

О.В. Рябцев, к. т. н.,  
Процак м.н.с.,  
И.Ю. Аля-Брудзинский инж.  
(ИГТМ)

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ И КРЕПЛЕНИЯ МОНТАЖНОЙ ВЫРАБОТКИ В СЛОЖНЫХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ И ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Наведено актуальність вирішення подібних гірничотехнічних задач, основні результати досліджень напружено-деформованого стану гірських порід навколо монтажної виробки в залежності від змінення гірничотехнічних та гірничо-геологічних факторів, умов ведення гірничих робіт, а також результати зіставлення теоретично отриманих значень конвергенції порід з відповідними інструментальними в умовах шахти ім. Є.Т. Абакумова.

## **CONDUCTING AND WIRING DEVELOPMENT MOUNTING PARAMETERS MOTIVATION IN HARD MINE ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS**

The urgency of the decision of similar mining problems, the basic results of researches of the is strained-deformed condition of rocks round assembly development depending on change of mine engineering and geological factors, conditions of conducting mining works, and also results of comparison of theoretically received values of convergence of rocks by instrumental in the conditions of mine by .E.T. Abakumov

Одна из актуальных задач угольной отрасли – обеспечение максимально возможного уровня добычи угля при сохранении безопасных условий ведения горных работ [1, 2]. Месторождения угля, залегающие сравнительно неглубоко от поверхности, практически исчерпаны, и освоение километровых глубин – одна из наиболее актуальных и безальтернативных проблем горной науки и инженерии [3]. Ведение горных работ на больших глубинах чрезвычайно осложняется отсутствием достаточных знаний о структуре и свойствах пород, которые часто насыщены газом и нередко обводнены, тектонически нарушены и находятся в условиях высоких сжимающих напряжений, процессов сдвижений горных пород при ведении добычных работ. Достижение максимального уровня добычи в этих условиях сдерживается недостаточной степенью изученности геомеханических процессов, происходящих в массиве горных пород на больших глубинах, которые наряду с ухудшением горно-геологических условий, увеличением частоты и интенсивности различных газодинамических проявлений, также сдерживают возможность своевременного принятия рациональных технологических параметров ведения горных работ и, соответственно, максимально эффективного использования новой высокопроизводительной добычной и проходческой техники [4 – 6].

Решение этих вопросов невозможно без знаний закономерностей протекания геомеханических процессов в углепородном массиве в конкретных горно-геологических условиях ведения горных работ. Существующие нормативные

документы и методики не учитывают влияние большого многообразия факторов и условий ведения горных работ на изменение геомеханического состояния углепородного массива, а значит не могут определить параметры, обеспечивающие безопасные условия добычи угля.

В результате многолетних исследований ученых Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины и Украинского отделения Международного центра научной культуры «Всемирная лаборатория» - Научно-инженерного центра «Экология-Геос» разработана «Методология определения рациональных технологических параметров ведения горных работ на основе комплексного геомеханического прогноза состояния углепородного массива», которая основана на управлении напряженно-деформированным состоянием вмещающих пород технологическими параметрами ведения горных работ [7, 8]. Методология реализована в виде программно-технологического комплекса «Технология стратегического планирования развития горных работ»<sup>©</sup>, посредством которого осуществляется выбор рациональных технологических параметров при решении конкретной горнотехнической задачи.

Согласно утвержденной программе развития горных работ по пласту  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова ввод в действие 8-ой западной лавы должен быть осуществлен не позднее, чем через 2 месяца после доработки 7-ой западной лавы. Поскольку на шахте отрабатывается всего одна лава, то по сути при таких сроках речь идет о «пересадке» механизированного комплекса из одной лавы в другую без серьезного технического обслуживания оборудования. Но это не являлось основной проблемой шахты. Серьезные опасения у шахты вызывало состояние монтажного ходка-разреза, куда предстояло смонтировать механизированный комплекс.

Согласно разработанному ОАО «Донгипрошахт» проекту на шахте принят нисходящий порядок отработки взаимовлияющих пластов  $m_3$  и  $m_5$ , при котором в первую очередь должен отрабатываться пласт  $m_5$ . Однако на данном пласте горные работы были приостановлены в 1985 году, поэтому отработка очистных забоев на пласте  $m_3$  допускается только на тех участках, на которых они не окажут влияния на еще не отработанные запасы пласта  $m_5$ .

Развитие горных работ по пласту  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова происходило таким образом, что в силу объективных причин не успели подготовить выемочный столб в восточном крыле и выемочный столб под столбовую систему разработки в западном крыле. Дорабатываемая 7-я западная лава пласта  $m_3$  отрабатывается по столбовой системе разработки, а подготовка смежного с ней выемочного столба 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  в силу вышеуказанных причин должна осуществляться по сплошной системе разработки, как показано на выкопировке из плана горных работ (рис. 1). Для того, чтобы уложиться в установленные сроки на введение 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  необходимо пройти ходок-разрез таким образом, чтобы осуществить сбойку с конвейерным штреком 7-ой западной лавы одновременно с остановкой 7-ой западной лавы и створ в створ на сопряжении для удобства транспортирования де-

монтированных секций механизированной крепи к месту их монтажа в выработке.



Рис. 1 – Выкопировка из плана горных работ по пласту  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова

Исходя из вышеизложенного, одной из самых актуальных горнотехнических задач, имеющих первоочередное значение для подготовки 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  лавы является определение характера и степени влияния 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  на ходок-разрез 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  по фактору горного давления. Решение данной горнотехнической задачи позволит принять обоснованные технические решения по параметрам проведения и крепления ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  и осуществить своевременный монтаж и, соответственно, ввод лавы в эксплуатацию.

Длина ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  составляет 270 м. По всей длине выработка будет находиться в целиковой части вплоть до отхода лавы. Состояние выработки вдоль трассы будет существенно отличаться, поскольку ее часть со стороны 7-ой западной лавы будет находиться в зоне повышенного горного давления протяженностью 40 м, сформированной горными работами на пласте  $m_5$ , и зоной динамического, а затем стационарного опорного давления со стороны подходящей 7-ой западной лавы. Поэтому для проведения численного моделирования изменения геомеханического состояния вмещающих пород в окрестности ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  выработка была условно разбита на две части: первая часть начинается от сопряжения с конвейерным штреком 7-ой западной лавы. Здесь будет на-

блюдаться наибольшее влияние зоны ПГД, динамической и стационарной опорной зоны 7-ой западной лавы, особенно на участке от сопряжения с конвейерным штреком 7-ой западной лавы и далее на 40 м. Второй участок будет примыкать к первому и простираться до сопряжения с конвейерным штреком 8-ой западной лавы. Здесь условия проведения и поддержания ходка-разреза 8-ой западной лавы будут соответствовать условиям поддержания выработок в ненарушенном горными работами горном массиве. Длина каждого из условных участков будет определена в процессе проведения расчетов напряженно-деформированного состояния горных пород в окрестности выработки.

В качестве исходных данных для проведения расчетов приняты: выкопировка из плана горных работ по пласту  $m_3$  (рис. 1), стратиграфические колонки по геологоразведочным скважинам №№ 9081 и 8839, значения физико-механических показателей вмещающих горных пород, а также объективные данные по 7-ой западной лаве пласта  $m_3$ .

Одним из основных определяющих факторов, влияющих на состояние пород в окрестности подготовительных выработок, являются горно-геологические условия, в которых проводится выработка, расположение выработки относительно угольного пласта, форма и площадь поперечного сечения (геометрические параметры выработки) и способ проведения (комбайновый или буровзрывными работами (БВР)). Немаловажную роль в общем состоянии выработки и способности выполнять ею свое технологическое предназначение играют тип крепи и способы ее охраны и поддержания.

Для расчета принята наиболее прогрессивная арочная форма поперечного сечения выработки. Геометрические размеры выработки принимались в соответствии с таковыми для арочных податливых крепей имеющих площадь поперечного сечения  $11,2 \text{ м}^2$ ,  $15,9 \text{ м}^2$  и  $19,2 \text{ м}^2$ .

Способ проведения ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  принят комбайновый, как допускающий наименьшие предварительные нарушения в приконтурной части горного массива и позволяющий достичь больших значений темпов проходки по сравнению с БВР.

Принципиальная расчетная схема для определения геомеханического состояния вмещающих пород в окрестности ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  представлена на рис. 2. На рис. 2 приняты следующие обозначения:  $h$  - высота выработки,  $b$  – ширина выработки,  $a$  – расстояние от максимальных значений нагрузок в опорной зоне до границы влияния выработки в массиве,  $d_0$  - расстояние от выработки до максимальных значений нагрузок в опорной зоне,  $h_{\text{сл}}$  – мощность слоя пород кровли,  $H$  – глубина заложения угольного пласта,  $S_1$  – величина максимальной нагрузки в опорной зоне,  $S_2$  – величина реакции со стороны пород почвы,  $T_n$  – нагрузка на крепь выработки,  $\gamma H$  – геостатическая нагрузка на уровне угольного пласта.

При проведении расчетов рассматривалось два варианта начала проведения ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$ .

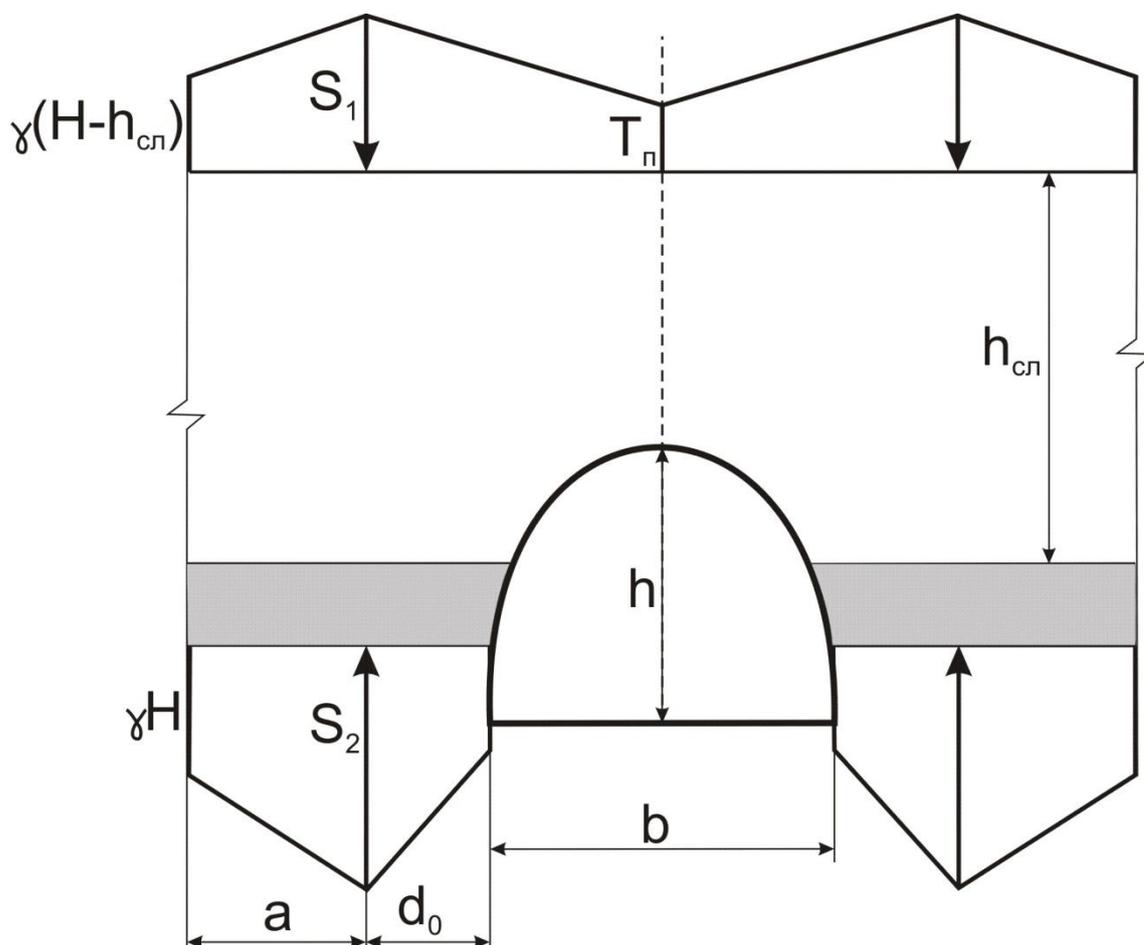


Рис. 2 – Принципиальная расчетная схема для определения геомеханического слоя пород в окрестности ходка-разреза 8-ой западной лавы

Первый вариант заключается в том, что выработка начинает проводиться из конвейерного штрека 7-ой западной лавы пласта  $m_3$ , не дожидаясь доработки 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  (на момент проведения исследований расстояние от забоя лавы до границы ее остановки составляло 70 м), комбайновым способом с нижней присечкой равной 1,0 м.

В результате расчетов были получены величины мощностей расслоившихся породных пачек по кровле и почве, параметры опорной зоны для каждого слоя породы, высота свода обрушения и вес обрушенных пород, который должна воспринимать крепь выработки, величину опусканий пород кровли, поднятий пород почвы и сближений боков выработки.

Учитывая, что монтаж механизированного комплекса будет осуществляться снизу вверх, время эксплуатации данной выработки может составлять до 90 суток, поэтому деформации и сдвигения пород на контуре монтажного ходка будут увеличиваться.

Результаты расчетов сдвижений вмещающих пород по контуру ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  в зоне ПГД с учетом влияния динамической опорной зоны 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  через 90 суток после прове-

дения в зависимости от высоты и ширины выработки, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные величины сдвижений вмещающих пород в ходке-разрезе 8-ой западной лавы при его проведении по первому варианту

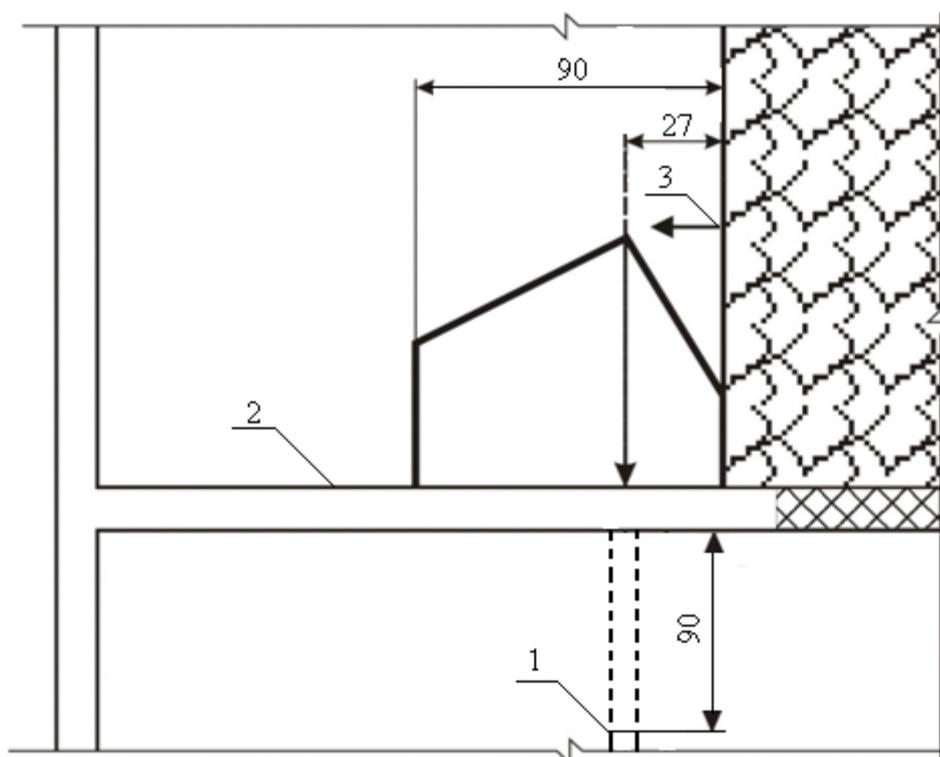
№ п.п	Размеры выработки, м <sup>2</sup>	Опускания, мм	Поднятия, мм	Суммарная конвергенция, мм	Смещение боков, мм	Остаточная высота, мм	Остаточная ширина, мм
1	$h = 3,2$ м, $b = 4,2$ м	1346	954	2300	1215	900	2984
2	$h = 4,0$ м, $b = 5,2$ м	1702	1028	2730	1534	870	3467
3	$h = 4,5$ м, $b = 5,6$ м	1739	1178	2917	1683	1383	3517

Величины вертикальной и горизонтальной конвергенции при проведении ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  по первому варианту будут такими, что через 90 суток после проведения остаточная высота выработки будет составлять 900 – 1400 мм, ширина – 2900 – 3500 мм в зависимости от начальных геометрических размеров выработки (табл. 1). Таким образом, выработку придется проводить практически заново на отрезке, где происходит наложение зоны ПГД от горных работ по пласту  $m_5$  и динамической опорной зоны 7-ой западной лавы пласта  $m_3$ . Расчетное значение ширины динамической опорной зоны 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  составляет 75 – 90 м в зависимости от горно-геологических условий и горнотехнических параметров работы лавы.

Второй вариант заключается в том, что выработка начинает проводиться из конвейерного штрека 8-ой западной лавы с таким расчетом, чтобы в тот момент, когда максимум динамической опорной зоны 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  будет совпадать со створом ходка-разреза (расчетное значение расстояния от плоскости забоя 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  до оси выработки будет составлять 27 м) осталось провести 90 м выработки до сопряжения с конвейерным штреком 7-ой западной лавы пласта  $m_3$ . Таким образом, при комбайновом способе проведения ходок-разрез будет пройден большей частью вне зоны влияния ПГД и динамической опорной зоны 7-ой западной лавы пласта  $m_3$ , а оставшиеся 90 м будут проведены до момента остановки лавы. При этом выработка будет находиться в неблагоприятных условиях меньший промежуток времени и, согласно предположениям, ее состояние позволит осуществить монтаж механизированного комплекса без дополнительных эксплуатационных затрат на поддержание выработки. Принципиальная

схема второго варианта проведения ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  приведена на рисунке 3.

Учитывая, что при проведении расчетов по первому варианту было установлено, что из-за значительной вертикальной конвергенции на участке выработки, находящемся в зоне влияния ПГД и динамической опорной зоны 8-ой западной лавы пласта  $m_3$ , невозможно использовать сечение выработки  $11,2 \text{ м}^2$ , а при сечении выработки  $19,2 \text{ м}^2$  большие смещения делают проведение экономически невыгодным, то при проведении расчетов по второму варианту рассматривалось сечение  $15,9 \text{ м}^2$  с высотой в свету  $4,0 \text{ м}$  и шириной по почве в свету  $5,2 \text{ м}$ .



1 – ходок-разрез 8-ой западной лавы пласта  $m_3$ ; 2 – конвейерный штрек 7-ой западной лавы пласта  $m_3$ ; 3 – 7-я западная лава пласта  $m_3$

Рис. 3 – Второй вариант проведения ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$

Результаты расчетов сдвижений вмещающих пород в ходке-разрезе 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  по второму варианту на момент остановки 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  и через 90 суток его после проведения представлены в таблице 2.

Расчеты по второму варианту проведения ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  показывают, что хотя величины смещений пород по контуру выработки будут значительными, но все же останется достаточное для использования поперечное сечение. Опускания пород кровли составят порядка  $470 \text{ мм}$  на момент остановки 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  и  $900 \text{ мм}$  через 90 суток после проведения, поднятие пород почвы –  $800 \text{ мм}$  на момент остановки 7-ой западной лавы пласта  $m_3$  и  $1160 \text{ мм}$  через 90 суток после проведения.

Суммарное сближение боков выработки по почве – порядка 980 мм. Таким образом, остаточная высота выработки «в проходке» составит около 2000 – 2700 мм, а ширина по почве в свету около 4200 мм.

Таблица 2 – Расчетные величины сдвижений вмещающих пород в ходке-разрезе 8-ой западной лавы при его проведении по второму варианту

№ п.п.	Размеры выработки, м <sup>2</sup>	Опускания на момент остановки лавы / тановки лавы / через 90 сут, мм	Поднятия на момент остановки лавы / тановки лавы / через 90 сут, мм	Суммарная конвергенция на момент остановки лавы / через 90 сут, мм	Смещение боков, мм	Остаточная высота на момент остановки лавы / через 90 сут, мм	Остаточная ширина, мм
1	$h = 4,0$ м $b = 5,2$ м	470 / 900	800 / 1160	1270 / 2060	97 / 4	2730 / 1940	4 / 226

Для рассмотренных условий проведения выработки был выбран второй вариант ее проведения – из конвейерного штрека 8-ой западной лавы пласта  $m_3$ . В качестве крепи выработки предложена крепь КМП-А3/11,2 на участке выработки, неподверженном влиянию зоны ПГД и динамической опорной зоны лавы, протяженностью 180 м от конвейерного штрека 8-ой западной лавы пласта  $m_3$ . Оставшийся участок выработки протяженностью 90 м, на котором она будет подвержена влиянию зоны ПГД и динамической опорной зоны 8-ой западной лавы пласта  $m_3$ , в качестве крепи была рекомендована КМП-А4Р2/15,9 разработки и производства Западно-Донбасского НПЦ «Геомеханика». Данная крепь имеет повышенную за счет дополнительного узла конструктивную податливость: вертикальную 1000 мм и горизонтальную 600 мм, имеет повышенную за счет технологии изготовления несущую способность 45 т/раму при использовании профиля СВП-27. Учитывая расчетную величину поднятий пород почвы 1160 мм, для обеспечения сопряжения почвы выработки с почвой пласта при монтаже комплекса, нижняя подрывка при проведении должна составлять не менее 1100 мм. Исходя из результатов расчетов было установлено, что шаг установки крепи на всем протяжении ходка-разреза должен составлять не более 0,5 м.

Разработанный на основе геомеханического прогноза комплекс практических рекомендаций был принят на технических совещаниях на шахте им. Е.Т. Абакумова и ГП «ДУЭК». В дальнейшем был разработан паспорт проведения и крепления ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  с учетом принятых практических рекомендаций и непосредственно их реализация при проведении выработки.

Для проверки точности расчетов относительно величины сдвижения пород в ходке-разрезе 8-ой западной лавы пласта  $m_3$ , на основании которых были разработаны рекомендации по проведению и креплению выработки, был выполнен комплекс инструментальных замеров в условиях шахты. инструментальные замеры включали в себя маркшейдерскую съемку сдвижений пород

кровли и почвы с привязкой к неподвижному участку. Результаты этой съемки сведены в табл. 3 и представлены на рис. 4. Для определения сходимости расчетных и фактических значений поднятий пород почвы монтажный ходок был разбит на два участка, где применялась крепь разных сечений и типоразмеров.

Таблица 3 – Данные для сравнения расчетного и фактического контура остаточной высоты ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$

	Длина выработки, м													
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
Контур кровли ходка в свету:	КМП-А3/11,2										КМП-А4Р2/15,9			
контур кровли при проведении	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,0	4,0	4,0	4,0
расчетный контур кровли после 90 суток	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	3,1	3,1	3,1	3,1
фактический контур после 45 суток	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5
Контур кровли ходка в свету:	КМП-А3/11,2										КМП-А4Р2/15,9			
почва при проведении	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
расчетный контур кровли после 90 суток	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	1,16	1,16	1,16	1,16
расчетный контур кровли после 90 суток (с учетом изменения влажности)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,33	1,33	1,33	1,33
фактический контур после 60 суток	0,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,1	1,1	1,4	1,1	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0

Для расчетов геомеханического состояния пород в окрестности ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  использовались данные из стратиграфической колонки, поэтому в результате расчетов были получены средние прогнозные значения сдвижений пород. Исходя из этого, для сопоставления выполнено усреднение фактических замерных значений сдвижений пород кровли и почвы для двух участков выработки.

Исходя из вышеприведенного, средняя сходимость фактических и расчетных значений сдвижений пород кровли и почвы на участке выработки, закре-

пленном крепью КМП-А3/11,2, составляет 72,4 %, а средняя сходимость фактических и расчетных значений вертикальной конвергенции на участке выработки, закрепленном крепью КМП-А3Р2/15,9, составляет 85,6 %. Таким образом, средняя сходимость фактических и расчетных значений поднятий пород почвы для всей длины монтажного ходка составляет 79,0 %.

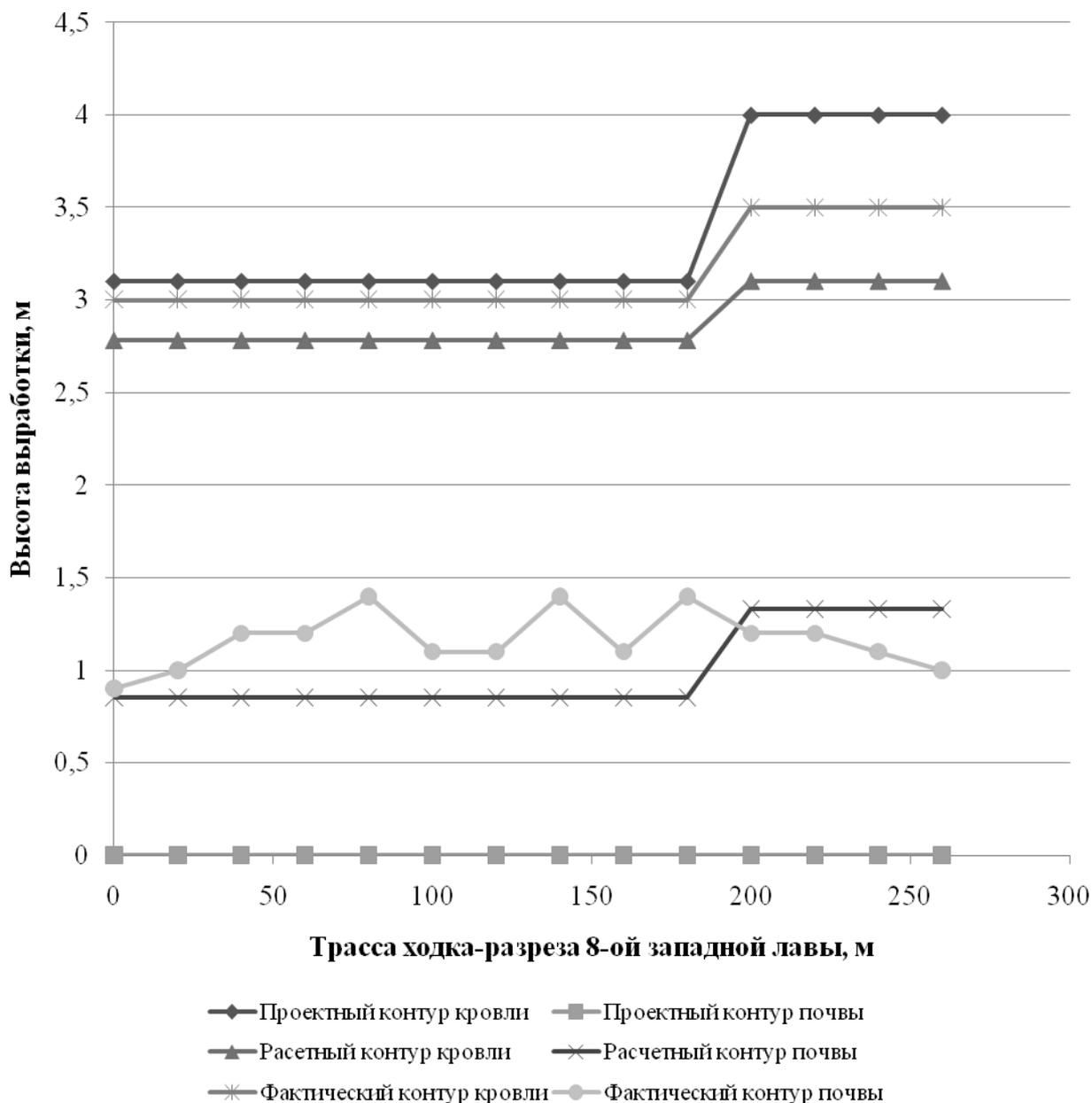


Рис. 4 – Сравнение расчетных и фактических данных сдвижений пород кровли и почвы ходка-разреза 8-ой западной лавы пласта  $m_3$

Таким образом, сопоставление расчетных и фактических значений вертикальной конвергенции пород в ходке-разрезе 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  показало их хорошую сходимость в сложных горно-геологических и горно-технических условиях проведения выработки. Сама выработка на момент на-

чала работ по монтажу механизированного комплекса была в хорошем состоянии. Для осуществления монтажа была сделана подрывка пород почвы в части выработки, закрепленной крепью КМП-А3/11,2, и раскошение ширины выработки на 1,0 м. В остальном шахта не понесла затрат на поддержание данной выработки в эксплуатационном состоянии, избежав затрат по предварительным расчетам порядка 850 тысяч гривен.

Разработанные и внедренные на основе проведенного комплекса исследований практические рекомендации показали, что «Технология стратегического планирования развития горных работ»<sup>©</sup> даже в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях проведения и эксплуатации подготовительной выработки способна осуществить не только качественный, но и в достаточной степени точный количественный прогноз геомеханического состояния пород в окрестности рассматриваемой выработки. Это говорит о необходимости выполнения подобных исследований при проведении выработок в сложных условиях, что в конечном результате приведет к улучшению производственной и экономической эффективности работы шахты, а так же еще раз подчеркивает справедливость позитивных отзывов, полученных на Технологию от ведущих отраслевых научных и проектных организаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
3. Пивняк Г.Г. Проблемы угольной отрасли Украины / Г.Г. Пивняк, Б.А. Грядущий // Материалы междунар. конф. «Форум горняков – 2009». – Д.: Национальный горный университет, 2009. – С. 7 – 19.
4. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. – М.: Недра, 1975. – 271 с.
5. Карташов Ю.М., Матвеев Б.В., Милев Г.В. Прочность и деформируемость горных пород. – М.: Недра, 1979. – 269 с.
6. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
7. Булат А.Ф. Методология определения рациональных технологических параметров ведения горных работ / А.Ф. Булат, А.И. Волошин, О.В. Рябцев и др. // Уголь Украины. – 2010, № 10. – С. 15 – 18.
8. Булат А.Ф. Технология стратегического планирования развития горных работ / А.Ф. Булат, А.И. Волошин, О.В. Рябцев и др. // Уголь. – 2011, № 2. – С. 22 – 25.