

6
А-30

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

На правах рукописи

А. Я. СИНЯЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ШАХТНОГО СТВОЛА
В НАКЛОННО-СЛОИСТОМ ГОРНОМ МАССИВЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации, представленной на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — доктор технических наук
Ж. С. ЕРЖАНОВ

ФРУНЗЕ, 1966

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

На правах рукописи

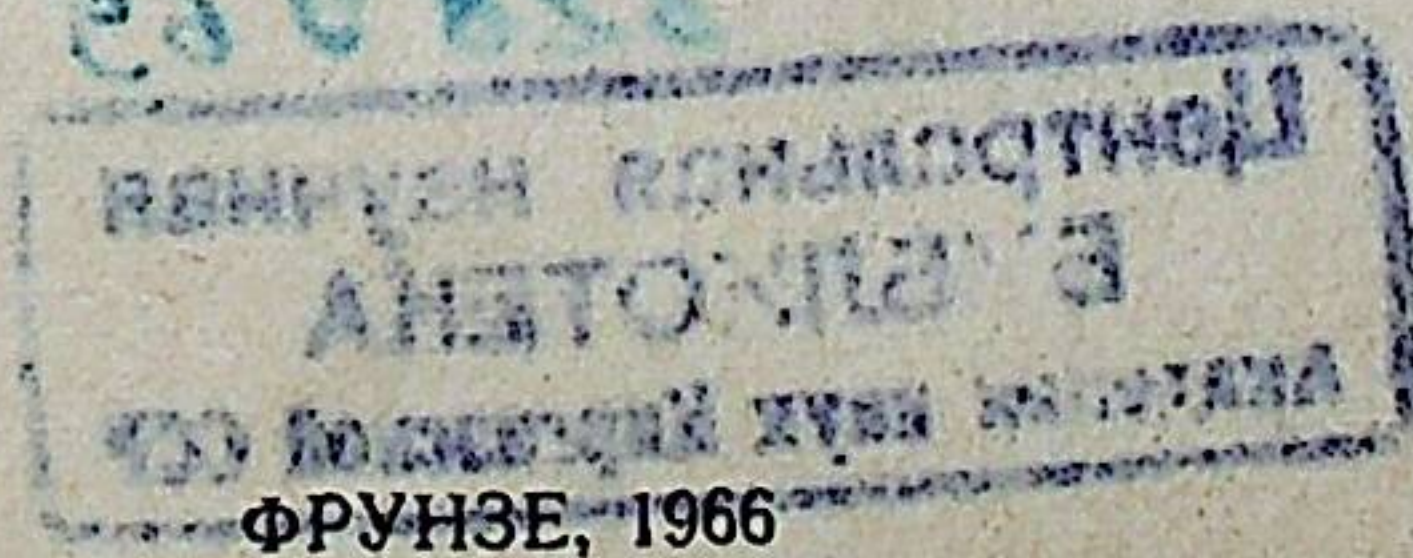
А. Я. Синяев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ШАХТНОГО СТВОЛА
В НАКЛОННО-СЛОИСТОМ ГОРНОМ МАССИВЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации, представленной на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — доктор технических наук
Ж. С. ЕРЖАНОВ



Проектирование шахтного ствола невозможно без обоснованного инженерного расчёта на базе знания реальных условий проявления горного давления и особенностей технологии строительства и эксплуатации. Необходимость надлежащего исследования статической работы шахтного ствола с целью обоснования его расчётной схемы неоднократно подчеркивалась на различных научных, научно-технических и научно-координационных конференциях и совещаниях. Так, на Всесоюзном совещании по вопросам горного давления в вертикальных шахтных стволах (Москва, 1961 г.) и на I Всесоюзной научной конференции по механике горных пород (Алма-Ата, 1965 г.), где широко обсуждались результаты исследования, полученные в последние годы, намечены основные направления дальнейших изысканий.

Существующие способы определения элементов горного давления в шахтных стволах, основанные на методах современной механики горных пород, не учитывают наличие широко распространённой наклонной слоистости горного массива.

Целью настоящей работы является обоснование расчётной схемы для вертикального шахтного ствола в наклонно-слоистом горном массиве с учётом свойств ползучести последнего.

Работа выполнена при следующих предпосылках.

Рассматривается сравнительно однородный горный массив, представленный параллельными плоскими слоями, наклонёнными к горизонту под произвольным углом φ . Наибольшая мощность (толщина) слоя, по крайней мере, на один порядок меньше характерного линейного размера поперечного сечения горной выработки. Этот горный массив моделируется сплошным однородным анизотропным телом (массивом), а именно трансверсально-изотропным с плоскостью изотропии, наклонённой под углом φ . Нетронутый массив, не нарушенный выработкой, пребывает под действием лишь собственного веса, заполняя нижнее полупространство. Распределение напряжений в нетронutom массиве положено удовлетворяющим принципу симметрии его физических свойств.

Напряжённое состояние анизотропного массива вокруг шахтного ствола и давление на крепь последнего связано с проявлениями свойств упругости и линейной ползучести горных пород. В замкнутом виде методами теорий упругости анизотропного тела и ползучести горных пород найдено распределение напряжений и перемещений на заданной глубине шахтного ствола при различных значениях угла φ . Влиянием призабойной области ствола и скорости его проходки пренебрежено. Крепь рассматривается как сплошное однородное изотропное тонкостенное кольцо, упругость которого эквивалентна податливости реальной крепи. Результаты расчётов обнаружили характерные особенности влияния угла падения пород на разнообразные проявления горного давления в вертикальных выработках.

Диссертация представлена четырьмя главами.

В I главе подробно излагается состояние вопроса об аналитическом исследовании статической работы шахтного ствола, результаты имеющихся натуральных наблюдений за проявлениями горного давления в таких стволах и основные предположения используемого в работе метода исследования. Рассмотрение массива горных пород как некоей сыпучей среды (М. М. Протодьяконов, П. М. Цимбаревич, В. Г. Березанцев и другие исследователи), односторонне учитывая механические свойства пород, не объясняет многие проявления горного давления, связанные в частности с влиянием слоистости массива и свойств его ползучести. В известных исследованиях А. Н. Динника, Г. Н. Савина, С. Г. Лехницкого и других авторов горный массив рассматривается как идеально упругая среда. Несмотря на строгость постановки задачи, рассмотрение лишь свойства упругости горных пород, к сожалению, не раскрывает в полной мере механизм взаимодействия выработки с реальным горным массивом.

В основе современных методов расчета горного давления лежат представления о неупругих деформациях горных пород, в частности, ползучести горных пород. К. В. Руппенейт, Ю. М. Либерман, Ж. С. Ержанов, М. И. Розовский и другие исследователи на основе экспериментального изучения реологических свойств горных пород, используя различные исходные предположения, аналитически исследовали напряженно-деформированное состояние горного массива вокруг шахтного ствола, обосновывая методы оценки устойчивости его породных стенок и расчета горного давления на крепь. В работе этих авторов горный массив принимается как однородная изотропная среда, физические свойства которого описаны той или иной реологической моделью. Как известно, горные породы, в особенности осадочные, обладают в той или иной степени выраженной наклонной слоистостью. Поле напряжений и

перемещений в таком массиве вокруг шахтного ствола отличается от соответствующего поля в изотропном массиве, что может приводить, в частности, к неравномерному распределению давления по периметру крепи шахтного ствола. Однако до настоящего времени в теоретических исследованиях не уделялось должного внимания учету наклонной слоистости горного массива.

Результаты натуральных исследований, в особенности обширных многолетних работ ВНИМИ, выполненных под руководством Г. А. Крупенникова, четко обнаруживают разнообразие влияния угла падения пород на проявления горного давления в шахтных стволах. Как отмечает Г. А. Крупенников, в большинстве случаев, в условиях наклонного и крутого напластования пород (Донбасс, Караганда, Кузбасс и др.) давление на крепь шахтных стволов, как правило, распределено неравномерно. Обследование состояния стенок стволов шахт в Донецкой и Луганской областях, проведенное Ю. А. Онищенко, свидетельствует о зависимости характера вывалов от угла падения пород.

Глава II посвящена определению напряжений и перемещений пород вокруг незакрепленного шахтного ствола в зависимости от угла падения пород.

Согласно принятой модели горного массива плоскость изотропии совпадает с плоскостью напластования пород. В прямоугольной декартовой системе координат, где ось аппликат направлена вертикально вниз, оси абсцисс и ординат — соответственно вкост простирания и по простиранию пород, найдены коэффициенты деформаций в уравнениях обобщенного закона Гука для трансверсально — изотропного тела с плоскостью изотропии, наклоненной к горизонту под углом φ . Положено, что в нетронутым горным массиве, находящемся под действием лишь собственного веса, главные напряжения имеют место на площадках, нормальных к упомянутым координатным осям, и в нем возможны лишь следующие перемещения $u^0 = v^0 = 0, w^0 = w(z)$.

Начальное упруго-мгновенное состояние шахтного ствола складывается из основного, обусловленного собственным весом нетронутым массива, и дополнительного, возникающего благодаря наличию выработки. Для определения дополнительных напряжений на некоторой глубине z выделен параллельно дневной поверхности слой массива малой толщины. Этот слой рассматривается пребывающим в обобщенном плоском напряженном состоянии с граничными условиями на бесконечности, соответствующими нормальным напряжениям (боковому давлению) в нетронутым горным массиве.

Далее известными методами теории упругости анизотропного тела, разработанными С. Г. Лехницким, Г. Н. Савиным

и другими исследователями, найдены функции напряжений и получены формулы компонент напряжений и перемещений массива вокруг ствола в зависимости от угла φ .

В реологическом плане это решение отвечает начальному упруго-мгновенному состоянию горных пород вокруг ствола. Последующее состояние, наступающее вслед за упруго-мгновенным, обуславливается влиянием фактора времени — проявлением свойств ползучести пород. Исследование основано на теории ползучести горных пород, разработанной Ж. С. Ержановым. Согласно принципу Вольтерра — Работнова, упругие постоянные, фигурирующие в решении, следует заменить соответствующими временными операторами, представляющими собою функции параметров ползучести α и δ . Используемая модель горного массива характеризуется пятью упругими постоянными. Соответствующие временные операторы Ю. Н. Работнова должны устанавливаться из экспериментов над образцами горных пород. Но осуществление таких экспериментов весьма сложно. Поэтому естественно ограничить число независимых ядер, используя некоторые упрощающие положения, и определить искомые ядра из более простых видов экспериментов, например, на одноосное сжатие. В данной работе предполагается, что независимыми являются ядра интегральных операторов при модулях Юнга и сдвига.

Для нахождения временных операторов при коэффициентах Пуассона использованы некоторые соотношения теории упругости анизотропного тела и предположение об отсутствии объемного последствия. Комбинации различных временных операторов расшифрованы путем привлечения результатов, полученных ранее Я. В. Быковым и М. И. Розовским.

Указаны выражения компонент напряжений и перемещений в породных стенках ствола в зависимости от угла падения пород. Оказалось, в отличие от изотропного массива, влияние времени сказывается как на напряжениях, так и на перемещениях точек анизотропного наклонно-слоистого горного массива.

В главе III рассматривается взаимодействие упругой (податливой) крепи шахтного ствола с наклонно-слоистым горным массивом с целью определения расчетного давления на эту крепь.

Как известно, горное давление на крепь накапливается в процессе развития ползучести окружающих горных пород, поэтому взаимодействие крепи шахтного ствола с горным массивом должно основываться на надлежащем учете ползучести пород.

Условия сопряжения крепи с породой оказывают влияние на характер этого взаимодействия: так, работа сборных крепей ближе к условиям сопряжения без сцепления с породными

ми стенками, а монолитные бетонные крепи — с жестким сцеплением. В реальных условиях не исключена возможность существования некоторого промежуточного случая, причём эти условия сопряжения могут меняться с течением времени. Рассматривается монолитная бетонная крепь, наделённая свойствами изотропной упругости; контакт с породными стенками принимается непрерывным и достаточно плотным. Начало взаимодействия крепи и массива положено совпадающим с началом проявления свойств ползучести пород.

Так как ползучесть — процесс, протекающий во времени, то компоненты напряжений и перемещений крепи и породы удовлетворяют как начальным, так и граничным условиям задачи. Крепь рассматривается как тонкостенное кольцо, внешнее контактное давление на которое распределено по закону $p = p_0 + q_0 \cos 2\theta$, где θ — полярный угол. Величины p_0 и q_0 найдены из условия совместной работы крепи с породами. Полученные результаты указывают на явную зависимость элементов напряжённого состояния пород вокруг ствола и крепи последнего от угла напластования пород.

В IV главе приводится числовой анализ влияния величины угла падения пород на перемещения стенок незакрепленного шахтного ствола и распределение давления на его упругую крепь. Для определения анизотропных параметров массива проведены специальные опыты над девятью образцами слоистого песчаника (Караганда). Размеры образцов $50 \times 50 \times 150$ мм; в основу обработки опытных данных об их ползучести положен общий закон линейного деформирования. Получены следующие средние значения упругих параметров трансверсально — изотропного тела: $E_1 = 1,52 \cdot 10^5$ кг/см², $E_2 = 0,96 \cdot 10^5$ кг/см², $G_2 = 0,49 \cdot 10^5$ кг/см², $\nu_1 = 0,21$, $\nu_2 = 0,28$. Анизотропия свойств ползучести по различным направлениям слоистости заметно не проявилась; средние величины параметров ползучести, установленные в режиме прямой ползучести по девяти породным образцам, оказались равными $\alpha = 0,65$; $\delta = 0,0023$ сек⁻¹. При расчетах использованы также опытные данные других авторов. Расчеты выполнены для различных толщин монолитной бетонной крепи.

Анализ выявил характер неравномерности распределения напряжений и перемещений вокруг ствола. Эпюры тангенциальных нормальных напряжений и радиальных перемещений точек контура ствола, обусловленные свойствами ползучести, зависят от угла падения пород: при горизонтальной слоистости они распределены равномерно. При наклонном и крутом угле падения неравномерность их распределения становится весьма значительной. На характер указанной неравномерности существенно влияют также величины параметров упругой анизотропии.

Как известно, перемещения породных стенок ствола, обусловленные ползучестью пород, определяют реальную статическую работу ствола, ибо горное давление на крепь предопределяется характером проявления этих перемещений. Последние удается измерять непосредственно в натуральных условиях, что дает возможность проверить надежность их расчетного определения.

Результаты расчетов обнаружили зависимость распределения давления на крепь от величины угла падения пород, особенно сильно сказывающуюся при крутых углах падения пород. Здесь также существенно проявляется влияние параметров анизотропии: чем значительнее анизотропия тела, тем заметнее ее влияние на неравномерность распределения давления. С уменьшением толщины крепи, при прочих равных условиях, интенсивность давления на крепь уменьшается.

Полученные результаты сопоставлены с данными натуральных наблюдений.

Реферлируемая работа заключена следующими выводами:

1. Результаты многочисленных натуральных наблюдений за разнообразием проявления горного давления в вертикальных шахтных стволах Донбасса, Караганды, Кузбасса, проведенные Г. А. Крупенниковым, Ю. А. Онищенко, А. М. Янчуром, К. С. Шмоновым и другими исследователями, отчетливо обнаружили влияние угла падения пород на распределение горного давления по периметру крепи и смещения породных стенок шахтного ствола, а также вывалов из породных стенок и т. д.

Однако в имеющихся исследованиях горного давления в вертикальных выработках, являющихся теоретической основой для расчётных схем, этот факт влияния наклонной слоистости пород на статическую работу ствола не нашел должного отражения.

2. В данной работе, посвященной аналитическим исследованиям работы шахтного ствола в наклонно-слоистом горном массиве, последний моделируется однородным трансверсально-изотропным телом. Предполагается, что наибольшая мощность (толщина) слоя массива, по крайней мере, на один порядок меньше характерного линейного размера поперечного сечения горной выработки. Плоскость напластования пород и плоскость изотропии этой анизотропной модели параллельны, что позволило проанализировать влияние угла наклона φ напластования пород (плоскости изотропии) на распределение напряжений и перемещений в горном массиве вокруг шахтного ствола и в самой крепи выработки. Причём, соответственно теории ползучести горных пород, разработанной Ж. С. Ержановым, учтено проявление свойств линейной ползучести горного массива.

3. Показано, что ползучесть горных пород сказывается как на напряжениях, так и на перемещениях вокруг незакрепленного шахтного ствола. Это одна из принципиальных особенностей проявления неустановившегося горного давления в шахтном стволе, пройденном в наклонно-слоистом горном массиве; как известно, в изотропном массиве вокруг незакрепленной выработки ползучесть пород сказывается лишь на перемещениях.

4. Совместная работа податливой крепи (тонкостенное кольцо) с горным массивом рассмотрена как контактное взаимодействие упругой (крепь) и упруго-ползучей (горный массив) сред. Это выявило неравномерность распределения контактного горного давления по периметру крепи, связанную с величиной угла падения плоскости напластования пород массива.

5. Сопоставление полученных результатов с данными натуральных наблюдений Г. А. Крупенникова, относящихся к донбасским породам, указывает на следующую картину неравномерности распределения горного давления на крепь шахтного ствола в зависимости от угла падения пород (см. таблицу)

№№ п. п.	Расчетные		Наблюденные	
	φ , град.	Δ	φ , град.	Δ
1	15	0,13	12—14	0,40
2	30	0,44	35—44	0,56
3	45	0,72	52—56	0,58
4	60	0,76	58	0,62

Здесь Δ — отношение среднеквадратичного отклонения величины нагрузок к величине средней нагрузки по периметру крепи.

Таким образом результаты аналитического исследования отчетливо отражают влияние угла падения пород на величины нагрузок, воспринимаемых шахтной крепью.

6. Результаты расчётов для разных значений исходных опытных данных (параметры упругости, анизотропии и ползучести, реальные толщины крепи, время стабилизации процесса ползучести в горном массиве) показали, что величины радиальных перемещений точек контура выработки (следовательно устойчивости породных стенок шахтного ствола) существенно зависят от угла наклона плоскости напластования горных пород массива и его параметров анизотропии. При горизонтальном напластании пород ($\varphi=0$) распределение радиальных перемещений породных стенок ствола, обуслов-

лённых проявлением свойств ползучести горного массива, равномерно. При $0 < \varphi \leq 30^\circ$ появляется неравномерность распределения этих перемещений по контуру ствола, которая становится значительной при $\varphi \geq 45^\circ$. Зависимость распределения контактного давления на крепь ствола от угла наклона плоскости напластования пород особенно сильно сказывается при углах $\varphi \geq 45^\circ$. Здесь также очень существенное значение имеет упругая анизотропия пород — чем она значительнее, тем заметнее неравномерность распределения давления. При этом с уменьшением толщины упругой крепи интенсивность давления на крепь уменьшается.

* * *

Материалы диссертации доложены и обсуждены на:

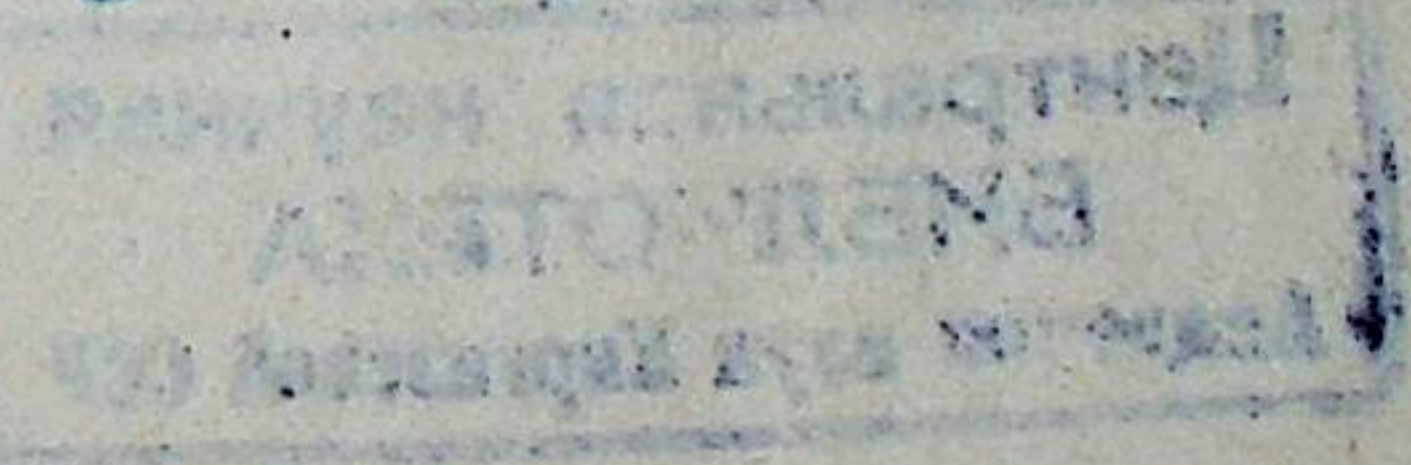
1. Первой Казахстанской межвузовской научной конференции по математике и механике (Алма-Ата, 1963 г.)
2. Научно-координационном совещании по горному давлению СО АН СССР (Кемерово, 1964 г.)
3. Втором Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике (Москва, 1964 г.)
4. Первой Всесоюзной научной конференции по механике горных пород (Алма-Ата, 1965 г.)

* * *

Основные положения диссертации опубликованы в следующих статьях:

1. Ержанов Ж. С., Синяев А. Я. Напряжения в анизотропном массиве, ослабленном вертикальной выработкой круглого сечения. «Вестник АН КазССР», № 10, 1963 г.
2. Ержанов Ж. С., Синяев А. Я. Определение напряжённого состояния анизотропного (наклонно-слоистого) массива и его влияние на крепь вертикальной выработки. В кн. «Реологические вопросы механики горных пород». Изд. АН КазССР, Алма-Ата, 1964 г.
3. Сарсембаев А. А., Синяев А. Я., Матвеева В. П., Кудашов Е. Ф. Об определении упругих и временных деформаций по слоистым образцам, В кн. «Исследования по механике горных пород». Изд. «Наука», Алма-Ата, 1965 г.
4. Синяев А. Я. О влиянии угла падения плоскости напластования пород на напряжённое состояние вертикальной выработки. В кн. «Исследования по механике горных пород». Изд. «Наука», Алма-Ата, 1965 г.
5. Синяев А. Я. О статической работе шахтного ствола в наклонно-слоистом горном массиве. В кн. «Проблемы механики горных пород», Изд. «Наука», Алма-Ата, 1966 г., (в печати).

252888



УГ06205. Алма-Атинская типография № 2. Заказ № 212—300.