

**АНАЛИЗ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ  
С ДАННЫМИ АНАЛИТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ПРИГРАНИЧНОЙ ЗОНЕ  
МАССИВА ПРИ ЕЁ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКОЙ**

Виконано порівняльний аналіз закономірностей розподілу величин вертикальних деформацій породного масиву прикордонної зони крайових частин, розроблювального вугільного шару, отриманих за результатами натурних маркшейдерських спостережень, з розрахунковими величинами очікуваних напруг і вертикальних деформацій

**THE ANALYSIS OF COMPARISON OF RESULTS OF SUPERVISION  
WITH THE DATA OF ANALYTICAL ACCOUNTS OF VERTICAL  
DEFORMATIONS AND STRESSES IN A FRONTIER ZONE  
OF A MASSIF AT CROSSING BY MINE WORKING**

The comparative analysis of laws of distribution of sizes of vertical deformations of a rock mass of a frontier zone of selvages developed coal seam received by results of surveying supervision, with design sizes of expected stresses and vertical deformations is executed

С момента начала ведения горных работ подземным способом горняки сталкивались с проблемами, возникающими при внедрении выработками в породно-угольный массив. Преодоление границы, разделяющей поддерживаемое выработанное пространство и отрабатываемый угольный пласт или породный массив, вызывает перераспределение в них напряжений. Изучению эволюции напряженного состояния приграничной зоны посвятили свои исследования многие ученые. Накоплен значительный опыт, позволяющий переосмысливая его, глубже развивать ранее выдвинутые гипотезы, так как проблема не потеряла своей актуальности ввиду высокой анизотропии деформационных параметров, характеризующих массив и систематическим повышением глубины горных работ. Геомеханическая ситуация в горном массиве складывается в результате влияния множества изменчивых факторов, поэтому проблема получения прогнозных данных об ожидаемых напряжениях и деформациях остается актуальной и трудной.

Одной из характерных и сложных является ситуация, которая складывается при пересечении горными выработками приграничных зон краевых частей и оставленных целиков отрабатываемого угольного пласта. Изучение закономерностей эволюции напряженно-деформированного состояния, рассматриваемой области породного массива имеет большой научный и практический интерес, так как протяженность таких участков выработок постоянно растет. В настоящее время вопросу влияния краевых частей смежных пластов уделяется достаточно большое внимание исследователей и производителей. В тоже время, вопрос преодоления горными выработками приграничной зоны, подверженной влиянию опорного давления, исследован слабо и является весьма актуальной проблемой, так как действующие нормативные рекомендации [1], не обеспечивают принятия обоснованных решений. Поэтому целью настоящей работы является установление

закономерностей эволюции деформаций и напряжений в породах приграничной зоны при её преодолении проходческим забоем, на основе сравнительного анализа результатов инструментальных наблюдений с данными аналитических расчетов для подбора математической модели прогнозирования.

Инструментальные маркшейдерские наблюдения произведены при проведении подготовительных работ в условиях шахты «Краснолиманская» ГХК «Краснолиманская».

В соответствии с планом подготовки запасов пласта  $l_3$  к выемке, на шахте «Краснолиманская», выполнено проведение конвейерного штрека центрального уклона II ступени, от которого запроектировано проведение вентиляционного хода 11-й лавы центрального уклона пласта  $l_3$  II ступени.

Согласно проекту, конвейерный штрек «рассечен» от людского ходка центрального уклона пласта  $l_3$  (рис.1). Проведение штрека осуществлялось в соответствии с проектом, комбайновым способом. Крепление выработки выполнено крепью КСП-32 с постоянным шагом 0,8 м.

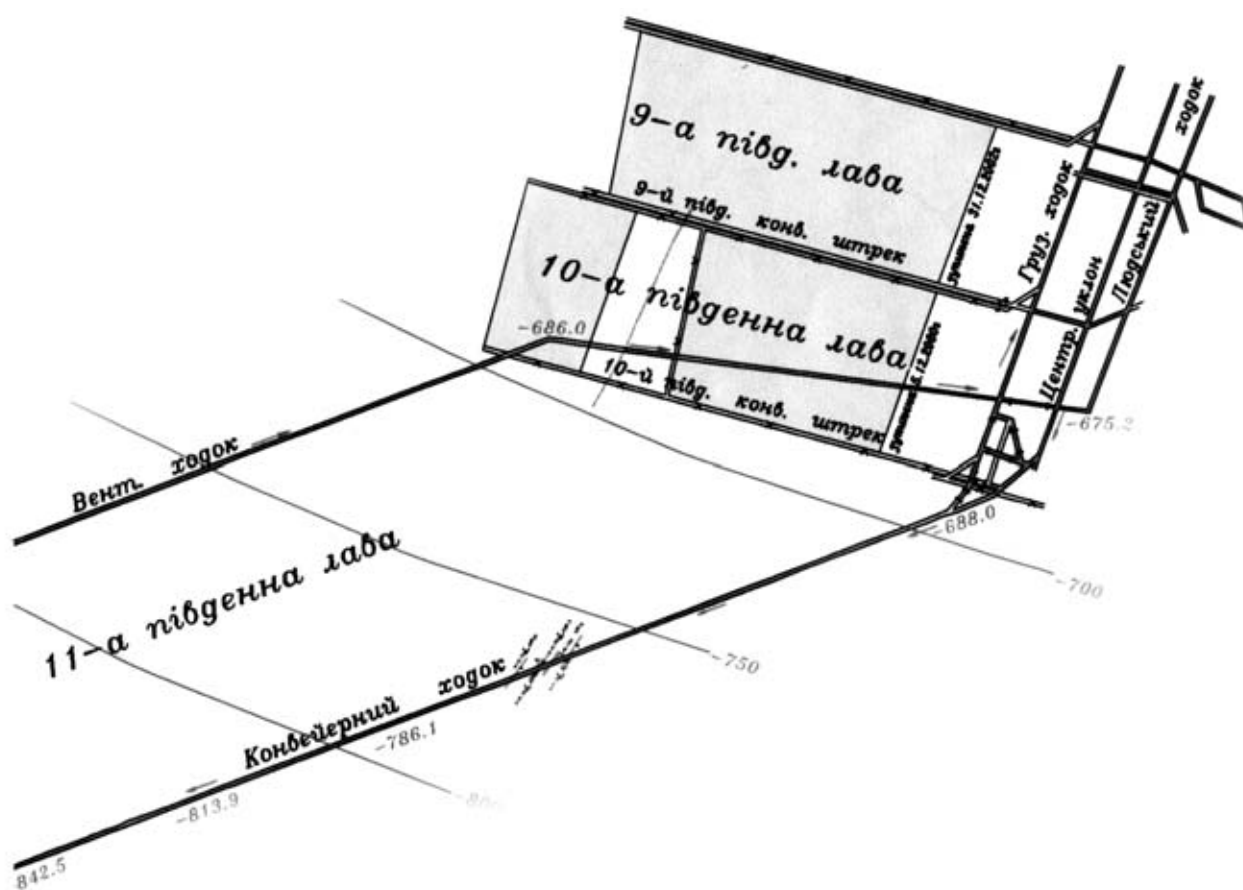


Рис. 1 - Выкопировка с плана горных работ пл.  $l_3$ .

Согласно горно-геологическому прогнозу, горный массив, включающий пласт  $l_3$  в целиковой части характеризуется неустойчивым характером пород непосредственной кровли, склонной к обрушению - Б-2 и среднеустойчивой непосредственной почвой, породы которой склонны к пучению – П-2. Рассмат-

риваемая горно-техническая ситуация, образовавшаяся в районе ведения проходческих работ, характеризуется тремя различными геомеханическими состояниями горного массива. В настоящей работе приведены результаты анализа напряженно-деформированного состояния в первой зоне – приграничной области породного массива, где были заложены семь реперных, наблюдательных станций (рис.2). Станции закладывались через 10 м друг от друга.

На 12-м пикете забоем выработки была пересечена первая характерная граница геомеханического состояния горного массива – линия остановки очистного забоя 10-й южной лавы. Забой конвейерного штрека вышел из целиковой части горного массива, пересекая, практически под прямым углом, приграничную зону породного массива и перешёл в его разгруженную часть в результате отработки 10-й южной лавы.

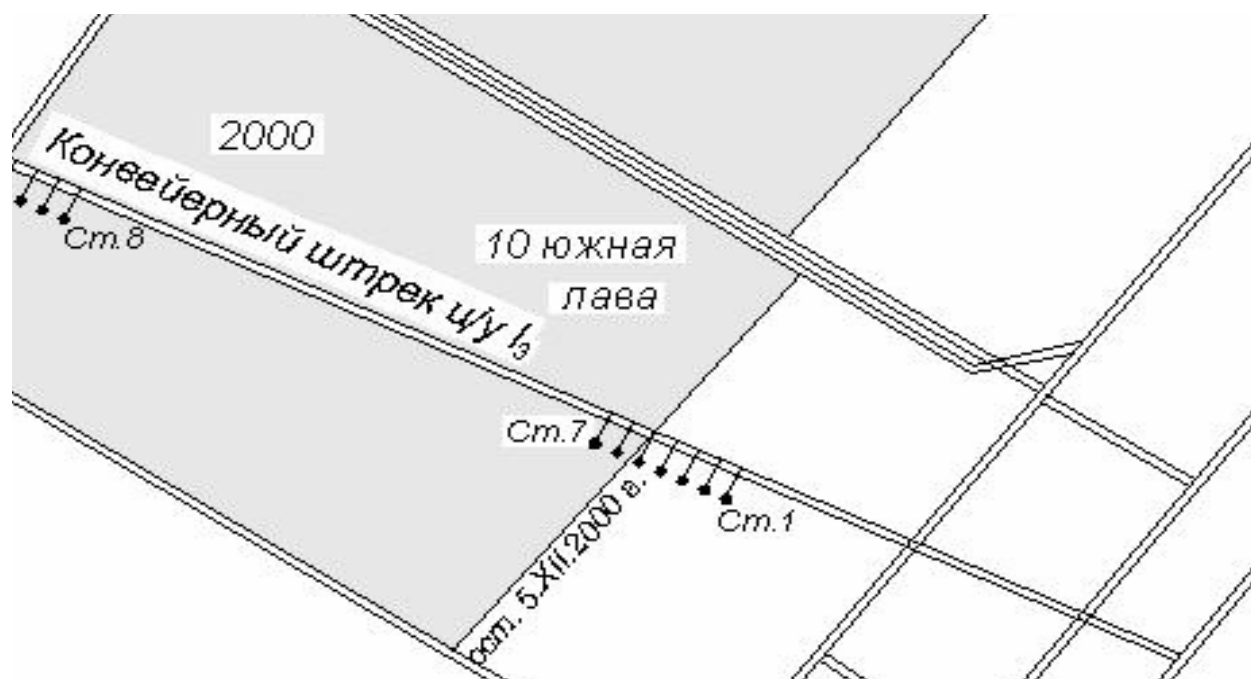


Рис. 2 – Расположение 1-й группы наблюдательных станций

Шахтные наблюдения геомеханической обстановки в приграничной зоне, созданной под влиянием опорного давления от очистных работ 10-й южной лавы, представлены данными инструментальных маркшейдерских измерений деформаций крепи штрека, пересекающего эту зону. По результатам полученных величин вертикальной и горизонтальной конвергенции оценивались величины относительных деформаций породного массива, вмещающего выработку, и в работе [2] сформулирован ряд выводов, характеризующих закономерности перераспределения напряжений в приграничной зоне краевой части породного массива, пересекаемого штреком. Основным выводом является, подтверждение гипотезы Г. Вебера о волновом распределении напряжений в зоне опорного давления. Периодический характер проявления горного давления, отмеченный также в работах [3, 4, 5], в принципе подтверждает правильность идеи, теории

и наблюдений Г. Вебера [6], Г. Шпакеллера [7] и Немчика [8].

Полученные результаты натуральных экспериментальных исследований характера проявлений опорного давления в приграничной зоне краевой части породного массива свидетельствует о сложной закономерности, происходящих в ней, геомеханических процессов. Обеспечение безопасной и эффективной разработки угольных пластов неразрывно связано с надежностью методов определения и прогнозирования параметров напряженного состояния толщи горных пород в области планируемых подготовительных горных работ. Этим требованиям наиболее полно отвечают аналитические методы расчета напряженного состояния горного массива. Они оптимально вписываются в компьютерные технологии планирования горных работ и управления напряженно-деформированным состоянием породного массива. Но, к сожалению, при всем многообразии существующих методов, они характеризуются низкой достоверностью, большой трудоёмкостью и дороговизной, что в большинстве случаев, обуславливает их слабую востребованность производителями. Поэтому, вопрос получения простого и доступного производителям, обладающего наглядностью и достаточной достоверностью, метода прогнозирования количественных и качественных параметров напряженно-деформированного породного массива и их эволюции при внедрении в него горной выработкой, остаётся актуальным. Этот метод должен адаптироваться с современными широко используемыми на шахтах системами автоматизации накопления и обработки маркшейдерско-геологической информации, позволяющих эффективно управлять планированием горных работ.

Для сопоставления и анализа степени достоверности, существующих аналитических методов выбран программный комплекс STRAIN [9] с помощью, которого был выполнен расчет ожидаемых вертикальных деформаций и напряжений.

Использование этого аналитического метода прогноза напряженно-деформированного состояния горного массива в зонах влияния очистных работ вызвано тем, что он является новым отечественным программным продуктом прошедшем серьезные испытания и проверку в течение ряда лет. Программный комплекс STRAIN прошел, государственные приемочные испытания и внедрен в ряде производственных объединений Донбасса. Тестирование программного комплекса в ходе государственных приемочных испытаний проводилось на производственном материале инструментальных шахтных наблюдений. Расхождения между измеренными и расчетными значениями параметров зон повышенного горного давления не превысили 20%. Поэтому результаты аналитического прогнозирования, полученные при помощи данной программы можно принять как достоверное усредненное представление о закономерности распределения вертикальных деформаций и напряжений в приграничной зоне краевых частей, разрабатываемого угольного пласта, сформировавшиеся под влиянием опорного давления.

Для проведения анализа необходимо определить базовые понятия, используемой физической модели. В над- и подработанном, породном массиве, обра-

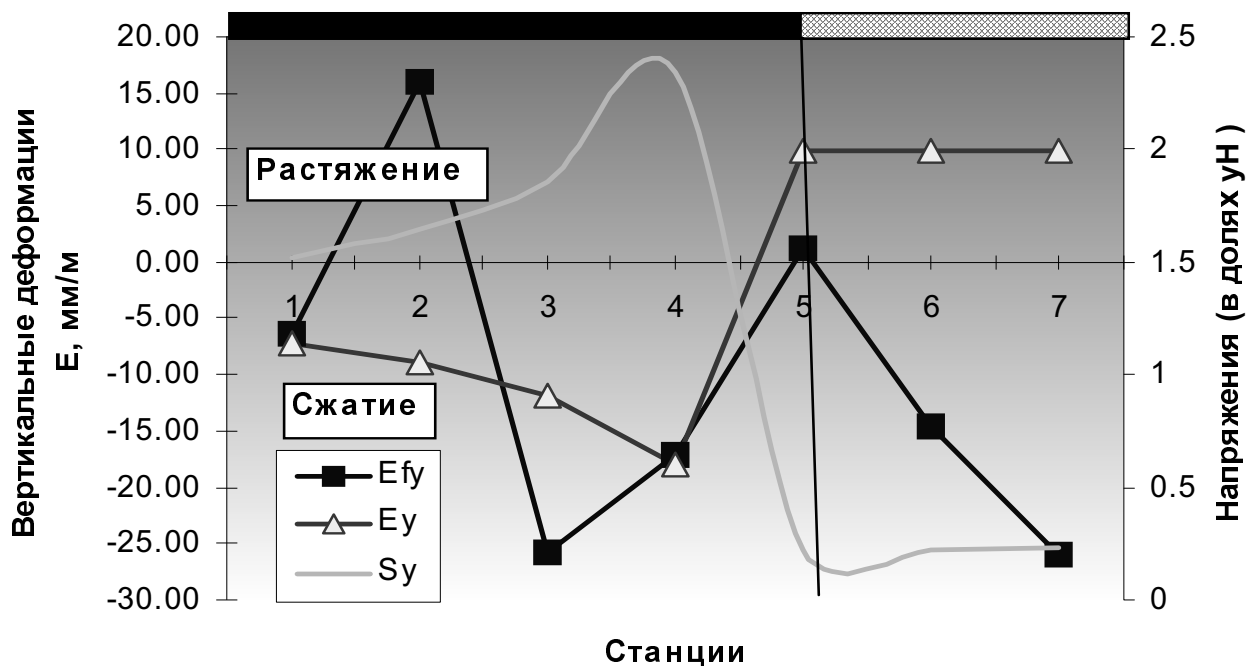
зуются зоны разгрузки, в которых полные напряжения  $\sigma_y$ , по абсолютной величине, меньше начальных напряжений  $\sigma_y^0$ . Вдоль границы очистных работ, в приграничном массиве, формируются зоны повышенного горного давления, в которых  $\sigma_y$  больше  $\sigma_y^0$ . При этом в качестве границы между зонами разгрузки и повышенного горного давления принимается изолиния, соединяющая точки массива, в которых  $\sigma_y = \sigma_y^0$ . Подобный подход к оконтуриванию зон ПГД, на основе критерия  $\sigma_y = \sigma_y^0$ , использовался рядом исследователей и является в настоящее время доминирующим, т.к. широко распространено мнение, что именно нормальные к напластованию напряжения  $\sigma_y$  определяют основные закономерности поведения горного массива в зонах влияния очистных работ [9].

Компьютерное моделирование позволяет показать такой вид закономерности перераспределения начальных напряжений в массиве горных пород при образовании приграничной зоны в краевой части, который соответствует, заложенному математическому аппарату, наиболее полно и достоверно, как свидетельствуют исследования [9], описывающему идеализированное распределение напряжений и деформаций после окончания очистных работ. В тоже время, полученная по результатам инструментальных наблюдений зональная структура приграничного породного массива с периодическим распределением его напряженно-деформированного состояния, не учитывается, используемыми для прогноза, существующими математическими моделями и соответствующими программами.

На рис.3 показаны график распределения полных напряжений ( $S_y$ ) нормальных к напластованию и графики распределения относительных вертикальных деформаций ( $E_{fy}$ ,  $E_y$ ), в породном массиве приграничной зоны краевой части, по направлению штрека. Распределение, вычисленных, по программе STRAIN, величин нормальных напряжений  $S_y$ , выраженных в долях дополнительных напряжений к геостатическому  $\gamma H$  и вертикальных деформаций  $E_y$ , вычисленных в относительных единицах, дают отличное от распределения фактических деформаций  $E_{fy}$  породного массива приграничной зоны, существующее в действительности и полученное по результатам натурных маркшейдерских наблюдений.

График распределения фактических вертикальных деформаций  $E_{fy}$  имеет два положительных экстремума, указывающих на наличие зоны, в которой породы находятся в хрупко-пластическом состоянии и два отрицательных экстремума, характеризующих повышенные напряжения упругого сжатия пород.

В отличие от прогнозных данных, максимум фактических вертикальных деформаций сжатия, расположен в глубине массива дальше на 10 м (станция 3) относительно расчетного, и как следствие, область повышенных напряжений также находится дальше, при этом величина уровня дополнительных напряжений значительно выше и соответственно, превышает  $3\gamma H$ .



$E_{fy}$  – вертикальные деформации по данным натуральных маркшейдерских измерений;  
 $E_y$  – вертикальные деформации по данным аналитических расчетов;  
 $S_y$  – нормальные напряжения в долях по отношению к геостатическому  $\gamma H$ .

Рис. 3 – Сравнительный анализ закономерностей распределения вертикальных деформаций и напряжений:

График распределения фактических вертикальных деформаций  $E_{fy}$  имеет два положительных экстремума, указывающих на наличие зоны, в которой породы находятся в хрупко-пластическом состоянии и два отрицательных экстремума, характеризующих повышенные напряжения упругого сжатия пород.

В отличие от прогнозных данных, максимум фактических вертикальных деформаций сжатия, расположен в глубине массива дальше на 10 м (станция 3) относительно расчетного, и как следствие, область повышенных напряжений также находится дальше, при этом величина уровня дополнительных напряжений значительно выше и соответственно, превышает  $3\gamma H$ .

В районе станций 6 и 7, которые расположены в разгруженной зоне, также прослеживается тенденция к увеличению деформаций сжатия обрушенных пород, что логически соответствует действительности. Обрушенные породы, под влиянием налегающего породного массива, подвержены интенсивным деформациям сжатия, которые передаются на крепь выработки.

Зафиксированные деформации растяжений в районе станций 2 и 5 свидетельствуют об отсутствии или малой величине нормальной составляющей объёмного напряженного состояния пород и преобладании горизонтальных напряжений, выражающихся в сдавливании бортов выработки, что зафиксировано наблюдениями. Другими словами, можно предположить о наличии в районе этих станций зон разгрузки. Станция 5 расположена на границе очистных работ и фиксировала деформации массива присущие зоне разрушенного угольного пласта. При сравнении с величиной вертикальных деформаций в районе станции 2 можно заключить о бо-

лее высокой степени дезинтеграции пород в этой зоне.

Отличие расчетных величин от фактических, необходимо отнести, в первую очередь, на счет влияния, сооружаемой выработки, на сформировавшееся напряженно-деформированное состояние пород, пересекаемой приграничной зоны. Дополнительные напряжения, возникают в результате увеличения зоны неупругих деформаций, вмещающего напряженно-деформированного породного массива, по сравнению с нетронутым его состоянием и могут, суммируясь, достигать значительной величины в отдельных зонах. Во вторую очередь на счет идеализации математической модели, не учитывающей, существующей в природе геомеханических процессов волновой закономерности распределения напряжений с зональным проявлением деформационных свойств пород.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

Выявленная волновая закономерность распределения напряжений и периодического расположения зон с неупругим и упругим состоянием пород присуща приграничной зоне краевых частей массива. Эта закономерность имеет статический характер, релаксируя со временем в гидростатическое состояние.

Существующие аналитические методы прогнозирования не учитывают при расчете ожидаемых полных напряжений и деформаций дополнительное их приращение в напряженно-деформированном породном массиве приграничной зоны краевых частей вызываемое, сооружаемой в нём выработкой.

Выработка, пересекающая породный напряженно-деформированный массив приграничной зоны краевых частей, вызывает активизацию дезинтеграционных процессов, что приводит к увеличению зоны неупругих деформаций и соответственно той части пород, переходящих в квазисыпучее состояние, создающих дополнительную, не учитываемую действующими нормативными документами, пригрузку крепи, сооружаемой выработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. КД 12.01.01.201-98. – К., 1998.
2. Бегичев С.В. Геомеханическое состояние приграничной зоны краевой части угольного пласта при ее пересечении горными выработками. КрТО МАКНС, “Академический вестник”, №15-16, 2005. – С. 7-13
3. Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. М.: Недра, 1984.
4. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок. М.: Недра, 1993.
5. Кириченко В.Я., Халимендик Ю.М., Лишин А.В., Усаченко Б.М. Явление образования перемещающихся нарушенных зон впереди лавы. Науковий вісник НГАУ, 2001. – № 1. – С. 27-28.
6. Weber H. Gebirgsdruck als die Ursache des Auftretens von Schlagwettern, Bläsern, Gasausbrüchen und Gebirgsschlägen. Glückauf, 1916. – S.1025
7. Шпаккелер Г. Методы исследования горного давления. – В кн.: Международная конференция по горному давлению. М., Углетехиздат, 1957. – С. 242-256.
8. Niemczyk, Weber H. The Science of Destruction in Mines. Glückauf, Essen, 1929, – Nr. 65. – P. 731-735.
9. Грищенко Н.Н. Система геомеханического прогноза напряженно-деформированного состояния горного массива при отработке свит угольных пластов. Рук. дис. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. НГУ, Днепрпетровск, 2004.