

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА СТЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ**

**Кологривко А.А., Иголка Д.А., Лукша Е.М.**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь*

*Синтезированы исследования в области прогнозирования проявлений горного давления и методологии проектирования строительства подземных сооружений. Представлен методологический подход к исследованию влияния горного давления на стенки вертикальных шахтных стволов, позволяющий принимать основополагающие решения при проектировании горных выработок или их комплексов, обусловленные в соответствии с функциональным назначением подземного объекта, в дальнейшем трансформируемые в конкретные инженерные конструкции подземного сооружения. Изложены базовые принципы методологического подхода к исследованию влияния горного давления на стенки вертикальных шахтных стволов.*

Проектирование строительства вертикальных шахтных стволов осуществляется для конкретного случая индивидуально в соответствии с основным функциональным назначением объекта, его эксплуатационными параметрами, характеристиками вмещающего массива горных пород [1]. Наиболее сложным процессом для проектирования вертикальных стволов является обеспечение их устойчивости в течение всего периода строительства и эксплуатации. Основной частью обеспечения устойчивости стенок стволов является их крепление. Крепь должна быть обеспечена необходимым запасом ее прочности. От совершенства практических методов расчета влияния горного давления, методов проектирования стволов, их научной обоснованности зависит стратегия освоения подземного пространства, что определяет актуальность наличия методологического подхода к исследованию влияния горного давления на стенки вертикальных шахтных стволов, который позволит принимать основополагающие решения при проектировании строительства стволов, в дальнейшем трансформируемые в конкретные инженерные конструкции подземного сооружения.

Анализ геологических разрезов по единичным скважинам, изученных свойств горных пород на участках строительства вертикальных шахтных стволов, принимая во внимание экспертный анализ материалов технико-экономического доклада о промышленном значении Бриневского месторождения гипса с разработкой временных кондиций (разработанного ОАО «Белгорхимпром» в 2003 году), архитектурного проекта «Поддержание мощности сырьевой базы РУП «ПО «Беларуськалий» за счет строительства стволов на шахтном поле 4РУ» (разработанного ОАО «Белгорхимпром» в 2006 году), архитектурного проекта «Поддержание мощности сырьевой базы РУП ПО «Беларуськалий» за счет строительства ство-

лов на шахтном поле 4 РУ. Первая очередь. Вторая очередь. Третья очередь. Корректировка 1» (разработанного ОАО «Белгорхимпром» в 2012 году), архитектурного проекта проходки шахтных стволов по объекту «Строительство горно-обоганительного комплекса мощностью от 1,1 до 2,0 млн. тонн хлорида калия в год на сырьевой базе Нежинского (восточная часть) участка Старобинского месторождения калийных солей» (разработанного ОАО «Белгорхимпром» в 2012 году), архитектурного проекта «Петриковский горно-обоганительный комплекс. Подготовительный период для проходки стволов» (разработанного ОАО «Белгорхимпром» в 2013 году), строительства вертикальных стволов в стесненных условиях городского строительства [2], позволяет считать вмещающие породы сложной природной средой, представляющей многокомпонентную систему, которая может рассматриваться как система взаимосвязей ее фазовых состояний, причем эти взаимосвязи отражают многообразие причинно-следственных факторов природных, техногенных и антропогенных воздействий. Основу построения таких взаимодействий составляют выявленные возмущения в массиве горных пород, которые представляют собой горное давление на технологические воздействия при строительстве стволов в реальном масштабе времени. Заметим, что в процессе проектирования и строительства целесообразно учитывать эти взаимодействия путем реализации включения в проектируемые и строительные технологии специальных мероприятий, направленных на снижение этих воздействий [1].

Анализ геологических условий участков ведения работ показывает, что физико-механические свойства горных пород, в первую очередь прочностные, являющиеся основой при исследовании влияния горного давления [3, 4], а также компрессионные свойства, получают в лабораторных условиях на образцах. Известно [1], что даже при испытании образцов пород, взятых из одного керна, имеется разброс показателей их свойств и в дальнейшем идет оперирование средней или средневзвешенной величиной этого показателя. Необходимо учитывать, что свойства массива, даже сложенного пластами однородных пород, в различных точках будут еще более отличаться друг от друга, чем свойства образцов пород, взятых из этого массива. Это происходит в силу действия масштабного эффекта, наличия анизотропии свойств пород в самом массиве. Поэтому физико-механические свойства однородных пород по длине ствола будут отличаться. Внешним проявлением этих отличий могут быть различные смещения контура. Из анализа научной литературы [3, 5 - 7] и нормативных документов, обязательных при проектировании подземных горных выработок, выборе средств и способов их поддержания [8, 9] периодического закона в колебаниях смещений контура вертикальных стволов не установлено.

Полученные в лабораторных условиях на образцах свойства пород не могут учитывать специфики поведения горного массива, характеризующегося наличием разнопрочностных пород, характером и степенью их нарушенности, временным фактором, влиянием температурного фактора на изменение напряженно-деформированного состояния массива, его технологической нарушенности, вызванной технологией строительства ствола, в том числе, скоростью проходки. Важным является и оценка расстояния от контура ствола, на котором необходим учет различия в прочностных характеристиках вмещающих пород. Известно [3], что по мере удаления от контура выработки температурные напряжения меняются. Отсутствие же резких изменений температур массива практического влияния на устойчивость контура выработок не оказывают и могут не учитываться, что подтверждается исследованиями состояния выработок в разнотемпературных условиях и инструментальными наблюдениями за смещением породных обнажений выработок и развитием зон неупругих деформаций.

Неровности контура выработки увеличивают значения коэффициента концентрации напряжений в 4 раза и более [3]. Большое влияние на величину коэффициента концентрации напряжений оказывает степень и характер нарушенности (неровности) породных обнажений. Наибольшее отрицательное значение имеет амплитуда неровности, т.е. размер в направлении породного массива. Увеличение числа этих неровностей влияет отрицательно в меньшей степени и способствует более равномерному распределению повышенных напряжений по контуру выработки.

Нарушение крепи стволов вследствие геомеханических воздействий может проявляться в виде отдельных трещин, систем пересекающихся трещин, отслоений, заколов и вывалов самой крепи. Развитие нарушений крепи во времени происходит, как правило, плавно, переходя к более существенным и охватывая все большие участки. Образование заколов и вывалов требует перекрепления нарушенных участков. При выборе конструктивно-технологических решений по креплению и определении фактической несущей способности крепи важную роль играет достоверность геологической информации о степени нарушенности вмещающего массива [10]. Достоверность учитываемых свойств пород определяется не только качеством их выполнения, но и возможностью их уточнения в период проектирования и строительства стволов, что в свою очередь позволяет вносить соответствующие коррективы в принятые решения. При проектировании обычно принимается техническая несущая способность крепи, что в сопоставлении с действующими нагрузками (в том числе прогнозными) показывает реальность сохранения контура выработки только за счет применения крепи. Однако анализ эксплуатации выработок это опровергает [3, 5]. В ряде случаев деформации превышают допустимые, что вызывает

необходимость ремонта. Опыт эксплуатации вертикальных стволов показывает, что они разрушаются значительно раньше, чем предусмотрено проектным нормативным сроком из-за ускоренного физического износа крепи [11]. Это положение справедливо для любой конструкции крепи, независимо от режима ее работы и назначения. Исключения могут составлять временные и укрепленные крепи: первые – в силу кратковременности использования, вторые – в связи с созданием системы «крепь-порода» сразу же после их устройства. Уточнение геологической информации о массиве необходимо и в связи с тем, что перед началом или в процессе строительства может проводиться подготовка массива, направленная на изменение его физико-механических свойств или общего состояния с целью уменьшения влияния горного давления на контур или крепь ствола или же направленная на усиление самой крепи. К таким мероприятиям можно, например, отнести создание камуфлетных полостей по контуру выработки с одновременным их креплением бетоном или полимерным материалом, что позволит усилить внешний контур самого ствола [12, 13].

Вышеизложенное дает основание полагать, что свойства пород, не определенные инженерно-геологическими исследованиями, комплексно необходимые для прогнозирования проявлений горного давления на стенки стволов, могут быть приняты табличными или рассчитаны по известным методикам.

Каждый участок массива, включенный в систему влияния массива на ствол, характеризуется учетом большого количества происходящих явлений и процессов. Процессы в породном массиве протекают непрерывно с изменениями в зависимости от техногенного и антропогенного воздействия. Поэтому на всех этапах проектирования и строительства возникает вопрос уточнения исходных геологических данных для определения влияния горного давления на контур и крепь ствола в данный период времени.

При исследованиях построенная модель взаимодействия массива с объектом требует активного геомеханического мониторинга ситуации в массиве как основы для прогнозирования проявлений горного давления и разработке рекомендаций по технологии строительства. Существующая практика не реализует этого подхода по многим, в основном экономическим и техническим причинам. Этот ряд важных факторов снижает уровень функционирования обратных связей между элементами системной модели «массив-технология-объект». Поэтому реально эта система может представлять собой модель, которая, с одной стороны, обладает всеми свойствами открытой системы (гибкость, динамичность, целостность, сложность и т.д.), а с другой стороны, как логическое построение, отображающее представление об объекте и протекающих в нем процессах, исходя из имеющейся геологической информации. Исследование влияния гор-

ного давления может быть основано на базах, имеющихся на момент исследования, знаниях и экспертных системах. Последние, по сути, являются диагностическими, т.е. ориентированными на исследование объекта в зависимости от конкретных значений исходных параметров (признакового пространства). Такие экспертные системы нашли широкое применение во многих предметных областях и могут быть рекомендованы в случае исследования влияния горного давления на контур и крепь вертикальных шахтных стволов, используя комплексный метод прогнозирования проявлений горного давления.

Прогнозирование проявлений горного давления в вертикальных стволах базируется на исследованиях отечественных (Протодьяконов М.М., Терпигорев А.М., Бокий Б.И., Цимбаревич П.М., Слесарев В.Д., Динник А.Н., Савин Г.Н., Лехницкий С.Г., Руппенейт К.В., Белаенко Ф.А., Крупенников Г.А., Шевяков Л.Д., Булычев Н.С., Протосеня А.Г., Обручев Ю.С., Огородников Ю.Н., Картозия Б.А., Корчак А.В., Войтенко В.С. и др.) и зарубежных ученых (К. Бах, Г. Шпакелер, Р. Феннер, А. Лаббас, Ф. Мор, Л. Уокер, Дж. Спелдинг, Р. Квапил, К. Терцаги, К. Хефер и др.) [6, 14, 15].

Исследования по прогнозированию проявлений горного давления, основанные на положениях теории упругости, пластичности и ползучести, выполнены Р. Феннером, А. Лабассом, Руппенейтом К.В., Белаенко Ф.А., Либерманом Ю.М., Авершиным С.Г., Ержановым Ж.С., Протосеней А.Г. и др. Положения теории вероятностей и математической статистики использовались в исследованиях Руппенейта К.В., Матвиенко В.В., Долгих М.А., Баклашова И.В., Шейнина В.И. и др. Обширные работы по изучению проявлений горного давления в натуральных условиях осуществлены Крупенниковым Г.А., Черняком И.Л., Максимовым А.П., Заславским Ю.З., Давыдовичем И.Л., Балбачан И.П., Литвинским Г.Г., Шехурдиным В.К., Картозией Б.А., Корчаком А.В., Войтенко В.С. и др. Значительное развитие получили экспериментальные исследования на моделях (Кузнецов Г.Н., Трубачев В.Г. и др.) и работы по изучению свойств горных пород, энергетического состояния массива и контура выработки (Руппенейт К.В., Либерман Ю.М., Матвеев Б.В., Глушко В.Т., Ильницкая Е.И., Шехурдин В.К., Войтенко В.С. и др.).

Разработанные научные основы и методы прогнозирования проявлений горного давления в вертикальных выработках можно разделить на аналитические, инженерные и аналоговые [6].

Для аналитических методов характерны три направления. В основу исследований первого направления, представленного работами Протодьяконова М.М., Цимбаревича П.М., Слесарева В.Д., К. Терцаги, Шехурдина В.К., Каретникова В.Н., Булычева Н.С., Фотиевой Н.Н., Картозии Б.А., Борисова В.Н., др., легли гипотезы, основанные на положениях строительной механики. В исследованиях этого направления массив горных пород и

крепь вертикальной выработки рассматриваются без учета их взаимодействия. В теоретических исследованиях горный массив аппроксимируется сыпучей средой. Однако результаты, получаемые на их основе, не всегда подтверждаются практикой. С увеличением глубины выработки расхождения становятся все более значительными.

В исследованиях второго направления используются положения гипотезы деформаций. Согласно этой гипотезе деформации играют существенную роль в формировании нового поля напряжений около ствола, крепь активно взаимодействует с горным массивом, а нагрузка на нее зависит от перемещений стенок выработки, допускаемых этой крепью. Поскольку деформации горных пород охватывают широкий диапазон от упругих до хрупкого разрушения и вязкого течения, то гипотеза деформаций имеет различные частные модификации, из которых наибольшее значение в настоящее время имеют гипотезы разрушения, упруговязкого деформирования и наследственной ползучести. В исследованиях этого направления используются теории механики сплошных сред: упругоизотропных (Динник А.Н., Савин Б.М., Родин И.В., Шехурдин В.К. и др.); упругоанизотропных (Лехницкий С.Г., Космодамианский А.С. и др.); вязкопластичных (Максимов А.П., А. Салустович, К. Хёфер, Войтенко В.С. и др.); упругопластичных (Р. Феннер, А. Лабасс, Руппенейт К.В., Хирамацу Ё., Ока Ю, Либерман Ю.М. и др.) и упругонаследственных (Ержанов Ж.С., Розовский М.И., Глушко В.Т. и др.).

Третье направление представлено работами Ершова Л.В., Насонова Л.Н. и др. В этих исследованиях упругопластическая задача решается с позиции потери устойчивости горного массива, сопровождающейся изменением формы ствола.

Инженерные методы характеризуются исследованиями, базирующимися на теории свода (Протодьяконов М.М., Цимбаревич П.М., Р. Квапил, К. Терцаги, Бродский М.Б. и др.), натурных измерениях (многочисленные работы научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, университетов горного и геологического профиля: ВНИМИ, ИГД им. А.А. Скочинского, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Московский государственный горный университет, Тульский государственный университет, Донецкий национальный технический университет, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе и др.) и вероятностно-статистических прогнозах (Руппенейт К.В., Матвиенко В.В., Черняк И.Л., Глушко В.Т., Кацауров И.Н., Баклашов И.В., Долгих М.А. и др.).

Методы аналогий основаны на выявлении и использовании корреляционных связей между геологическими, геофизическими, физико-

механическими и инженерно-техническими факторами (Алферов О.С., Скворцов Г.Г., Кориловская Л.К., Фромин В.В. и др.).

Область применения методов прогнозирования проявлений горного давления в вертикальных стволах ограничивается горно-геологическими и инженерно-техническими условиями, возможностью получения и степенью достоверности геологической информации, а на стадии проектирования стволов – наличием аналогов. Эффективность аналитических методов зависит от выбора реологической модели, аппроксимирующей горный массив и точности определения геологических свойств слагающих его пород. В инженерных и аналоговых методах реальная обстановка учитывается в большей степени. Однако эмпириоаналитический и эмпирический подход к решению задачи ограничивает их использование условиями строительства отдельного ствола или участка ведения работ.

Качественная картина явлений, сопровождающих наличие в горном массиве ствола, может быть представлена следующим образом. При формировании нового поля напряжений происходит концентрация напряжений с максимальным коэффициентом на стенках ствола. Когда несущая способность пород достаточная и новые компоненты напряжений не будут превышать ее прочность, разрушение породного контура не произойдет. Если и в дальнейшем прочность породы не будет уменьшена, например, из-за воздействия воды, то проявление горного давления в этом случае закончится на стадии образования нового поля напряжений. При недостаточной начальной прочности пород или уменьшения ее в результате воздействия разупрочняющих факторов, проявление горного давления будет сопровождаться образованием предельной области (неупругих деформаций).

Распределение напряжений вокруг ствола, размеры и время образования предельной области зависит от формы сечения выработки, физико-механических свойств вмещающих пород и наличия изменяющих их реологическую характеристику факторов, напряженного состояния нетронутого массива, слоистости, трещиноватости, анизотропии и других структурных особенностей и условий залегания пород. В этой связи на характер и интенсивность проявлений горного давления влияют многие факторы. Одни из них действуют постоянно и повсеместно, другие – временно и локально (многие из них не поддаются количественной оценке).

В связи с вышеизложенным, задача исследования влияния горного давления на вертикальный ствол должна решаться в первую очередь путем установления качественной стороны процессов, происходящих при его строительстве. Полученные представления о механизме этих процессов служат основанием для количественных оценок, составления расчетных схем и разработки инженерных методов расчетов влияния и рационального управления горным давлением на различных этапах строительства ствола.

Исследования горного давления в вертикальных стволах можно условно разделить на два этапа. Первый этап характеризуется тем, что подход к представлениям о горном давлении, его природе и проявлениях осуществляется с помощью упрощенных схем – приближенных гипотез. Давление на крепь определяется как заданная статистическая нагрузка, которая не зависит от деформаций горного массива, конструкции и материала крепи, способа проходки и технологии крепления. На этом основании все исследования этого этапа имеют общее название «гипотезы сил». Можно выделить гипотезу восстановления естественного напряженного состояния массива (или полного веса столба горных пород), гипотезу свода и гипотезу об отсутствии давления на крепь ствола в прочных (скальных) породах.

На втором этапе механизм взаимодействия горного массива с крепью, напряжения в крепи и породах, перемещение на поверхности и вблизи ствола исследуются с использованием методов механики сплошной среды. В исследованиях используются «гипотезы деформаций», согласно которым давление на крепь развивается и устанавливается в результате ее взаимодействия с деформируемыми горными породами. Диапазон неупругодеформирующихся пород может изменяться в широком диапазоне – от вязкого течения до хрупкого разрушения. В этой связи гипотеза деформаций имеет ряд частных модификаций, из которых наибольшее значение имеют гипотезы разрушения пород, линейной и нелинейной наследственной ползучести.

Отличительной особенностью гипотезы восстановления является признание линейной зависимости нагрузки на крепь от глубины. Горное давление на крепь в соответствие с этой гипотезой численно равно боковому давлению в массиве горных пород.

Практика строительства и эксплуатации подземных сооружений показала, что механизм проявления горного давления (в сравнении с гипотезой восстановления) подтверждается натурными наблюдениями [6]. Было установлено, что боковое давление на крепь не возрастает пропорционально глубине. Использование гипотезы свода позволяет уменьшить расчетные нагрузки на крепь. Гипотеза обосновывает возможность увеличения глубины горных выработок без существенного упрочнения крепи.

Однако результаты, получаемые на основе гипотезы свода, не всегда подтверждаются практикой. С увеличением глубины выработки расхождение становятся все более значительными. В связи с этим, гипотеза деформаций представляется наиболее приемлемой. Одной из частных модификаций этой гипотезы является гипотеза разрушения. Исследования в этом направлении позволили разработать комплекс знаний, подтвер-

жденный экспериментами, о деформации и взаимодействии горных пород с крепью выработки. Основные положения этого комплекса следующие [6]:

- вблизи выработки вследствие концентрации напряжений образуется так называемая «зона неупругих деформаций», что проявляется в дополнительном перемещении пород и сужении сечений выработки;

- развитию радиальных смещений в массиве в известной мере препятствует крепь;

- статистическое равновесие в системе «крепь-порода» может быть достигнуто при величине отпора крепи (давления на крепь), при этом каждому значению давления соответствует определенное радиальное перемещение стенок выработки; в общем случае: чем больше перемещение стенок выработки допускает крепь (чем больше она податлива), тем меньше давление она будет испытывать (до определенного предела, начиная с которого давление стабилизируется или даже начинает возрастать);

- давление на крепь существенно зависит от степени ее жесткости (материал, конструкция, толщина) и технологии возведения, определяющей время ввода крепи в работу после обнажения стенок и начальный распор.

В гипотезе деформаций, гипотезы восстановления и свода используются в качестве отдельных частных случаев.

Процессы, происходящие около горной выработки, имеют временной характер. В зависимости от принятых уравнений напряженно-деформированного состояния фактор времени может отражаться либо в явном виде, либо в условных временных параметрах, характеризующих реологические свойства породы (например, во временных операциях – в теории наследственных сред или через коэффициент вязкости – в реологии). Эти параметры определяют по данным испытаний ползучести горных пород.

Наиболее широко, при исследовании горного давления, применяется теория линейной наследственной ползучести. Согласно принципу наследственности, материал должен обладать свойством обратной ползучести, т.е. деформации, вызванные внешними силами, не должны исчезать сразу же после снятия нагрузки. По принципу линейности деформации должны складываться между собой и быть пропорциональны напряжениям, действовавшим в разные моменты времени. И хотя процессы, протекающие в массиве вокруг закрепленной выработки, по существу релаксационные, а уравнения состояния линейной и наследственной ползучести приводят к полной обратимости деформаций ползучести при разгрузке, – эта теория успешно используется при исследованиях горного давления.

Область применения теории линейной наследственной ползучести ограничивается породами с линейной зависимостью между напряжениями и деформациями. Если принцип линейности при деформировании пород не соблюдается, то для описания их ползучести необходимо применять

методы теории нелинейной наследственной ползучести. Однако из-за сложности и недостаточной разработанности математического аппарата эта теория в механике горных пород широкого применения не получила.

Крепь вертикального шахтного ствола представляет капиталоемкую конструкцию. Поэтому при ее проектировании должны быть учтены не только условия надежности, но и критерии экономичности.

Анализ данных наблюдений и натурных замеров свидетельствуют о том, что крепь шахтных стволов в большинстве случаев работает в условиях неравномерной нагрузки [6]. Поскольку ее грузонесущая способность при этом резко снижается, должны были бы иметь место частые нарушения, чего в действительности не наблюдается. Для выяснения этого вопроса были выполнены исследования в крепи, работающей в условиях неравномерного нагружения, но совместно с горным массивом. Полученные данные свидетельствовали о том, что при такой схеме работы напряжения перераспределяются самой крепью. Значения же изгибающих моментов, а потому растягивающих напряжений, настолько малы, что ими можно пренебречь. Сжимающие напряжения несколько увеличиваются. По расчетам ВНИМИ грузонесущая способность бетонной крепи при неравномерной нагрузке уменьшается не более чем на 30-50 %, по сравнению со схемой равномерного нагружения [6].

Анализ сопоставления расчетных методов [6], при определении нагрузки на крепь для одних и тех же горно-геологических условий позволяет сделать заключение об отсутствии сплошного давления на крепь по всей глубине ствола, а также о том, что проявлений горного давления следует ожидать в отдельных разобщенных участках разреза, сложенных более слабыми породами.

Теоретические работы, в основу которых положены представления о деформациях породы в упругих пределах, практического значения не имеют. Величины давления, рассчитанные по этим методам, колеблются в значительных пределах и многократно превышают данные натурных замеров. Рассматривая теоретические работы, можно отметить, что имеется много справедливых положений, которые могут быть эффективно использованы при разработке новых инженерных методов обеспечения надежной работы крепи.

Основными нормативными документами, обязательными при проектировании подземных горных выработок и расчету крепи являются СНиП и Руководство [8, 9]. В них обобщен опыт работ в этом направлении научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, а также университетов горного и геологического профиля. В них в принципе предусматривается дифференцированный подход к определению горного давления, креплению отдельных участков выработки, имеющих более 30% отклонения прочностных свойств вмещающих пород, однако это условие

не реализуется ввиду отсутствия практических рекомендаций. В нормативных документах практически невозможно учесть все детали рассматриваемой задачи, тем более, что знания о горном давлении постоянно развиваются [16], поэтому возможно рекомендовать для практического использования результаты современных исследований, которые следует рассматривать как дополнение к вышеуказанным материалам.

Проведенный анализ подтверждает важность проведения натуральных измерений в горных выработках и лабораторных исследований с моделированием горных условий в сопоставлении их данных с расчетными [17 - 20].

Анализ, обобщение и синтез результатов исследований в области прогнозирования проявлений горного давления, методологии проектирования строительства подземных сооружений, строительства вертикальных шахтных стволов и геологических условий участков ведения работ, резюмируя вышеизложенное, позволяет заключить, что методологический подход к исследованию влияния горного давления на стенки вертикальных шахтных стволов может базироваться на следующих основных принципах.

1. Стратегической основой исследования влияния горного давления на вертикальные шахтные стволы с капиталоемкой конструкцией крепи является не получение конкретных инженерных решений при исследовании на экстремум общих функций, в связи с отсутствием возможности геомеханического мониторинга состояния породного массива, а установление на базе фактической геологической информации области рациональных значений параметров локального воздействия породного массива на контур и крепь ствола с построением модели поведения массива. Модель должна обладать свойствами открытой системы и отображать представление об объекте и протекающих в нем процессах, исходя из имеющейся на момент исследования геологической информации. Такой методологический подход позволит принимать основополагающие решения при проектировании строительства стволов, в дальнейшем трансформируемые в конкретные инженерные конструкции сооружения с учетом существенных для объекта техногенных и антропогенных факторов. Реализация изложенного позволит в процессе проектирования учитывать неопределенность исходной информации (особенно горно-геологической), разницу во времени между принятием решения и его реализацией, а также принципиальные трудности изменения этих решений при строительстве стволов, характеризующиеся совокупностью переменных природных, техногенных и антропогенных факторов, взаимодействие которых создает множество комбинаций, отражающих специфику требований к технологии строительства объекта.

2. Эффективность исследований влияния горного давления на вертикальные шахтные стволы определяется уровнем типизации как самих

элементов единой геосистемы «массив-технология-объект», так и их взаимосвязей, учитывающих изменение техногенных и антропогенных факторов, и зависит от уточненной геологической информации при геомеханическом мониторинге состояния массива как основы для прогнозирования проявлений горного давления на контур и крепь ствола, а при невозможности ее реализации, на данном этапе проектирования, использованием комплексного метода прогнозирования проявлений горного давления, включающего аналитические, инженерные и аналоговые методы.

3. Поддержание оптимального режима строительства вертикальных шахтных стволов, а также основных конструктивных параметров управляемых технологий, в том числе при креплении как наиболее сложном технологическом процессе, основывается на гибком реагировании к поведению массива посредством оперативного регулирования различных его параметров по данным геомеханического мониторинга.

#### Литература

1. Корчак, А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений / А.В. Корчак // Сб. избр. трудов ученых Московского государственного горного университета «Научное обоснование подземного строительства» / Под общ. ред. Б.А. Картозии. – М.: издательство Академии горных наук, 2001. – С. 197-227.
2. Кологривко, А.А. Влияние горного давления на стенки технологической шахты в стесненных условиях городского строительства / А.А. Кологривко, Д.А. Иголка, Е.М. Лукша // Сб. трудов XI междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2013. – С. 67-70.
3. Кошелев, К.В. Охрана и ремонт горных выработок / К.В. Кошелев, Петренко Ю.А., Новиков А.О. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
4. Основания и фундаменты: Справочник / Г.И. Швецов [и др.]. / Под ред. Г.И. Швецова. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.
5. Научное обоснование подземного строительства: Избр. труды ученых Московского государственного горного университета / Под общ. ред. Б.А. Картозии. – М.: издательство Академии горных наук, 2001. – 351 с.
6. Киреев, А.М. Управление проявлениями горного давления при строительстве нефтяных и газовых скважин / А.М. Киреев, В.С. Войтенко. Том 1. – Тюмень: Издательско-полиграфический центр «Экспресс». – 2006. – 280 с.
7. Ершов, Л.В. Механика горных пород / Л.В. Ершов, Л.К. Либерман, И.Б. Нейман. – М.: Недра, 1987. – 192 с.
8. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 31 с.
9. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИИМ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.
10. Будник, А.В. Напряженно-деформированное состояние нарушенной бетонной крепи ствола / А.В. Будник, А.Н. Лапко, Л.В. Жигачев и др. // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Донецк: Норд-пресс, 2003. – Вып.3. С.105-109.

11. Шилин, А.А. Стратегия ремонта железобетонных конструкций подземных сооружений с учетом их состояния и требуемого уровня надежности / А.А. Шилин // Сб. избр. трудов ученых Московского государственного горного университета «Научное обоснование подземного строительства» / Под общ. ред. Б.А. Картозии. – М: издательство Академии горных наук, 2001. – С. 301-344.
12. Кологривко, А.А. Применение способа взрывоуплотнения горных пород в промышленности / А.А. Кологривко // Горная механика. – 2003. – №1. – С.79-81.
13. Кологривко, А.А. Прогнозирование параметров шурфов, проводимых способом взрывоуплотнения и одновременного крепления / А.А. Кологривко // Сб. науч. трудов 8-ой междунар. конф. «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» / Под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТулГУ, 2012. – С. 113-117.
14. Картозия, Б.А. Горная наука – строительная геотехнология / Б.А. Картозия // Сб. избр. трудов ученых Московского государственного горного университета «Научное обоснование подземного строительства» / Под общ. ред. Б.А. Картозии. – М.: издательство Академии горных наук, 2001. – С. 8-35.
15. Протосеня, А.Г. История кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Санкт-Петербургского государственного горного университета / А.Г. Протосеня, Ю.Н. Огородников. СПб: СПГГУ, 2012. – 224с.
16. Литвинский, Г.Г. Концепция новой классификации проявлений горного давления / Г.Г. Литвинский // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Харьков: РИП «Оригинал», 2000. – С.17-21.
17. Богатов, Б.А. Моделирование и обоснование решений в горном производстве / Б.А. Богатов, Ю.А. Шпургалов. – Минск: ОО БГА, 2002. – 367 с.
18. Шпургалов, Ю.А. Компьютерное моделирование принятия решений в производственных задачах / Ю.А. Шпургалов. – Минск: БНТУ, 2009. – 217 с.
19. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1989. – 198 с.
20. Булычев, Н.С. Крепь вертикальных стволов шахт / Н.С. Булычев, Х.И. Абрамсон. – М.: Недра, 1987. – 301 с.

УДК 622.693.2.004.4

## **ФОРМИРОВАНИЕ СОЛЕОТВАЛА ИЗ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ СПОСОБОМ ГИДРОНАМЫВА**

**Журавков М.А.<sup>1</sup>, Шемет С.Ф.<sup>2</sup>, Кологривко А.А.<sup>3</sup>,  
Круподеров А.В.<sup>1</sup>, Коновалов О.Л.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «Белгорхимпром», г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

*Изложены технические решения по организации хвостового хозяйства калийного производства, основанные на использовании площадей отработанных шламохранилищ в качестве оснований расширяемых солеотвалов с обеспечением безопасности их эксплуатации. Приведены результаты исследований по формированию способом гидронамыва солеотвала из галитовых отходов на слабом основании.*