design and higher educational institutions of Ukraine is executed.

Findings. Widely used and new research-and-production principles that using during mine workings supporting are revealed. The established principles on institutions, researchers, years of establishment and entities are systematized.

The originality. Evolution of development of research-and-production principles that underlain in technology of bolting and supporting of underground workings is revealed.

Practical implications. The analyzed technologies according to the offered research-and-production principles of rock pressure energy usage are estimated in a percentage ratio. Tendencies of development of the principles from counteraction and equilibration before interaction, elimination and transferring of the rock pressure energy that concentrated around workings are revealed.

Keywords: *rock pressure, working steadiness, concentrated energy.*