

изводились ступенчато, по 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки, непрерывно, без толчков, со скоростью нагружения 0,2–0,3 МПа/с. На каждой ступени нагрузки делались пятиминутные выдержки, во время которых производились снятия показаний по приборам: сразу же после приложения нагрузки и после пятиминутной выдержки.

Напряженно-деформированное состояние бетона опытных образцов исследовалось с помощью механических индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм. Деформации бетона опытных образцов измерялись на боковых гранях основного сечения. На каждом образце были установлены по три индикатора, располагаемые по высоте. Отсчеты по индикаторам снимались вплоть до разрушения образцов.

В результате экспериментального исследования установлено, что при нагружении опытных моделей колонн с пространственными каркасами разрушающая нагрузка составила 143,3 кН, со спиральным армированием – 155,6 кН, а контрольных не армированных образцов – 132,6 кН.

Деформации бетона контрольных не армированных образцов особо интенсивно протекали в верхней части и постепенно затухали к опоре, что приводило к разрушению оголовка модели колонны. Развитие деформаций армированных образцов имело равномерный характер по всей высоте сечения, и разрушение элемента происходило в средней части модели колонны.

Проведенные испытания показали, что армирование пространственными и спиральными каркасами не значительно увеличивает несущую способность железобетонной обоймы усиления колонны, но позволяет более равномерно распределить напряжения и деформации по всей высоте сечения обоймы усиления.

Список литературы

- 1 Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования : ТКП 45-1.04-305-2016*. – Введ. 30.12.16. – Минск : Стройтехнорм, 2018. – 107 с.
- 2 Реконструкция зданий и сооружений : учеб. пособие для вузов / А. Л. Шагин [и др.] ; под общ. ред. А. Л. Шагина. – М. : Высш. шк., 1991. – 352 с.
- 3 Лазовский, Д. Н. Проектирование реконструкции зданий и сооружений : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. Ч. 2 : Оценка состояния и усиление строительных конструкций / Д. Н. Лазовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – 340 с.
- 4 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости : ГОСТ 8829–94. – Введ. 11.07.97. – Минск : Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве РФ, 1997. – 26 с.

УДК 622.25:004.925.84

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТВОЛОВ ШАХТ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д. А. ДИУЛИН

ОАО «Трест Шахтспецстрой», Солигорск-4, Республика Беларусь

М. Г. КУЗНЕЦОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Прочность и устойчивость стволов шахт играют важную роль в безопасности их эксплуатации. С увеличением глубины выработки скорость деформации сооружений и механизм их возможных разрушений не всегда предсказуемы. Давление горных пород, негативное влияние воздушной среды и подземных вод, коррозии бетона и металла снижают эксплуатационные свойства и надежность крепи вертикальных стволов. Для анализа прочности и прогнозирования безопасного срока эксплуатации таких сооружений может быть применено компьютерное моделирование.

Цель представленной работы заключается в исследовании особенностей компьютерного моделирования вертикальных стволов шахт с учетом негативного влияния окружающей среды в течение длительного периода эксплуатации.

Основа для моделирования вертикальных стволов шахт – геологическая модель и геологическая база данных, на основе которой определяются типы горных пород, структурные неоднородности и

свойства материала, поскольку неточная или неадекватная модель может привести к большим погрешностям конечного результата. В научных исследованиях различных авторов часто исследования механики горных пород отождествляются с их лабораторными испытаниями, главный недостаток которых состоит в том, что количество таких образцов ограничено по размеру, типичные образцы, испытанные в лаборатории, представляют собой лишь очень небольшую долю процента от объема массы породы. Кроме того, сохранившиеся после сбора и подготовки к процессу тестирования экземпляры представляют собой достаточно предвзятую выборку. Поэтому эти результаты могут использоваться для оценки свойств массива горных пород только с большими допущениями. В то же время провести лабораторные испытания слоев земных пород на месте тоже не представляется возможным.

Горная масса обычно состоит из матрицы дискретных элементов. Эти части могли быть выветрены, вымыты или изменены в разной степени, свойства поверхностей контакта между элементами могут существенно варьироваться.

Среди численных методов, применяемых к расчетам напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) стволов шахт и массива вокруг выработок, наиболее часто встречается метод конечных элементов (далее – МКЭ).

Существуют программы для анализа устойчивости откосов горных пород/грунта: GEO5 Rock Stability, Stereonet, Dips, SV Slope, RockPlane, Slide 2/Slide 3, Wedge/SWedge, Scoops3D. Однако их возможности ограничены, в основном – моделированием поверхностных горных пород. Для решения задач инженерной геотехники и проектирования может быть использована программа Plaxis, при этом параметры стволов при длительной их эксплуатации рассчитать в ней довольно проблематично. Кроме того, зачастую необходим анализ взаимодействия различных фаз: газов и жидкостей с твердыми телами.

Поэтому для статических и динамических расчетов конструкций вертикальных шахт часто применяются программные комплексы, реализующие МКЭ для широкого круга задач, в том числе мультифизических. Например, ANSYS, ABAQUS, MSC.Nastran и пр.

Многие исследователи для решения контактной задачи используют плоские (двумерные) модели, однако эти модели не позволяют получить полную картину напряжений и деформаций ствола шахты в зависимости от окружающей среды и глубины бурения.

При моделировании вертикальных шахтных стволов также нужно учитывать наличие дефектной среды вокруг области выработки, включающей локальные зоны деформирования и разрушения.

Проектные размеры бетонной крепи и ее расчетные прочностные параметры также не совпадают с фактическими, что обусловлено неточностью установки опалубки, ее эксплуатационной деформацией, отличием запланированного объема вывалов породы от фактических, наличием «холодных швов» и др. С течением времени бетонная крепь постепенно теряет свои первоначальные свойства, рыхлеет, истончается. Реальную толщину бетона вокруг ствола можно определить, например, акустическими методами, однако подобное оборудование не всегда доступно по цене.

Кроме того, во время проходки ствола может быть нарушена целостность ледопородного цилиндра, в результате чего происходит прорыв в ствол песчаного пльвуна и затопление ствола до определенной отметки, что отрицательно впоследствии сказывается на эксплуатационной пригодности бетонной части крепи ствола и приводит к преждевременному коррозионному разрушению внутренней и наружной поверхностей бетона, а также существенному снижению несущей способности крепи. Например, такая ситуация наблюдается со стволом № 1 рудника 4 РУ ОАО «Беларуськалий», пройденного с применением буровзрывных работ (БВР) до проектной отметки – 834,7 м и введенного в эксплуатацию в апреле 1976 года (диаметр в свету – 7,0 м).

Давление горных пород по длине шахтного ствола распределено неравномерно. Например, на руднике 4 РУ ОАО «Беларуськалий» при ведении проходческих работ забоем ствола пересекались породы различных геологостратиграфических подразделений, существенно различающихся по составу и свойствам. Глинисто-мергелистая толща (далее – ГМТ) сложена преимущественно глинистыми мергелями и аргиллитоподобными глинами, с глубины ~340 м до отметки 417 м в разрезе ГМТ появляются субгоризонтальные прослои гипса мощностью 5–10 см. Ниже по разрезу породы ГМТ характеризуются наличием частого переслаивания глин и мергелей с сульфатно-карбонатными породами. Прочность пород на данном интервале не превышает 10–15 МПа. Соленосная толща, вскрытая на глубине 545,7 м, представлена каменной солью, загрязненной глини-

стым материалом, с прослоями глинисто-карбонатных пород. Стволом вскрыты промышленные калийные горизонты на глубине 589,8 и 795,6 м. Прочность глинистых и карналлитовых пород не превышает 15 МПа, каменной соли и сильвинита изменяется в пределах 25–30 МПа. Кроме прочности указанные породы сильно отличаются по водоносности. Мезозойско-кайнозойские пески и супеси сильно обводнены и представляют собой водоносный комплекс, а девонские отложения представлены слабообводненными и слабоводопроницаемыми породами ГМТ.

Кроме того, с изменением длины ствола изменяется и его жесткость, что вызвано изменением плотности и толщины заполнителя закрепного пространства от сечения к сечению. Поэтому для проведения расчетов необходимо определить характер естественного поля напряжений на рассматриваемом участке и установить значения главных напряжений в массиве, а также учесть изменения этих параметров в динамике в зависимости от срока эксплуатации вертикальной шахты.

При компьютерном моделировании вертикальных стволов шахт применяются следующие граничные условия: для нижней грани ограничены вертикальные перемещения, для боковых граней – перемещения в направлении, перпендикулярном плоскостям граней, верхняя грань модели обычно загружается равномерно распределенным вертикальным давлением от вышележащей породной толщи.

Реальная форма породного контура и геометрия сечения ствола при буровзрывном способе проходки обычно искажены. Вместо предполагаемых гладких поверхностей по факту образуется неровная поверхность со сложной геометрией. С течением времени образовавшиеся неровности запланированного концентрического контура становятся более выраженными, что обусловлено влиянием отслаивания, коррозии и вымывания. В результате этого горизонтальное сечение монолитной бетонной крепи представляет собой фигуру неправильной формы с переменной жесткостью.

Все нюансы учесть при создании компьютерной модели практически невозможно, тем более, что вероятность присутствия многих из них носит стохастический характер. Поэтому возможно принятие некоторых допущений. Для создания модели конкретного сооружения необходимо провести отдельное исследование в зависимости от геологических характеристик горных пород, использовать соответствующие корректирующие коэффициенты с поправкой на время и условия функционирования ствола шахты, в качестве исходных для моделирования данных использовать результаты исследований толщины, прочности и состояния металлической и бетонной крепи неразрушающими методами.

УДК 696.48-67

МОДИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М. Н. ДОЛГАЧЕВА, Т. В. ЯШИНА,

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Целью модификации бетонов в транспортном строительстве является создание композитов с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами, отвечающих требованиям долговечности и надежности транспортных объектов.

Современные бетоны как композиционные материалы отличаются наличием в составе высокоэффективных многокомпонентных добавок, способных модифицировать реологические и прочностные свойства бетонной смеси и бетона.

Улучшение технологических параметров бетонной смеси отмечается при применении более пластичных составов, содержащих сильнопластифицирующие добавки (с оценкой подвижности по растекаемости смеси до 60 см). Положительная отличительная особенность – снижение водоцементного отношения при высокой удобоукладываемости, способствующее повышению прочности и других конструктивно-технических свойств бетона.

Учитывая возможность замены части непрогидратировавших зерен цемента минеральными тонкодисперсными наполнителями, следует компенсировать потерю подвижности введением гиперпластификаторов. Повысить эффективность введения микронаполнителей возможно путем применения бинарных кварцево-доломитовых наполнителей, приготовления бетонной смеси по интенсивной раздельной технологии [1].