

И.А. Ефремов, И.И. Пожитько, Б.В. Бокий,
В.В. Шевченко, Н.М. Папазов

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЗОНЕ РАЗГРУЗКИ ПРИ БЕСЦЕЛИКОВОЙ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ

С помощью компьютерного моделирования исследован характер изменения горного давления в региональной зоне разгрузки при бесцеликовой отработке запасов. Получены новые закономерности перераспределения горного давления, позволяющие определить оптимальные места заложения подготавливающих выработок в региональной зоне разгрузки.

CHARACTER OF CHANGE OF A ROCK PRESSURE IN A REGIONAL UNLOADING ZONE AT PILLARLESS EXTRACTION

With the help of computer modeling the character of change of a rock pressure in a regional unloading zone is studied at pillarless extraction. The new laws of a rock pressures redistribution allowing to define of an optimum place of roadways location in this zone are received.

Большинство высокопроизводительных шахт Украины обрабатывают запасы угля на глубинах 60-800 м и более, а свыше десятка шахт превысили глубину 1000 м. При отработке запасов на такой глубине обостряются все проявления горного давления и, в первую очередь, это сказывается на устойчивости основных подготовительных выработок. Весьма типично, когда при этом основные наклонные выработки или магистральные штреки перекрепляют каждые 3 года, а то и чаще. Это не только увеличивает непроизводительные прямые затраты на ремонт и восстановление горных выработок, но и снижает экономические показатели работы угольных шахт из-за ухудшения условий вентиляции, транспорта и безопасности. Таким образом, разработка эффективных способов обеспечения устойчивости подготавливающих выработок глубоких шахт является одной из наиболее актуальных практических задач угольной промышленности в современной рыночной экономике.

Решение поставленной проблемы ведется несколькими путями. Главными из них являются применение крепей нового технического уровня, в том числе анкерных [1, 2], укрепление или восстановление несущей способности массива вмещающих пород [3, 4], использование локальной [5] или региональной [6, 7] разгрузки и др. Создание и использование региональных зон разгрузки является одной из наиболее эффективных альтернатив решения поставленной проблемы.

Следует отметить, что региональные зоны разгрузки от горного давления уже несколько десятилетий применяют такие шахты, как им. Засядько, им. Бажанова, им. Стаханова, им. Героев космоса и много других. Накоплен большой практический опыт создания и применения таких зон. Этот опыт получил теоретическое обобщение и развитие. Однако остаются нерешенные задачи, которые затрудняют применение новых технологий разгрузки горного массива с ростом глубины разработки. Так, в работах [6, 7] установлено, что региональные зоны разгрузки требуют защиты от воздействия смежных лав при развитии очистных работ. В процессе бесцеликового развития, зоны полных сдвижений в пределах разгрузочной и смежных лав объединяются, в результате чего уровень горного давления в ранее разгруженной зоне увеличивается, при-

чем разгрузка при полном развитии очистных работ исчезает. В результате подготавливающие выработки, расположенные в таких зонах, теряют устойчивость и при дальнейшей эксплуатации требуют почти таких же затрат на восстановление, как и в случае охраны их традиционными целиками. Нужно отметить, что размеры защитных целиков для сохранения региональных зон разгрузки достигают 150-300 м на глубинах 1000 м и более [8].

При оставлении таких целиков с двух сторон от региональной зоны разгрузки, теряются подготовленные запасы угля, сокращается длина выемочных столбов, и ухудшаются экономические показатели работы шахты в целом. Кроме того, создаются условия для самовозгорания угля, возникновения весьма опасных газодинамических явлений. В связи с этим, на больших глубинах разработки наметилась тенденция к полной отработке запасов, прилегающих к региональным зонам разгрузки.

Несмотря на то, что сама региональная разгрузка исчезает, ее первоначальный положительный эффект весьма существенен. Во-первых, полностью снимается проблема выбросов песчаника и угля при проходке подготавливающих выработок в предварительно разгруженной зоне. Во-вторых, концентрация горного давления в ранее разгруженных региональных зонах после полной отработки смежных запасов все равно существенно ниже, чем в традиционных охранных целиках. В-третьих, при бесцеликовой отработке запасов снимается проблема самовозгорания угля в целиках. Таким образом, целесообразность применения региональной разгрузки на больших глубинах не подлежит сомнению. Однако механизм исчезновения разгрузки в процессе отработки смежных запасов изучен не достаточно, что не дает возможности полностью использовать геомеханические резервы, заложенные в идее региональной разгрузки.

Целью данных исследований является исследование механизма перераспределения горного давления в региональной зоне разгрузки при бесцеликовой отработке смежных запасов в собственном пласте.

Исследования эволюции напряженного состояния в региональной зоне разгрузки проводилось в условиях шахты им. Засядько, обрабатывающей пласт m_3 на глубине 1200 м. Разработка уклонного шахтного поля ведется на основные уклонные выработки, которые проходятся в региональной зоне разгрузки, образованной путем отработки разгрузочной лавы по восстанию. Ширина зоны разгрузки составляет 220 м. Полевые уклоны углубляются участками по 250 м с таким расчетом, чтобы готовить новый ярус заблаговременно. С этих уклонов осуществляется проходка конвейерных штреков для лав, обрабатывающих запасы обратным ходом столбами по простиранию. Полевые уклоны расположены в почве отработанного пласта на расстоянии 12-20 м. Выработки пересекают слоистую толщу пород песчано-глинистого состава с пределом прочности на одноосное сжатие, в среднем, 50-60 МПа. На рис. 1 приведена схема планировки горных работ и очередность отработки смежных запасов в районе 16-х лав, которые в настоящее время ведут отработку запасов. Площадь сечения уклонов составляет 18 м², выработки закреплены податливой трехзвенной арочной металлической крепью через 0,8 м.

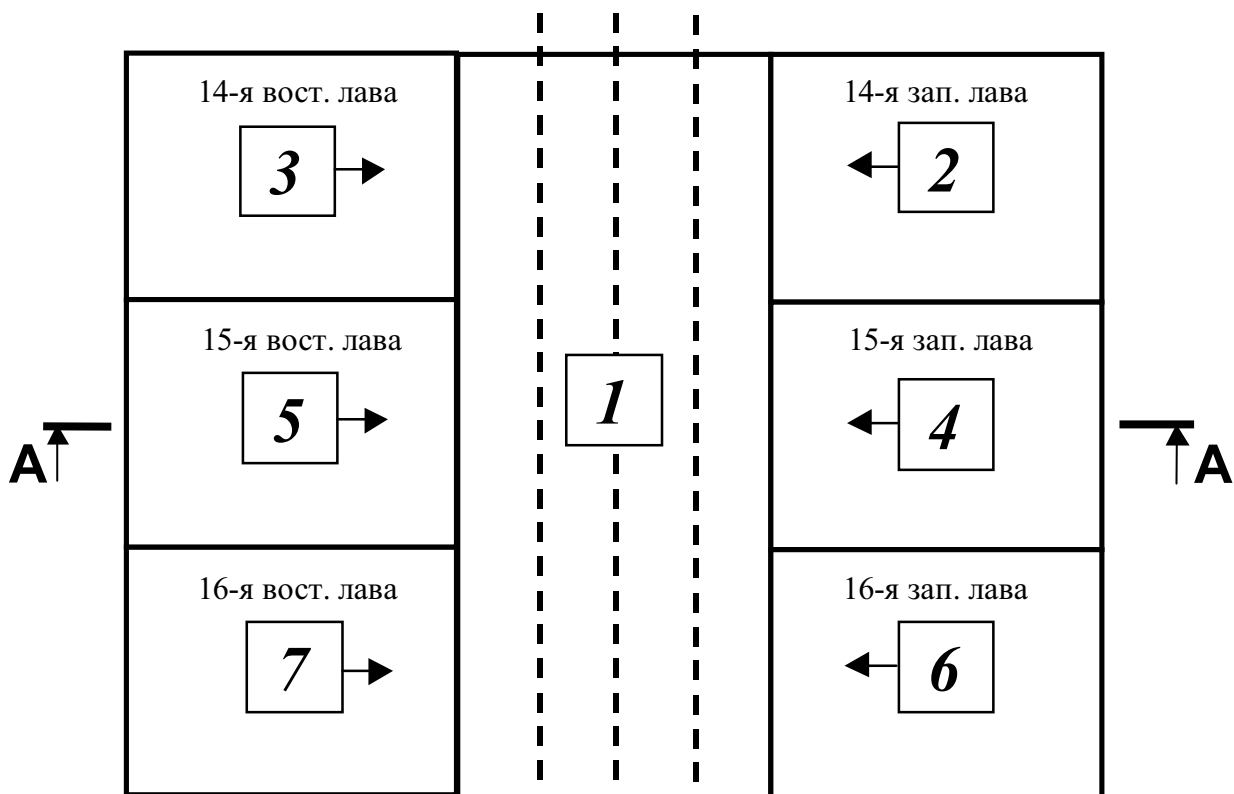


Рис. 1 - Схема развития очистных работ

В процессе эксплуатации уклонных выработок ведутся регулярные инструментальные наблюдения за конвергенцией на их контуре. При этом в крайних выработках, расположенных на расстоянии 50-60 м от границ региональной зоны разгрузки измеряются смещения кровли, почвы и боков в сечениях напротив середины лав, отрабатывающих смежные с региональной зоной запасы. В табл. 1 приведены результаты вычислений скоростей смещений по данным инструментальных наблюдений. В связи с тем, что отработка целиков на границе зоны разгрузки производилась по разным причинам не полностью, осуществляли корректировку скорости смещений на основании анализа тренда кривых смещений.

Анализ этих трендов показал, что интенсификация скорости конвергенции на контуре уклонных выработок происходила при подходе 13-х, 14-х и 15-х восточных и западных лав при сокращении ширины межлавных целиков до 320-150 м. В процессе сокращения ширины целика скорость смещений увеличивалась и достигала максимума после его полной отработки, после чего наблюдалось затухание конвергенции. Таким образом, все графики смещений пород на контуре полевых уклонных выработок имели качественно одинаковый вид. Кривые конвергенции состояли из трех участков: первый соответствовал периоду поддержания выработки в изолированной от смежных выработанных пространств зоне региональной разгрузки, второй – с максимальной крутизной наклона, был зафиксирован в период активного воздействия подходящей к границе региональной разгруженной зоны лавы и третий участок – с меньшей кру-

тизной, отвечал периоду эксплуатации выработки при установившемся новом уровне горного давления после влияния смежной лавы. На рис. 2 приведен пример такого графика смещений для случая сдвижений боков в людском ходке напротив 15-й западной лавы.

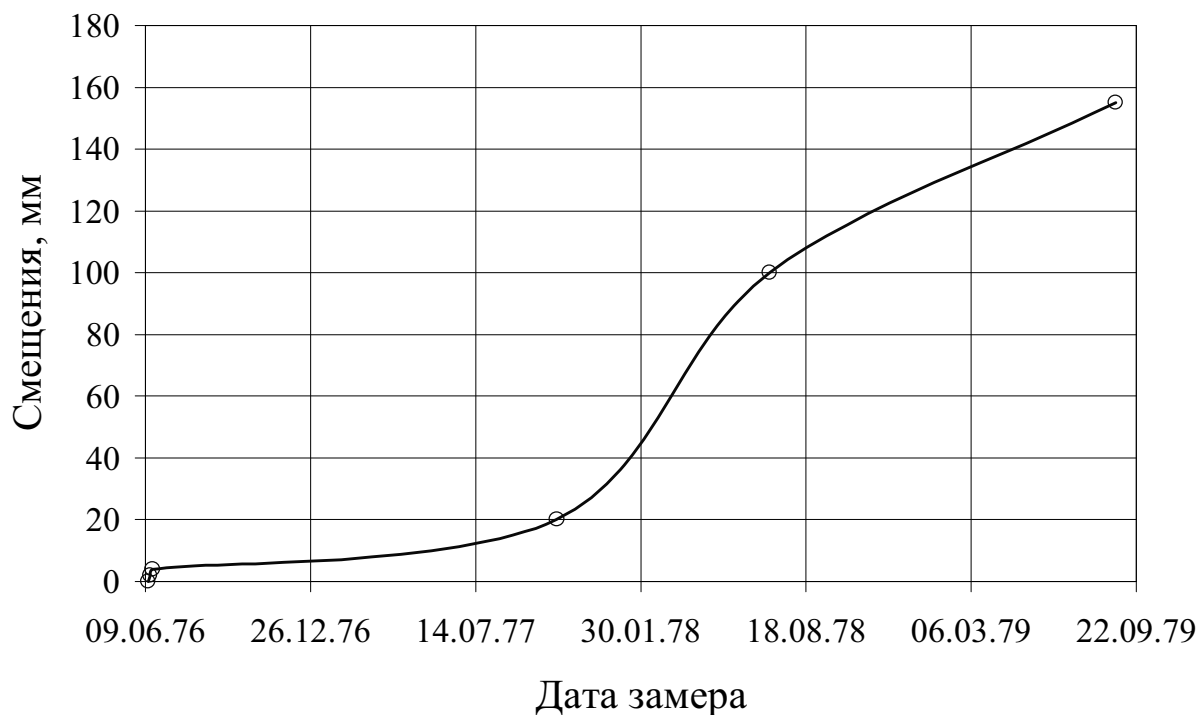


Рис. 2 - График сближения боков в вентиляционном штреке гор. 900 м напротив 15-й западной лавы (шахта им. Поченкова)

Следует отметить, что сечения выработок на экспериментальных участках были размещены не всегда в одних и тех же породах. Кроме того, не на всех станциях удалось провести инструментальные наблюдения в течение всех трех вышеупомянутых периодов эксплуатации выработок. В табл. 1 приведены результаты обработки данных инструментальных наблюдений. Все данные приведены для одних и тех же стандартных условий, соответствующих наблюдательным станциям напротив 15-х лав.

Эти станции дали максимальное количество исходной информации, а условия поддержания выработок были достоверно задокументированы. Часть данных была воссоздана по результатам разовых обмеров габаритов выработки (например, для станции №1). Приведение к одинаковым условиям, с точки зрения прочности вмещающих пород, осуществлялось на основании методики ВНИМИ [9]. Поскольку лавы были остановлены на разном расстоянии от границ региональной зоны разгрузки, скорость на тех станциях, где оставались целики значительных размеров (более 50 м) определялась путем интерполяции ожидаемых смещений на основе анализа тренда. Данные, которые воссоздавались на основе трендов и интерполяции отмечены курсивом.

Таблица 1 - Соотношения скоростей конвергенции на контуре полевых уклонов в левой и правой частях региональной зоны разгрузки

Номер станции	Скорость, мм/сут		Отношение скоростей после и до воздействия	Среднее	Соотношение
	Кровля	Бока			
1 (13 вост. лава)	Кровля	1,6	13,33	12,30	
	Почва	3,2	20,00		
	Бока	0,4	3,57		
2 (13 зап. лава)	Кровля	2,6	21,67	21,15	1,72
	Почва	4,4	27,50		
	Бока	1,6	14,29		
3 (14 вост. лава)	Кровля	2,4	20,00	11,96	
	Почва	1,4	8,75		
	Бока	0,8	7,14		
4 (14 зап. лава)	Кровля	3,6	30,00	19,35	1,62
	Почва	2,2	13,75		
	Бока	1,6	14,29		
5 (15 вост. лава)	Кровля	1,4	11,67	13,06	
	Почва	3,4	21,25		
	Бока	0,7	6,25		
6 (15 зап. лава)	Кровля	2,2	18,33	17,96	1,38
	Почва	4,4	27,50		
	Бока	0,9	8,04		
Средние значения до воздействия очистных работ	Кровля	0,12	3,00	3,00	
	Почва	0,16	3,50		
	Бока	0,11	2,50		
Средние значения после воздействия	Кровля	0,36		Среднее	1,57
	Почва	0,56			
	Бока	0,28			

Вначале произведем расчет горного давления в процессе развития горных работ без учета ползучести вмещающих пород. Отметим, что при расчете учитывалась реальная очередность отработки смежных запасов. Вначале была отработана разгрузочная лава 1, а затем смежные запасы вынимались таким образом, что лавы справа (2, 4, 6) подходили к границе региональной зоны разгрузки раньше, чем слева (3, 5, 7) (см. рис. 1). В процессе компьютерного моделирования перераспределения горного давления в ходе развития очистных работ наблюдалась закономерная активизация горного давления в ранее выработанном пространстве разгрузочной лавы. На рис. 3 приведено распределение напряжений в виде контурной карты и пространственной картины на момент, когда все смежные лавы были отработаны. Анализ показывает, что после полной отработки смежных запасов происходит не только восстановление уровня горного давления в ранее разгруженной зоне, но и его увеличение в 1,09-1,16 раза. Характерно, что поле повышенных напряжений распределено равномерно по всей длине выработанного пространства разгрузочной лавы. В поперечном сечении разгрузочной лавы эпюра распределения суммарного горного давления

несимметрична и ее максимум смещен в сторону той границы, у которой отработана первая смежная лава (справа). Лишь у границы с региональной разгрузкой в выработанных пространствах, отработанных справа, наблюдается локальный минимум горного давления. Этот минимум объясняется необратимостью процессов сдвижений массива. Геомеханика этой необратимости объяснена ранее в работе [7]. Коротко говоря, в процессе полных сдвижений происходит заполнение выработанного пространства разгрузочной лавы обрушенными породами. Поэтому смежные лавы при подходе к границе зоны разгрузки воспринимают обрушенный массив как целик повышенной податливости. Благодаря этой податливости область в окрестности ранее разгруженной зоны не способна концентрировать горное давление такой степени, как угольный целик, концентрация напряжений в котором, обычно, достигает 2,5-3 и более. Однако некоторая степень концентрации напряжений (в данном случае 1,2-1,16) неизбежна. В данном случае важно, что пригрузка напряжений по всему поперечному сечению региональной зоны разгрузки, примерно, симметрична. Это хорошо видно на распределении рис. 4. Максимальная концентрация горного давления после формирования региональной разгрузки наблюдается в средней части выработанного пространства и не превышает 0,5. Это значит, что в региональной зоне разгрузки горное давление уменьшилось в 2 раза по сравнению с исходным геостатическим уровнем. Затем, после отработки смежных лав справа, давление в правой части выработанного пространства увеличилось до 0,81 от геостатического уровня. Основная пригрузка региональной зоны произошла после отработки лав с обратной, то есть, с левой стороны. Напряжения в левой части выработанного пространства разгрузочной лавы возросли до геостатического уровня, а в правой части до 1,16 от исходного уровня горного давления в нетронутым массиве. Вместе с тем, прирост напряжений после отработки смежных лав слева от региональной разгрузки был, примерно, таким же, как и с правой стороны (см. рис. 4, б). Это означает, что прирост горного давления со стороны первоочередного развития очистных работ происходит дважды, примерно одинаковыми порциями – вначале 0,33, а затем 0,32 (в сумме 0,65, что видно на рис. 4, б). Со стороны последующего развития очистных работ (слева) прирост происходит сразу на величину 0,66.

Вторая задача решалась при тех же граничных условиях с тем отличием, что принимались ярко выраженные реологические свойства вмещающих пород. Установлено, что реология массива усиливается с ростом горного давления и увеличением метаносодержания угленосного массива и давления, под которым находится свободный газ [11].

После отработки разгрузочной лавы наблюдалось уменьшение степени разгрузки. Это видно по постепенному повышению уровня давления с 0,5 до 0,73 спустя несколько лет после образования разгруженной зоны. В результате полной отработки запасов, в массиве горных пород с ярко выраженными реологическими свойствами, в ранее разгруженной зоне происходит перераспределение горного давления, которое характеризуется выраженной асимметрией. Во-первых, асимметрия сильно выражена вдоль вытянутой границы выработанного пространства.

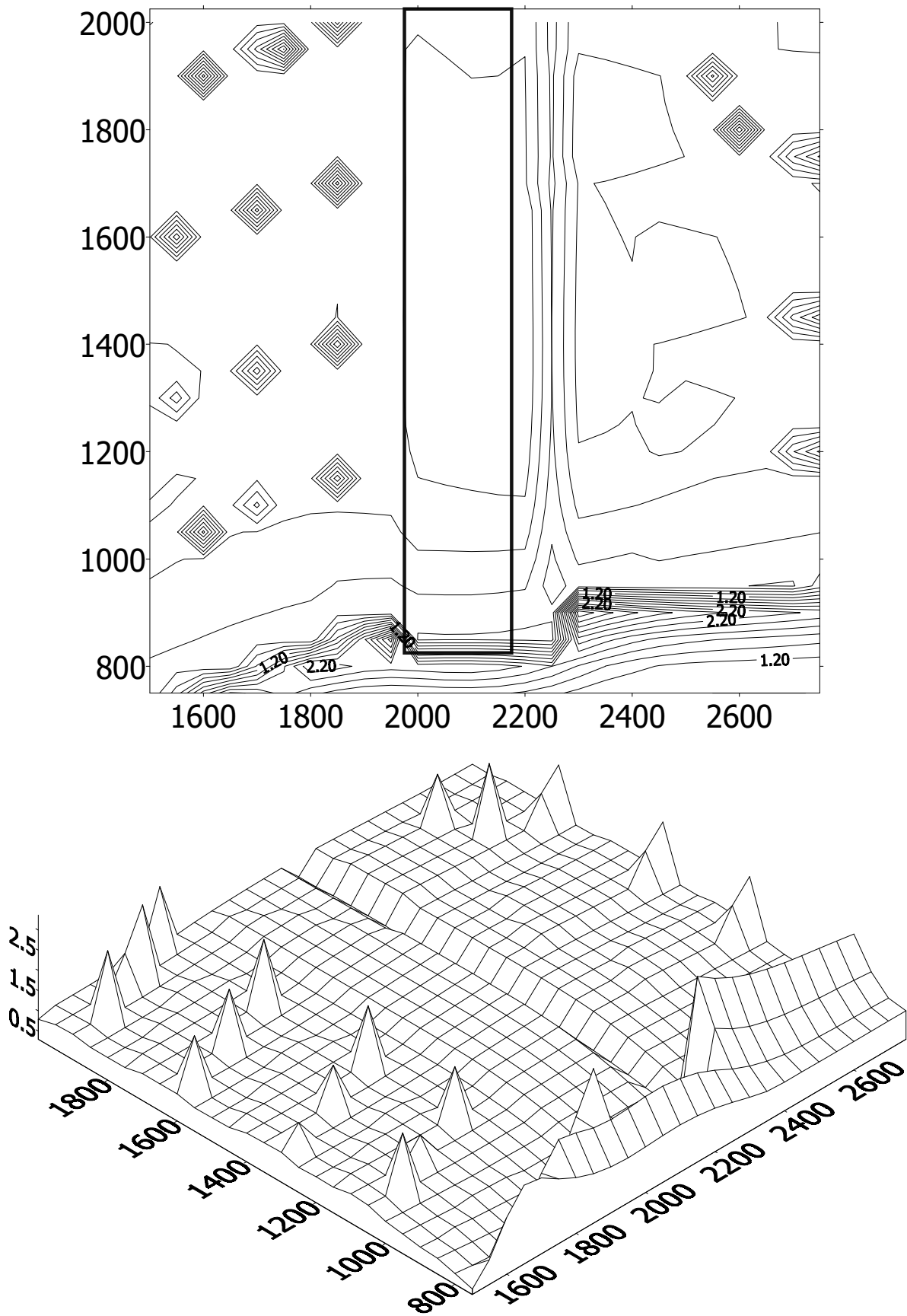


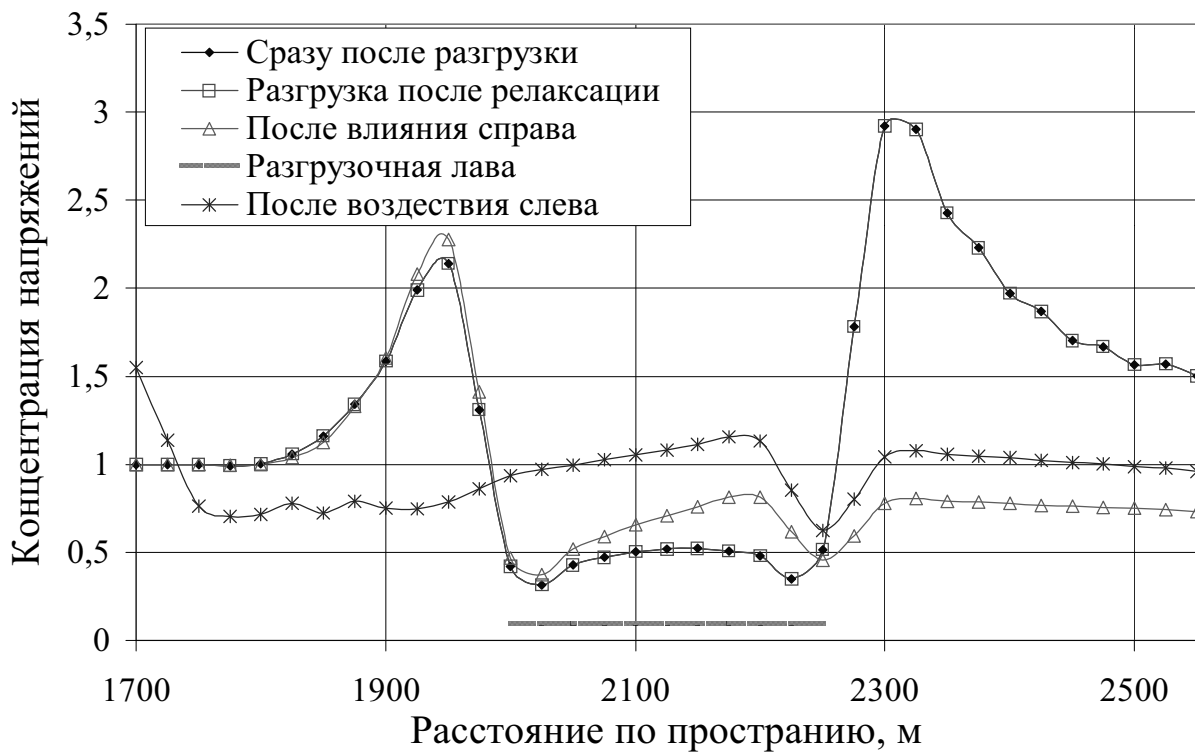
Рис. 3 - Распределение горного давления при отработке пласта в несклонных к ползучести вмещающих горных породах

Это видно по тому, что максимум концентрации горного давления, равный 1,65, приурочен к участку, напротив которого была отработана последняя смежная лава (рис. 5). Выше по падению концентрация заметно меньше и не превышает 1,12. С противоположной стороны (справа) концентрация напряжений выровнялась и, практически, на всей протяженности правой границы близка к единице.

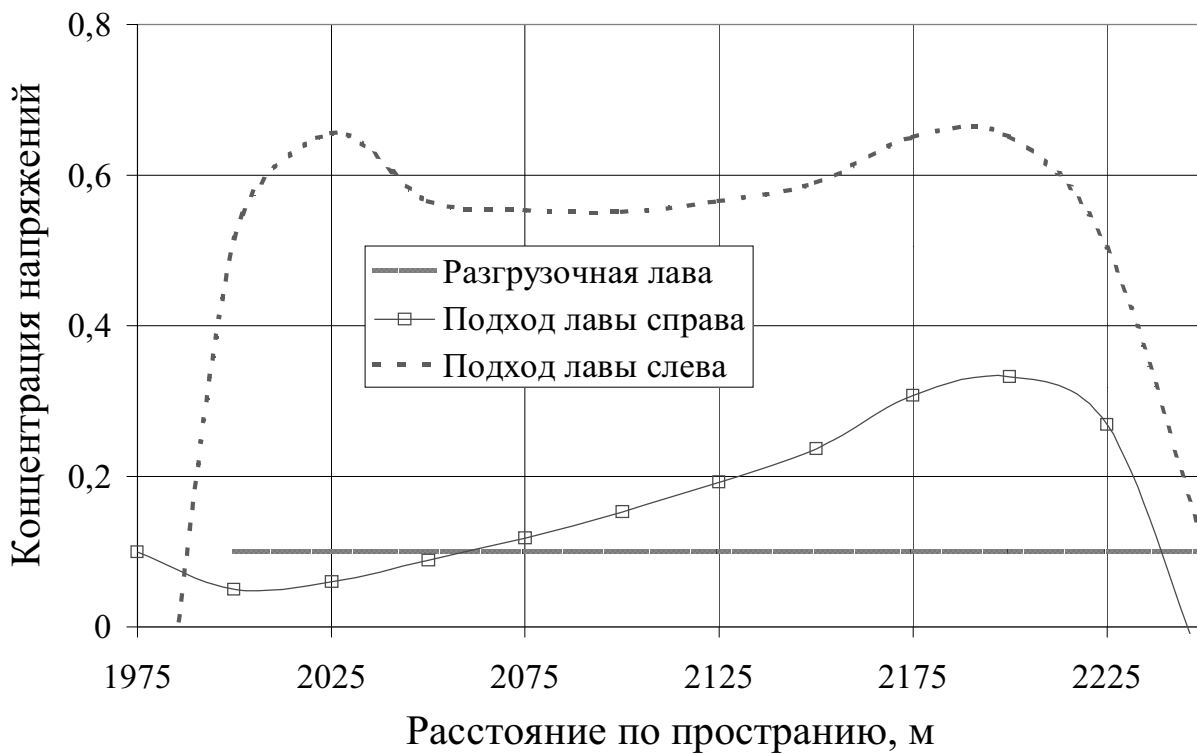
В сечении А-А также видна ярко выраженная асимметрия, как полной величины концентрации горного давления (рис. 6, а), так и его приращения (рис. 6, б). Величина концентрации после отработки лавы с правой стороны достигает 1,18, хотя его прирост равен 0,46. После отработки лавы с левой стороны от границы зоны разгрузки концентрация увеличивается до 1,49, а ее прирост составил 0,89. При этом в правой части зоны первоначальной разгрузки произошло, даже, некоторое снижение горного давления за счет его релаксации. Необходимо отметить, что прирост концентрации напряжений наблюдался на фоне 0,73, в отличие от случая с массивом, лишенным реологических свойств. Таким образом, реология массива приводит к тому, что у края региональной разгрузки, с которого начинается отработка смежных лав, суммарная пригрузка горного давления в $0,89/0,46=1,93$ раза больше, тогда как в массиве, лишенном реологических свойств, суммарная пригрузка с обеих сторон одинакова и составляет 0,65.

В реологическом массиве имеется горизонтальный участок шириной 75 м, смещенный в сторону правой границы бывшей региональной разгрузки, в пределах которого суммарная пригрузка горного давления не превышает 0,4 (хотя эта пригрузка происходит на более высоком исходном фоне, равном 0,73). В массиве без реологических свойств горизонтальный участок составляет, около, 100 м, в пределах которого пригрузка минимальна, однако ее уровень составляет 0,55 (на фоне 0,5). Такие различия накладывают особенности при выборке мероприятий по обеспечению устойчивости поддерживаемых в региональной зоне разгрузки подготавливаемых выработок. Опыт охраны выработок показывает, что с точки зрения устойчивости выработки выгоднее ситуация, когда прирост горного давления меньше, поскольку выработка наиболее негативно реагирует на прирост горного давления.

Механизм пространственной несимметрии перераспределения горного давления в ранее разгруженной зоне в процессе бесцеликовой отработки смежных запасов в склонных к реологии массивах объясняется проявлением необратимых сдвижений толщи во времени. В процессе релаксации напряжений, протекающей вследствие ползучести пород, происходит сглаживание жесткости массива во времени. Это процесс приводит к тому, что выработанные пространства уплотняются с большей скоростью, в результате чего способны воспринимать большую концентрацию напряжений при активизации сдвижений. При этом массив с большей скоростью забывает историю (путь) эволюции напряженного состояния. Поэтому первая смежная лава возмущает напряженное состояние в региональной зоне разгрузки менее заметно, чем вторая.



a



б

Рис. 4 - Распределение горного давления *a* и его приращение *б* в процессе развития очистных работ по разрезу А-А: в случае отсутствия ползучести массива

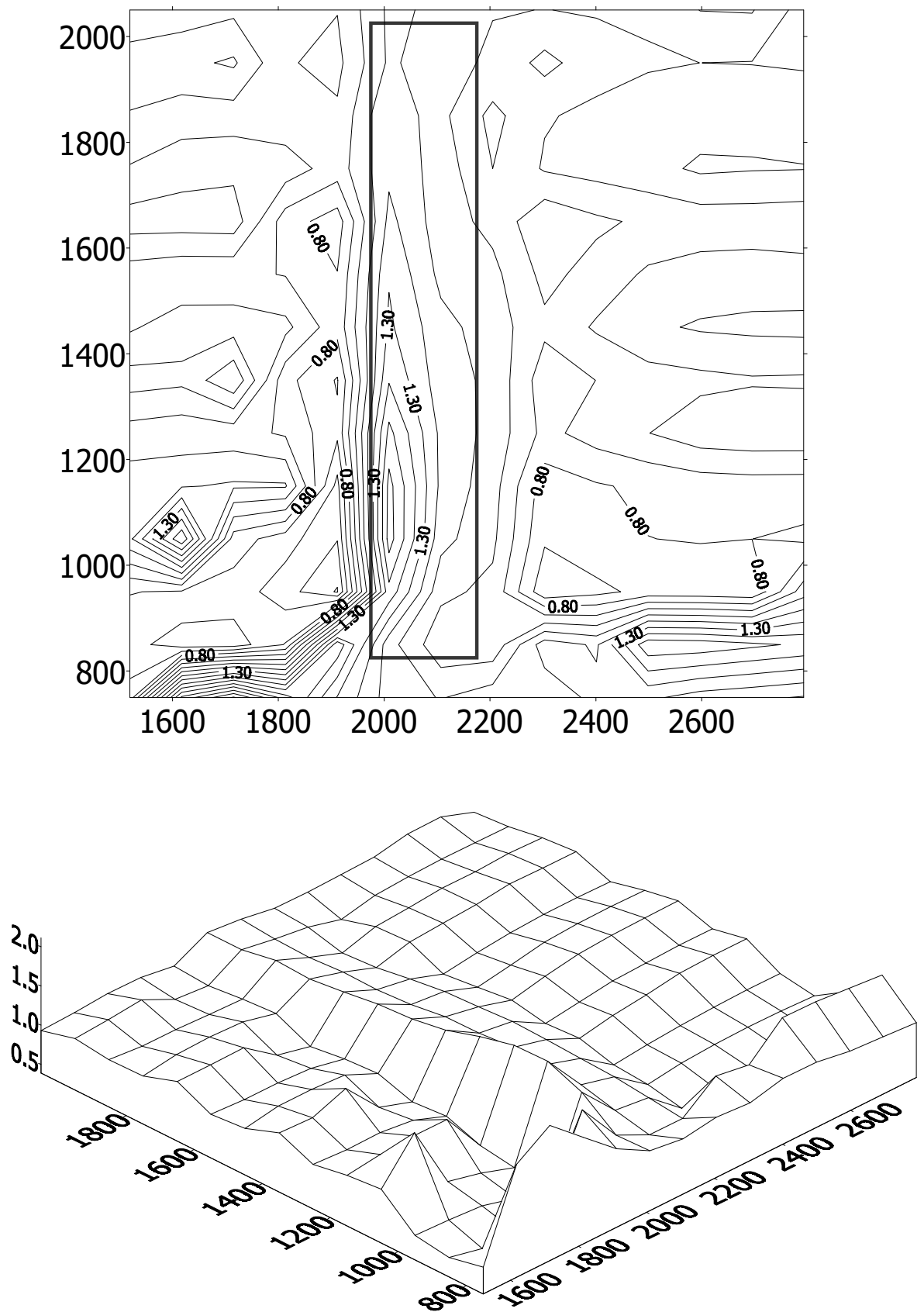


Рис. 5 - Распределение горного давления при обработке пласта во вмещающих горных породах с ярко выраженными реологическими характеристиками

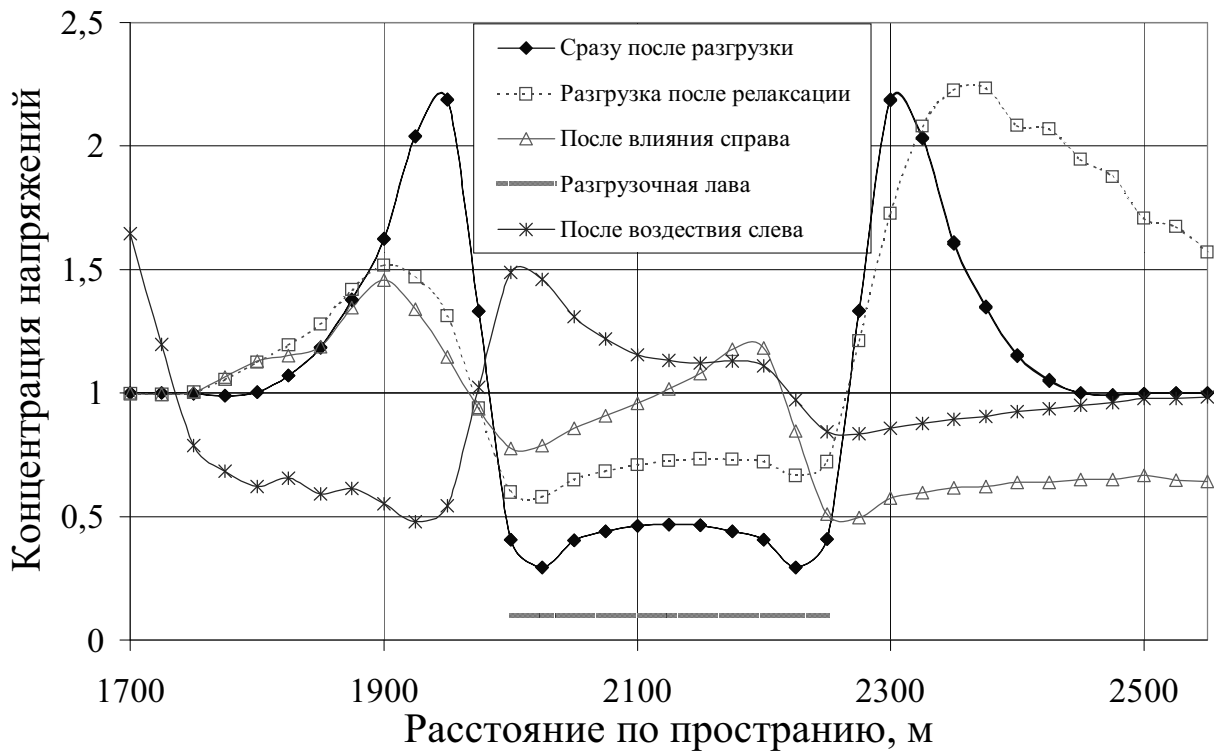
Вторая лава, обрабатываемая с противоположной стороны, раскрывает свод полных сдвижений, в результате чего дополнительные сдвигения активизируются по всему сечению первоначальной зоны разгрузки. В массивах, не склонных к ползучести, эта зона еще не полностью уплотнена, вследствие чего она равномерно уплотняется и воспринимает дополнительную пригрузку по всему сечению региональной зоны разгрузки. Можно говорить, что зона разгрузки в этом случае реагирует как зазор, который равномерно закрывается и воспринимает пригрузку по всей своей протяженности.

В массивах с явно выраженным проявлением реологических свойств, к моменту отработки второй смежной лавы, породы в зоне региональной разгрузки уже в значительной степени уплотнились за счет ползучести и перераспределения горного давления в процессе его релаксации. Поэтому породы в области первоначальной разгрузки реагируют, скорее, как краевая часть массива, концентрируя напряжения напротив второй смежной лавы. Отсюда возникает перекос в эпюре пригрузки напряжений.

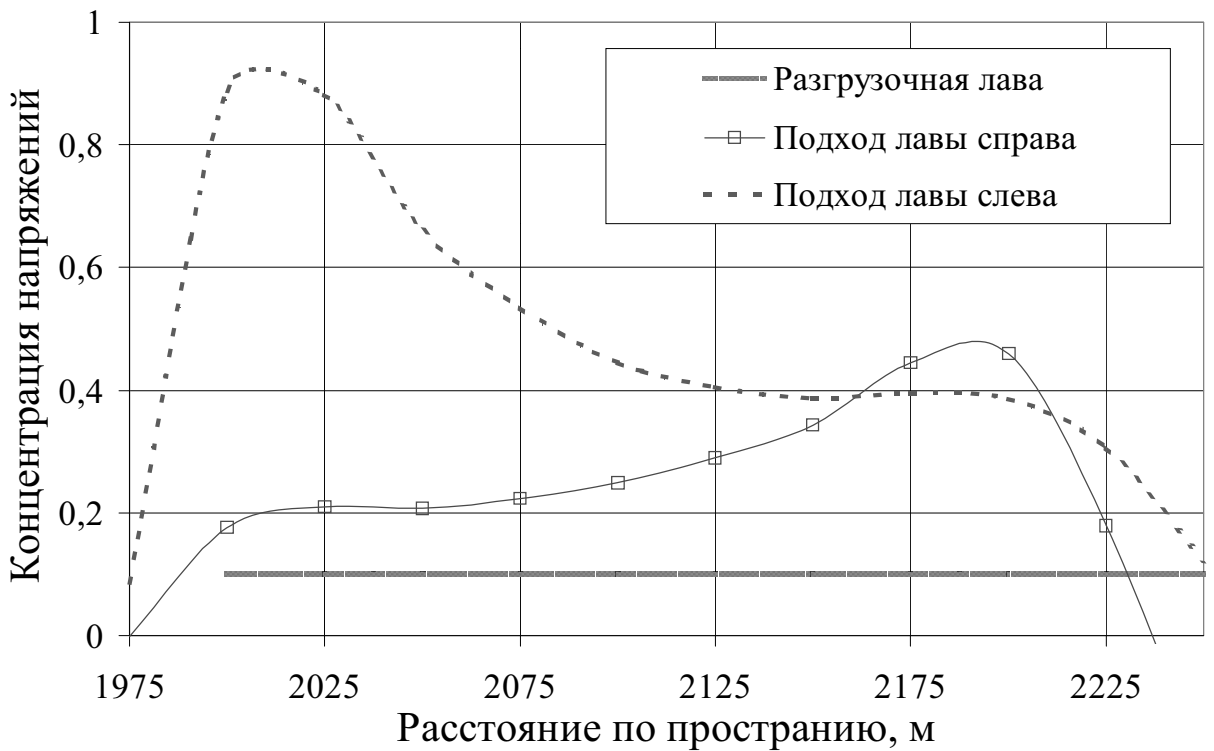
Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Полное развитие очистных работ у границ с региональной зоной разгрузки приводит к полному исчезновению разгруженной зоны. В массивах, не склонных к проявлению ползучести и релаксации напряжений эпюра прироста горного давления в ранее разгруженной зоне после полной отработки смежных запасов имеет симметричную форму с максимумами 0,65 у границ выработанного пространства разгрузочной лавы. При этом прибавка горного давления происходит по всему сечению выработанного пространства разгрузочной лавы дважды после отработки смежных лав слева и справа от границ разгруженной зоны. Эпюра суммарного горного давления несимметрична с максимумом 1,16, смещенным в ту сторону, с которой производится отработка первой смежной с зоной разгрузки лавы.

В массивах, склонных к ползучести и релаксации напряжений пригрузка ранее выработанного пространства разгрузочной лавы происходит у его краевых частей только один раз в результате отработки смежных лав, примыкающих к этим краевым частям. Величина пригрузки характеризуется выраженной несимметрией и составляет 0,46 у смежной лавы, отработанной в первую очередь, и 0,88 у границы с лавой, отработанной во вторую очередь. Суммарная эпюра горного давления также несимметрична. Со стороны первоочередной отработки смежной лавы концентрация горного давления равна 1,1, тогда как с противоположной стороны – 1,5.

Полученные закономерности перераспределения горного давления имеют большое значение при выборе местоположения подготавливающих выработок в региональной зоне разгрузки. При разработке угольного пласта во вмещающих породах, склонных к ползучести, целесообразно смещать выработки в сторону той границы зоны региональной разгрузки, у которой планируется первоочередная бесцеликовая отработка смежных запасов. При отработке запасов в массивах, не склонных к проявлению реологических свойств, выработки следует размещать в средней части выработанного пространства разгрузочной лавы.



a



б

Рис. 6 - Распределение горного давления а и его приращения б в процессе развития очистных работ по разрезу А-А: с учетом реологии массива

Такие параметры расположения выработок обеспечивают минимальный прирост смещений на контуре охраняемых выработок во время активизации сдвижений в ранее разгруженной области. Следует продолжить исследования механизма активизации горного давления в ранее разгруженных зонах при разной длине разгрузочной лавы, мощности пласта, глубине разработки и степени проявления реологических свойств вмещающего массива горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звягильский Е.Л. Геомеханические основы предотвращения обрушений земной поверхности над погашенными шахтами: Дисс... Докт. техн. наук: 05.15.11. - Донецк, 2000. - 372 с.
2. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. - Днепропетровск, 2002. - 372 с.
3. Дружко Е.Б. Обоснование и разработка крепей и способов обеспечения устойчивости выработок, моснованных на инъекционном упрочнении пород: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.04 / Московский горн. инст.. - М., 1988. - 27 с.
4. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. - К.: Наукова думка, 1987. - 135 с.
5. Литвинский Г.Г. Разработка геомеханических параметров и способов создания породонесущих конструкций из разгруженных взрывом и упрочненных пород в горизонтальных выработках: Дисс... докт. техн. наук: 05.15.11.. - Коммунарск, 1988. - 272 с.
6. Зборщик М.П. Разработка технологий управления вмещающим массивом и устойчивостью подготовительных выработок пологих пластов на больших глубинах: Дисс... докт. техн. наук: 05.15.02./ДПИ. - Донецк, 1983. - 393 с.
7. Назимко В.В. Геомеханические основы устойчивости подготавливающих выработок в зонах разгрузки при воздействии очистных работ: Дисс... докт. техн. наук: 05.15.02.; 05.15.11./ДГИ. - Днепропетровск, 1990. - 337 с.
8. Исследование газодинамических и геомеханических процессов при доработке лав / Е.Л. Звягильский, В.С. Грязнов, Б.В. Бокий, В.В. Петров // Проблемы гірського тиску. - 2001. - №.6 - С. 93-111.
9. Методические указания по статистической обработке и анализу результатов исследования проявлений горного давления. - Л.:ВНИМИ, 1976. - 163 с.
10. Захаров В.С., Пономарев М.А. Выбор рациональной планировки горных работ, обеспечивающей устойчивость магистральных выработок восточного крыла ш. "Южнодонбасская№3" // Проблемы гірського тиску. - 2000. - №4. - С. 144-161.
11. Шевченко В.В., Ефремов И.А., Бокий Б.В., Назимко В.В., Сажнев В.П. Реологический характер деформирования газо-насыщенного горного массива на больших глубинах // Известия донецкого горного института. - №1. - 2003. - С. в печати.