

ПРОГНОЗ И ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОНТУРА ПЛАСТОВОЙ ВЫРАБОТКИ

Наведено порівняльний аналіз установлених закономірностей переміщень контура пластової виробки з діючими нормативними методиками й аналітичними дослідженнями.

PROGNOSIS AND EVALUATION OF CALCULATION RELIABILITY OF CONTOUR MOVEMENT OF IN-SEAM OPENING

Comparative analysis of determined laws of movement of contour of in-seam opening with working regulatory methods and analytical researches.

Практическое использование системы критериев надежной и безопасной эксплуатации выработки [1] предполагает определение корреляционных зависимостей для расчета вертикальных и горизонтальных перемещений на тех участках ее контура, которые входят в качестве параметров в вышеупомянутые критерии.

В работах [2-5] на базе обширного массива расчетных данных выявлены закономерности связи перемещений контура выработки с ее горно-геологическими и горнотехническими параметрами. Эти закономерности исследованы методами корреляционно-дисперсионного анализа и получена система уравнений регрессии для прогноза перемещений контура пластовой выработки, размещенной в слоистом массиве слабых пород, например, шахт Западного Донбасса.

В критериях [1] используются значения вертикальных и горизонтальных перемещений U_1^y , $U_{4,5}^y$, $U_{4,5}^x$, U_9^y , U_{17}^x , U_{20}^y (рис. 1), для которых и осуществлено построение уравнений регрессии.

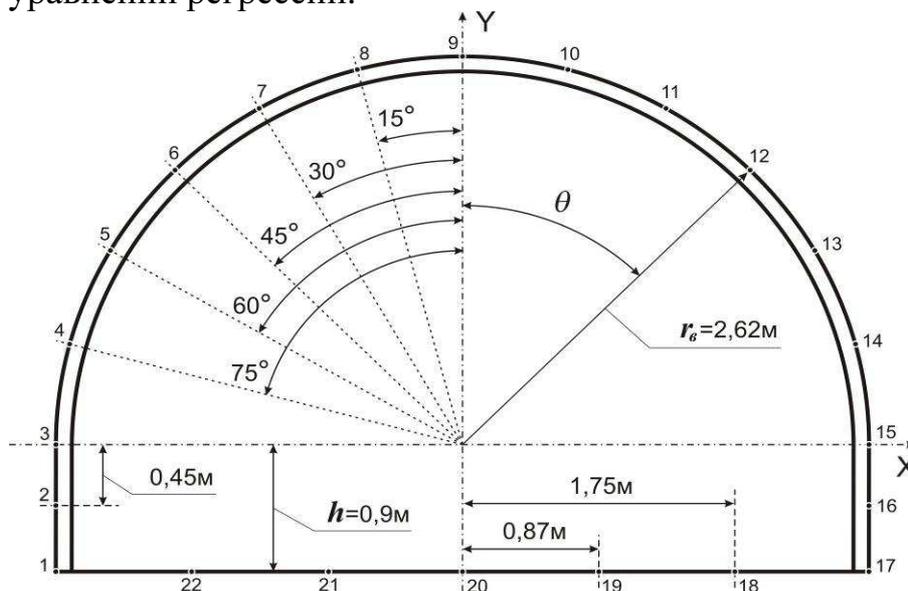


Рис. 1 – Схема расположения замерных точек по контуру выработки

Вдавливание стоек рамной крепи в породы почвы выработки

$$U_1^y = 0,41\Phi_{1,2} \frac{\exp(-0,034\sigma_{сж1}^K)}{\exp(0,4 \cdot 10^{-4} E_1^{\Pi})} \exp(-0,016\sigma_{сж2}^K) \times \\ \times \left[\frac{\sigma_{сж1}^{\Pi}}{(\sigma_{сж1}^{\Pi})^0} \right]^{0,55} \left[(0,25 - 10^{-2} \sigma_{сж1}^{\Pi})H + \frac{2,3 \cdot 10^{-2} H^2}{(\sigma_{сж1}^{\Pi})^{1,75}} \right], \quad (1)$$

где $\Phi_1 = 0,32S_{св}^{0,45}$ – для типовых сечений выработок с крепью КМП-А3; $\Phi_2 = 0,29S_{св}^{0,55}$ – для типовых сечений выработок с крепью КШПУ; H – глубина расположения выработки; $\sigma_{сж1,2}^{K,\Pi}$, $(\sigma_{сж1,2}^{K,\Pi})^0$, $E_{1,2}^{K,\Pi}$ – расчетное сопротивление породы при одноосном сжатии, остаточная прочность породы на стадии «руинного» разрушения и модуль деформации породы соответственно; Индексы «1» и «2» нумеруют породные слои, начиная от угольного пласта, а индексы «K» и «Π» обозначают принадлежность слоев к кровле или почве.

Опускание свода выработки в зоне прохода людей на высоте 1,8 м от почвы

$$U_{4,5}^y = 0,127\Phi_{3,4} \frac{\exp(-0,028\sigma_{сж2}^K)}{\exp(10^{-4} E_1^K)} \left(\frac{M_1^K}{E_1^K} \right)^{0,38} \times \\ \times \left[\frac{\sigma_{сж1}^K}{(\sigma_{сж1}^K)^0} \right]^{0,9} \left[(1,6 - 0,07\sigma_{сж1}^K)H + \frac{7,3 \cdot 10^{-2} H^2}{(\sigma_{сж1}^K)^{1,5}} \right], \quad (2)$$

где $\Phi_3 = 0,206S_{св}^{0,62}$ – для типовых сечений выработок с крепью КМП-А3; $\Phi_4 = 0,266S_{св}^{0,47}$ – для типовых сечений выработок с крепью КШПУ; M – модуль спада породного слоя.

Горизонтальное перемещение рамной крепи в зоне прохода людей на высоте 1,8 м от почвы

$$U_{4,5}^x = \frac{0,052\Phi_{5,6} \left(\frac{M_1^K}{E_1^K} \right)^{0,31}}{\exp[(E_1^K - 0,3E_2^K + 0,2E_1^{\Pi}) \cdot 10^{-4}]} \left[\frac{\sigma_{сж1}^K}{(\sigma_{сж1}^K)^0} \right]^{0,9} \left(\frac{2\sigma_{сж2}^K}{\sigma_{сж1}^K + \sigma_{сж1}^{\Pi}} \right)^{0,2} \times \\ \times \left[(1,62 - 0,068\sigma_{сж1}^K)H + \frac{5,1 \cdot 10^{-2} H^2}{(0,7\sigma_{сж1}^K + 0,3\sigma_{сж1}^{\Pi})^{1,43}} \right], \quad (3)$$

где $\Phi_5 = 0,234S_{св}^{0,57}$ – для типовых сечений выработок с крепью КМП-А3;

$\Phi_6 = 0,25S_{cb}^{0,6}$ – для типовых сечений выработок с крепью КШПУ.

Опускание замка свода выработки

$$U_9^y = 0,055\Phi_{3,4} \frac{\exp\left(-0,023\sigma_{сж2}^K\right)\left(\frac{M_1^K}{E_1^K}\right)^{0,26}}{\exp\left[\left(0,8E_1^K + 0,2E_2^K\right)\cdot 10^{-4}\right]} \cdot \frac{\sigma_{сж1}^K}{\left(\sigma_{сж1}^K\right)^0} \times$$

$$\times \left[\left(1,5 - 0,06\sigma_{сж1}^K\right)H + \frac{5,8 \cdot 10^{-2} H^2}{\left(0,85\sigma_{сж1}^K + 0,15\sigma_{сж2}^K\right)^{1,5}} \right] \ln \left[\frac{\sigma_{сж2}^K}{\left(\sigma_{сж2}^K\right)^0} + 8,7 \right]. \quad (4)$$

Горизонтальное перемещение опор стоек рамной крепи

$$U_{17}^x = 0,12\Phi_{5,7} \frac{\left(\frac{\sigma_{сж1}^K}{\sigma_{сж1}^\Pi}\right)^{0,22} \left(\frac{M_1^\Pi}{E_1^\Pi}\right)^{0,27}}{\exp\left[\left(E_1^\Pi - 0,3E_1^K\right)\cdot 10^{-4}\right]} \cdot \left[\frac{\sigma_{сж1}^\Pi}{\left(\sigma_{сж1}^\Pi\right)^0}\right]^{0,7} \times$$

$$\times \left[\left(1,45 - 0,055\sigma_{сж1}^\Pi\right)H + \frac{4,58 \cdot 10^{-2} H^2}{\left(\sigma_{сж1}^\Pi\right)^{1,3}} \left(\frac{E_1^K}{M_1^K}\right)^{0,16} \right], \quad (5)$$

где $\Phi_7 = 0,24S_{cb}^{0,69}$ – для типовых сечений выработок с крепью КШПУ.

Пучение почвы по середине ширины выработки

$$U_{20}^y = \frac{0,049\Phi_8 \left(\frac{M_1^\Pi}{E_1^\Pi}\right)^{0,35}}{\exp\left[\left(0,9E_1^\Pi - 0,25E_1^K\right)\cdot 10^{-4}\right]} \left[\frac{\sigma_{сж1}^\Pi}{\left(\sigma_{сж1}^\Pi\right)^0}\right]^{1,1} \times$$

$$\left\{ \left[1,37 - 0,048\left(1,1\sigma_{сж1}^\Pi - 0,32\sigma_{сж1}^K\right)\right]H + \frac{5,2 \cdot 10^{-2} H^2}{\left(\sigma_{сж1}^\Pi - 0,1\sigma_{сж1}^K\right)^{1,62}} \right\}, \quad (6)$$

где $\Phi_8 = 0,152S_{cb}^{0,74}$ – функция, постоянная для обеих серий крепей: КМП-А3 и КШПУ.

В выражениях (1)-(6) механические характеристики породных слоев подставляются в МПа, глубина расположения выработки – в метрах, площадь ее поперечного сечения в свету S_{cb} – в квадратных метрах. Результат вычисления перемещений имеет размерность в миллиметрах.

Величина потери сечения $\frac{\Delta S_{св}}{S_{св}}$ выработки в процессе осадки крепи определяется в процентах по выражениям:

– для типовых сечений выработок с крепью КМП-А3

$$\frac{\Delta S_{св}}{S_{св}} = S_{св}^{-0,5} (1,04U_9^y + 1,51U_{4,5}^x + 0,84U_{20}^y + 1,29U_1^y); \quad (7)$$

– для типовых сечений выработок с крепью КШПУ

$$\frac{\Delta S_{св}}{S_{св}} = S_{св}^{-0,5} (0,93U_9^y + 1,46U_{4,5}^x + 0,52U_{17}^x + 0,69U_{20}^y + 1,09U_1^y). \quad (8)$$

Зависимости (1)-(8) совместно с критериями [1] позволяют оценить надежность и безопасность эксплуатации предусмотренного проектом конкретного типоразмера выработки после осадки рамной податливой крепи из спецпрофиля СВП.

Основные результаты исследований [2-5] всесторонне проанализированы на предмет сравнения с существующими общепринятыми методиками расчета проявлений горного давления для оценки сходных и отличительных черт установленных закономерностей и степени их достоверности при прогнозе эксплуатационного состояния пластовой выработки. В этой связи, наиболее объективно, на наш взгляд, будет комплексное сравнение с аналитико-эмпирическими методиками, построенными на базе обширных шахтных исследований проявлений горного давления, и аналитическими методами, учитывающими характеристики запредельного состояния вмещающего массива, которые в шахтном эксперименте выявить и разделить чрезвычайно затруднительно.

К настоящему времени разработан и повсеместно используется ряд руководящих нормативных документов [6,7], где в качестве базового прогнозируемого параметра проявлений горного давления приняты перемещения породного контура выработки, технология замера которых в шахтных условиях отработана и не вызывает затруднений. С другой стороны, особенности влияния характеристик запредельного состояния массива на развитие перемещений контура выработки (которые в нормативных документах выражены в интегральной форме) оцениваются по известным и апробированным аналитическим методам [8,9].

Предварительно отметим, что установленные в работах [2-5] закономерности позволяют определить эпюру полных перемещений в любой точке контура выработки, в то время как «базовые» (с точки зрения сравнительного анализа) методики способны прогнозировать лишь кусочно-линейную эпюру перемещений, равномерную в пределах кровли, боков и почвы выработки. Поэтому сравнительный анализ проведен для максимумов вертикальных перемещений в замке свода U_9^y и в районе центральной оси по почве U_{20}^y , а также для горизонтальных

перемещений боков выработки $U_{4,5}^x$ в зоне прохода людей на высоте 1,8 м от почвы. Сравнение перемещений замка свода выработки вне зоны влияния очистных работ, рассчитанных по методикам [6,7], с установленными закономерностями дало такие результаты (рис. 2). Качественно закономерности развития смещений подобны друг другу. В количественном плане при $\sigma_{сжi}^{K,П} = 5$ МПа и 10 МПа расчеты смещений в замке свода U_9^y по нормативным методикам ложатся в область U_9^y для интервала изменения $E_i^{K,П} = (0,3...1) \cdot 10^4$ МПа по установленным закономерностям. При $\sigma_{сжi}^{K,П} = 20$ МПа смещения U_9^y занижены по сравнению с [6,7]. Здесь следует отметить, что в нормативных методиках не учитываются деформационные характеристики близлежащих породных слоев в отличие от установленных закономерностей. Поэтому при определенных сочетаниях деформационных характеристик породных слоев будет иметь место вполне удовлетворительное соответствие результатов расчетов U_9^y , как это выявилось, например, при $E_i^{K,П} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа для $\sigma_{сжi}^{K,П} = 5$ МПа и 10 МПа (отклонения с методикой [7] не превышают 11,3%). С другой стороны, вследствие действия увлажнения и реологических процессов деформационные характеристики породы снижаются, что вызывает увеличение перемещений U_9^y , и при $\sigma_{сжi}^{K,П} = 20$ МПа вполне возможно снижение отклонений в расчетах по методике

[7]. Также следует принимать во внимание влияние параметров $\frac{M_i^{K,П}}{E_i^{K,П}}$ и

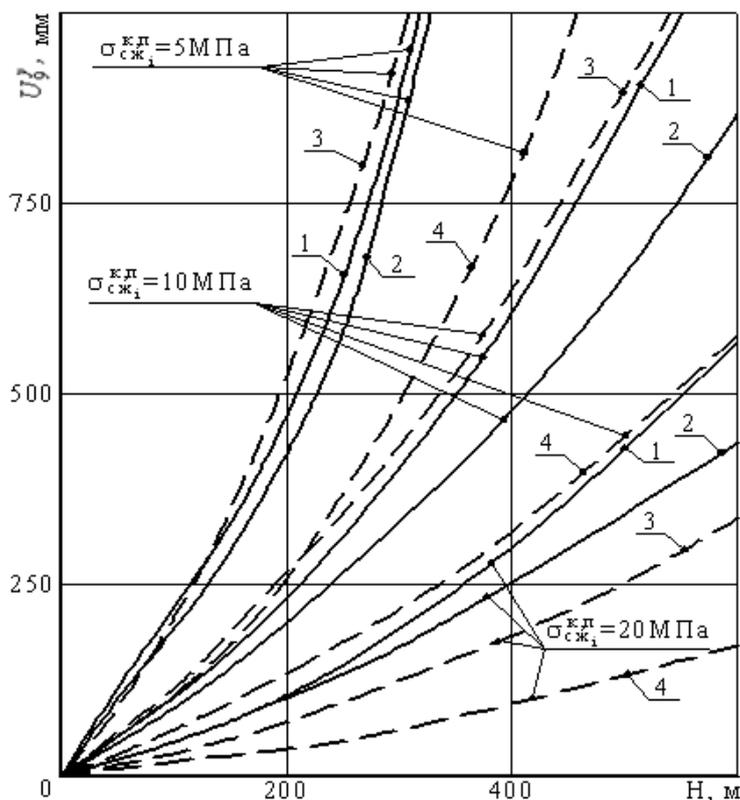
$\frac{(\sigma_{сжi}^{K,П})^0}{\sigma_{сжi}^{K,П}}$ предельного состояния породных слоев, которые в действующих нормативных документах не учитываются: исследования [8,9] доказывают тенденцию увеличения перемещений породного контура с ростом $\frac{M_i^{K,П}}{E_i^{K,П}}$ и снижением

$\frac{(\sigma_{сжi}^{K,П})^0}{\sigma_{сжi}^{K,П}}$. Поэтому установленные закономерности, учитывающие гораздо

большее количество механических характеристик слоистого массива, обладают более общим (с точки зрения геомеханических процессов) подходом к оценке устойчивости пластовой выработки.

Инструкция [10] разработана специально для условий шахт Западного Донбасса и отличается от предыдущих нормативных документов тем, что даже вне зоны влияния очистных работ предполагает постоянный и равномерный во времени (за исключением начального периода в 20...40 суток после проведения выработки) рост перемещений породного контура. Действительно, в Западном Донбассе развитие перемещений протекает более длительный период, однако

все же наблюдается эффект затухания скорости перемещения по мере эксплуатации подготовительных выработок, как это учтено в [6,7].



1 – [7]; 2 – [6]; 3 – $E_i^{K,П} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа; 4 – $E_i^{K,П} = 1 \cdot 10^4$ МПа

Рис. 2 – Перемещения в замке свода выработки (срок службы более 15 лет) по нормативным документам (—) и установленным закономерностям (---)

Тем не менее, на рис. 3 построены графики роста перемещений породного контура с увеличением H для периода эксплуатации выработки $t = 1$ год и 5 лет (сплошные линии) и проведено их сравнение с аналогичными зависимостями по установленным закономерностям [2-5], для которого построены графики при

$\frac{(\sigma_{сж_i}^{K,П})^0}{\sigma_{сж_i}^{K,П}} = 0,05$ и $0,20$. Это сделано с учетом предположения, что во времени остаточная прочность пород (под действием ослабляющих факторов) снижается более интенсивно, чем прочность ненарушенных пород (специальных измерений на этот счет авторы не обнаружили в современных источниках). Таким образом,

отношение $\frac{(\sigma_{сж_i}^{K,П})^0}{\sigma_{сж_i}^{K,П}}$ по мере эксплуатации выработки будет снижаться и образу-

ется некоторая область, в которую попадает семейство зависимостей $U_9^y(H)$; для того, чтобы дать точное числовое различие в вычислениях U_9^y , необходим учет всей гаммы механических характеристик углевмещающего массива в нормативных методиках, что, к сожалению, пока не осуществлено. Из всего семейства

$U_y^y(H)$ выпадает только вариант $\sigma_{сж_i}^{К,П} = 20$ МПа, $\frac{(\sigma_{сж_i}^{К,П})^0}{\sigma_{сж_i}^{К,П}} = 0,2$, хотя существует

тенденция [8] снижения $\frac{(\sigma_{сж_i}^{К,П})^0}{\sigma_{сж_i}^{К,П}}$ по мере увеличения прочностных характеристик породы.

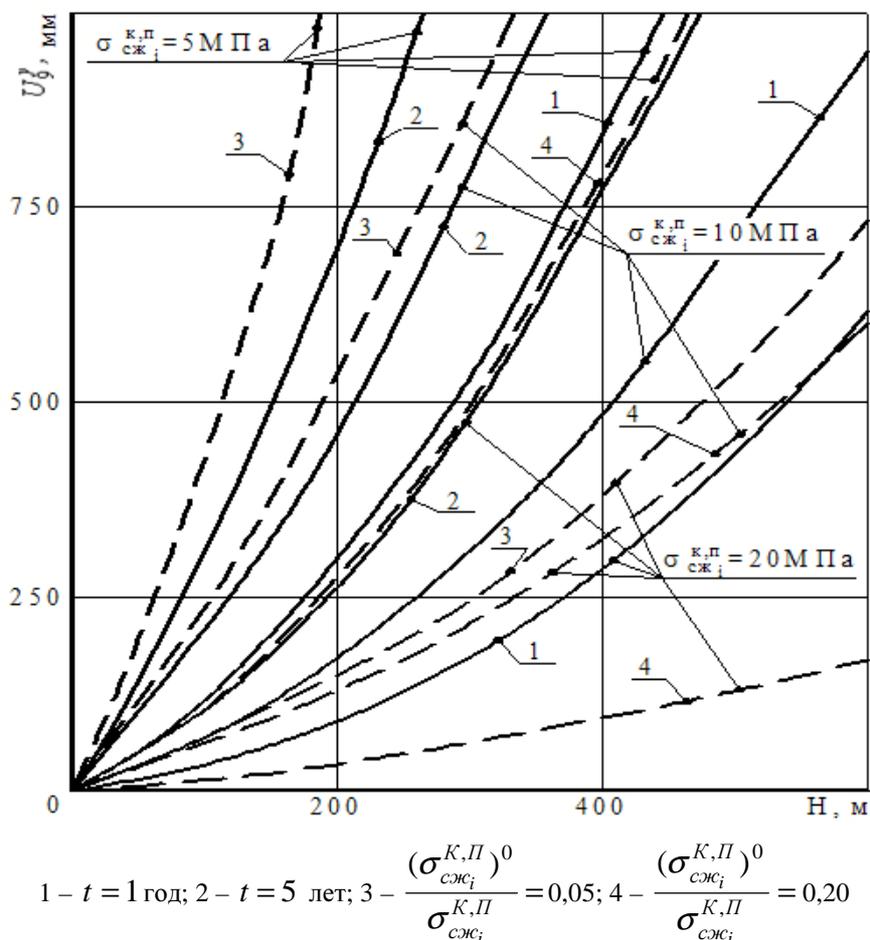
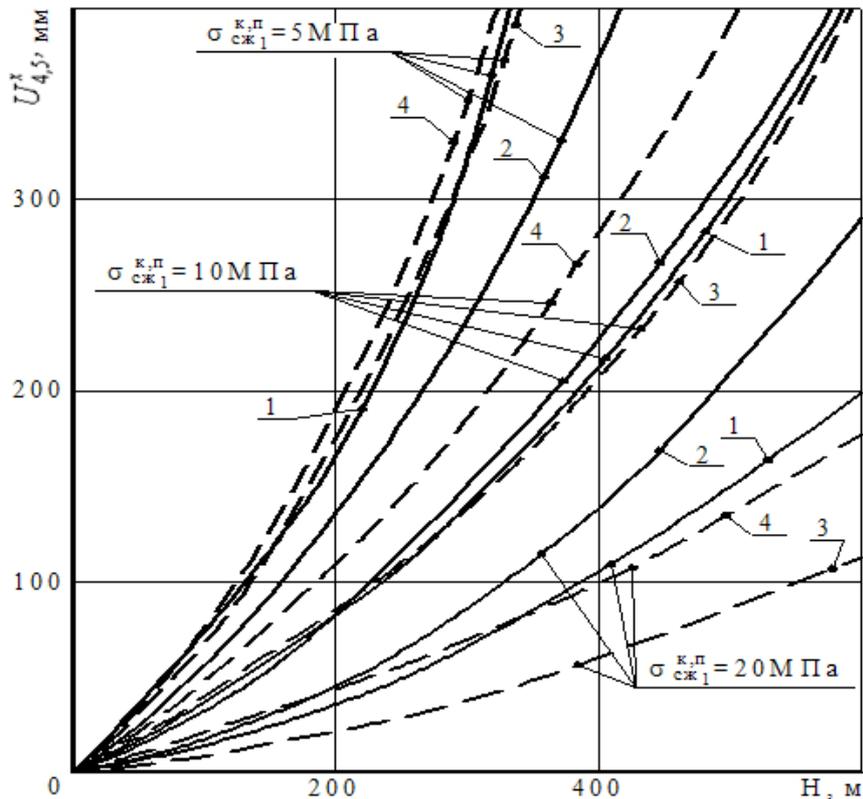


Рис. 3 – Перемещения в замке свода выработки по инструкции [10] (—) и установленным закономерностям (---)

Теперь перейдем к сравнению величины перемещений $U_{4,5}^x$ в боках выработки на высоте зоны прохода людей. В нормативных документах [6,7,10] отношение перемещений в боках и кровле (почве) регулируется постоянным коэффициентом, равным 0,35 для выработок, пройденных по простиранию на пологих угольных пластах. Причем, считается, что величина $U^x(y)$ постоянна по высоте выработки, хотя шахтные наблюдения и расчеты показывают переменное перемещение боков выработки по ее высоте. Поэтому координаты боков выработки зафиксированы некоторым средним значением (район прохода людей) ее высоты и для них проведено сравнение с установленными закономерностями (рис. 4).



1 – [7], $t \geq 15$ лет; 2 – [10], $t = 2$ года; 3 – $\sigma_{сж1}^{к,п} = 5$ МПа, $E_i^{к,п} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа;
 4 – $\sigma_{сж2}^K = 20$ МПа, $E_2^K = 1 \cdot 10^4$ МПа

Рис. 4 – Боковые перемещения в зоне прохода людей по нормативным документам (—) и установленным закономерностям (---)

Закономерности $U_{4,5}^x(H)$ имеют одинаковую качественную картину, а в количественном плане необходимо отметить следующее:

– для однородного по механическим характеристикам близлежащего породного массива рассчитанное усредненное отношение $\frac{U_{4,5}^x}{U_9^y} = 0,30 \dots 0,36$ близко к рекомендуемому (0,35) по нормативным методикам [6,7,10]; поэтому отклонения функций $U_{4,5}^x(H)$ относительно невелики;

– когда в кровле выработки залегает более крепкий и жесткий второй породный слой ($\sigma_{сж2}^K = 20$ МПа, $E_2^K = 1 \cdot 10^4$ МПа), то усредненное отношение $\frac{U_{4,5}^x}{U_9^y}$ увеличивается до 0,56...0,59. Это объясняется механизмом развития боковых перемещений, когда более крепкий и жесткий второй породный слой кровли действует как штамп, выдавливая в полость выработки более слабые и менее жесткие первые породные слои кровли и почвы.

Что касается числовых значений отклонений, то при $\sigma_{сжi}^{K,II} = 5$ МПа и 10 МПа они составляют с [7] не более 5,8%, при $\sigma_{сжi}^{K,II} = 20$ МПа и $E_2^K = 0,3 \cdot 10^4$ МПа отклонения $U_{4,5}^x$ увеличиваются до 45...56%, при $E_2^K = 1 \cdot 10^4$ МПа разница в боковых смещениях уменьшается до 6,3...8,8%. Методика [10] по сравнению с [7] дает заниженные боковые смещения при $\sigma_{сжi}^{K,II} = 5$ МПа, примерно, равную величину $U_{4,5}^x$ при $\sigma_{сжi}^{K,II} = 10$ МПа и завышенное $U_{4,5}^x$ при $\sigma_{сжi}^{K,II} = 20$ МПа.

Анализируя развитие перемещений в почве выработки по нормативным документам и установленным закономерностям необходимо отметить следующее:

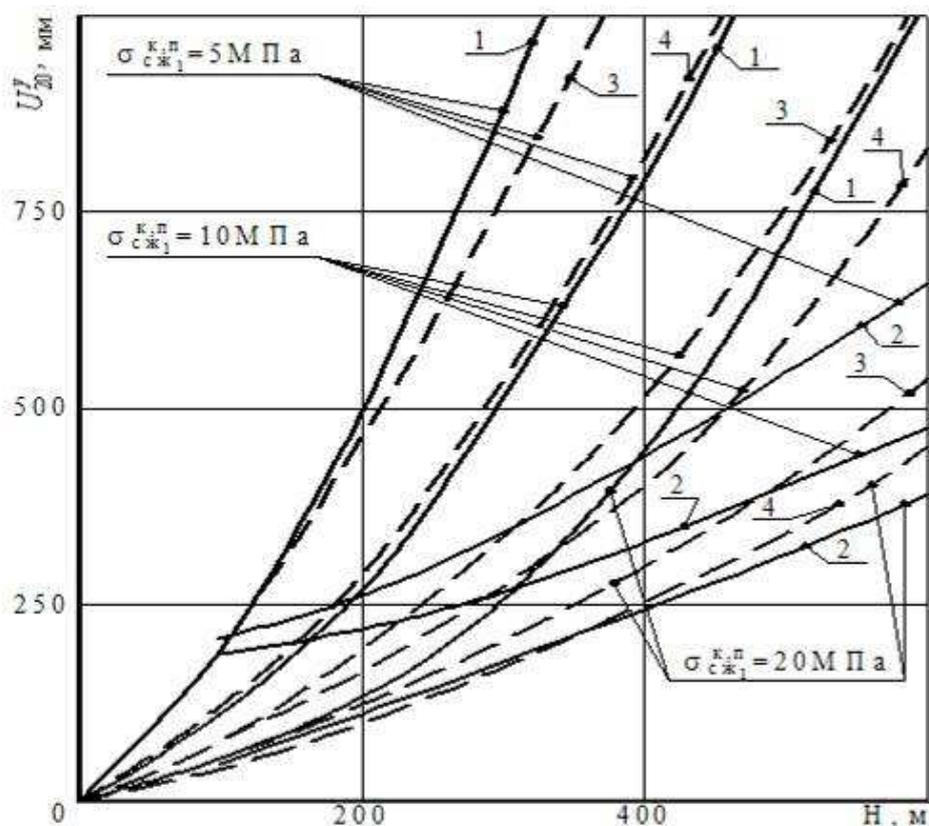
– в методиках [6,7] величина перемещений в кровле и почве принимается одинаковой;

– в методике [10] величина перемещения в почве оказывается несколько выше, чем в кровле. Однако с увеличением срока эксплуатации выработки t эта разница нивелируется; так, при $t = 1$ год смещение в почве превышает смещение в кровле в 1,52...1,74 раза, при $t = 10$ лет – в 1,10...1,27 раза;

– следует более внимательно подходить к результатам экспериментальных замеров смещений в кровле и почве: в большинстве публикаций либо не указывается методика измерения, либо она описывается таким образом, что разделить смещения в кровле и почве невозможно и, по сути, приводится величина сближения кровли и почвы – ведь известно, что для осуществления такого разделения необходимо вести маркшейдерскую съемку от более – менее неподвижной отметки в районе, например, околоствольного двора. Кроме того, в слабых породах почвы наблюдается эффект вдавливания стоек рамной крепи, даже при наличии подпятников. Поэтому, следует также разделять величину вдавливания $U_{1,17}^y$ стоек в почву (под действием преимущественно вертикальных сил горного давления в кровле) и величину непосредственно пучения самой почвы. По нашим расчетам и шахтным наблюдениям $U_{1,17}^y = 0,1...0,5$ м; это значение (когда измеряется сближение кровли и почвы) следует приплюсовывать к перемещениям кровли U_9^y и отнимать от перемещений почвы U_{20}^y – тогда разница между U_9^y и U_{20}^y будет нивелироваться.

Указанные причины способствовали появлению различий в конечных результатах прогноза пучения почвы выработки при малом сроке ($t = 1$ год) ее эксплуатации (рис. 5, семейство кривых 1 и 2). Представление методики [10] о незатухающем во времени развитии перемещений породного контура (в том числе и почвы при $t > 1$ года еще более усиливают расхождения с результатами расчета U_{20}^y по методике [7]. В этой связи численные значения закономерностей развития пучения, рассчитанные по установленным нами закономерностям, занимают промежуточное положение между методиками [10] и [7]. Обращает внимание тот факт, что при более крепком и жестком первом породном слое кровли рост пучения почвы выработки происходит более интенсивно до 2,06 раз. Такое влияние

$\sigma_{сж1}^K$ и E_1^K объясняется самой природой пучения, когда относительно целостный первый слой кровли совместно с угольным пластом выдавливают (в зоне опорного давления) в полость выработки разупрочненный первый породный слой почвы.



1 – [7], $t = 1$ год; 2 – [10], $t = 1$ год; 3 – $\sigma_{сж1}^K = 20$ МПа, $E_1^K = 1 \cdot 10^4$ МПа;
 4 – $\sigma_{сж1}^K = 5$ МПа, $E_1^K = 0,3 \cdot 10^4$ МПа

Рис. 5 – Перемещения почвы выработки (в районе ее центральной оси) по нормативным документам (—) и установленным закономерностям (---)

Таким образом, на основе сравнительного анализа результатов прогноза перемещений породного контура выработки по нормативным документам и установленным в работах [2-5] закономерностям можно сделать следующие выводы:

- результаты расчетов перемещений контура выработки, особенно ее почвы, имеют существенное различие между собой по нормативным методикам [10] и [7];

- в установленных зависимостях (1)-(8) и нормативных документах [6,7,10] имеют место схожие закономерности связи перемещения породного контура с глубиной разработки и сопротивлением сжатию породных слоев вмещающего массива;

- как правило, расчеты по установленным закономерностям дают более широкий интервал перемещений, в который попадают величины $U(x, y)$, вычис-

ленные по нормативным документам; это обусловлено учетом слоистости вмещающего выработку массива со всей гаммой влияния механических характеристик породных слоев в допредельной, предельной и запредельной стадиях их деформирования;

– разрабатываемый алгоритм позволяет прогнозировать эпюру перемещений на всех участках контура выработки, что позволяет оценивать ее эксплуатационную пригодность в соответствии с требованиями правил безопасности и технологическими требованиями функционирования выработки.

В итоге, можно утверждать, что установленные закономерности прогноза перемещений контура пластовой выработки не противоречат нормативным документам [6,7,10], а дают более полную картину развития перемещений в зависимости от основных механических характеристик каждого из близлежащих породных слоев.

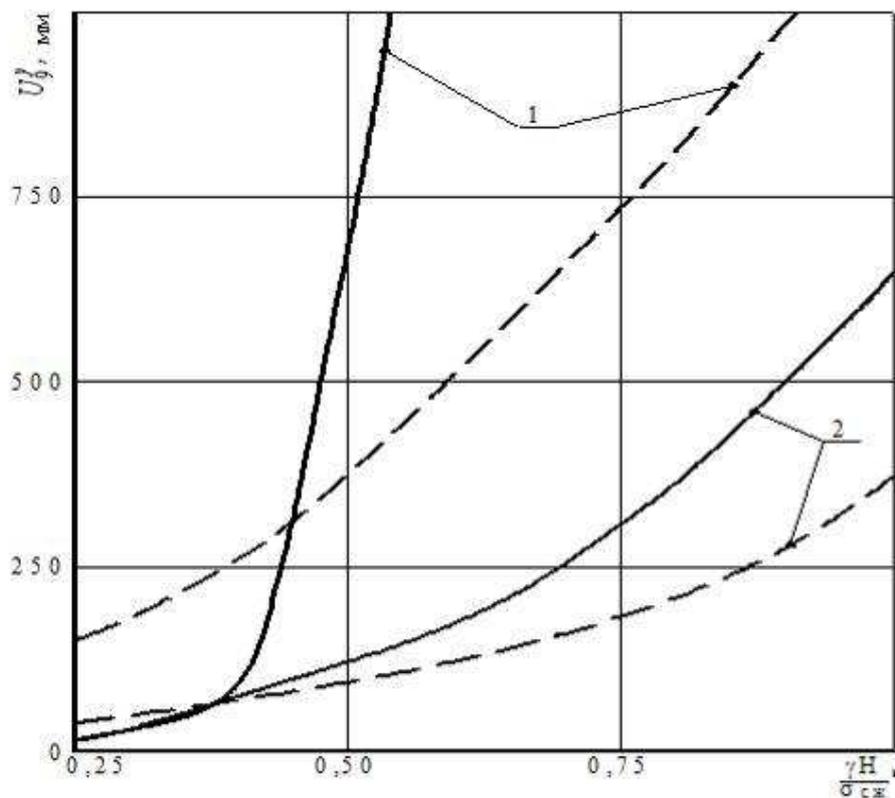
В плане более полного учета механических характеристик пород представляет интерес сравнения результатов расчета с методом проф. В.В. Виноградова [8]. Здесь можно провести в основном качественное сравнение закономерностей связи перемещений контура выработки с механическими характеристиками окружающего массива, поскольку исходные положения оцениваемых методологий имеют существенные отличия в части учета: слоистости с нарушенными контактами в окрестности выработки; реальной формы выработки взамен ее кругового очертания; реального паспорта крепления выработки с соответствующими особенностями взаимодействия крепи и приконтурного породного массива взамен приложения равномерно распределенной реакции крепи. Тем не менее, закономерности влияния механических характеристик близлежащего породного массива и тенденции развития перемещений с увеличением параметра $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$ во многом схожи. Так, величина остаточной прочности породы ока-

зывает значительное влияние на величину перемещений (рис. 6). На этом рисунке приведены перемещения в замке свода выработки, поскольку метод [8] предполагает равномерное распределение перемещений по контуру выработки.

По мере снижения отношения $\frac{\sigma_{сж}^0}{\sigma_{сж}}$ происходит резкое увеличение перемещений породного контура. Причем, по методу [8] при $\frac{\sigma_{сж}^0}{\sigma_{сж}} = 0,05$ возникает «ката-

строфическое» развитие перемещений в довольно узком диапазоне $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} = 0,40...0,55$, что не наблюдается на практике. В установленных закономерностях такого скачка U_9^y не происходит, а имеет место плавный рост перемещений по некоторой степенной зависимости от $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$.

строфическое» развитие перемещений в довольно узком диапазоне $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} = 0,40...0,55$, что не наблюдается на практике. В установленных закономерностях такого скачка U_9^y не происходит, а имеет место плавный рост перемещений по некоторой степенной зависимости от $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$.



$$1 - \frac{\sigma_{сж}^0}{\sigma_{сж}} = 0,05; \quad 2 - \frac{\sigma_{сж}^0}{\sigma_{сж}} = 0,20$$

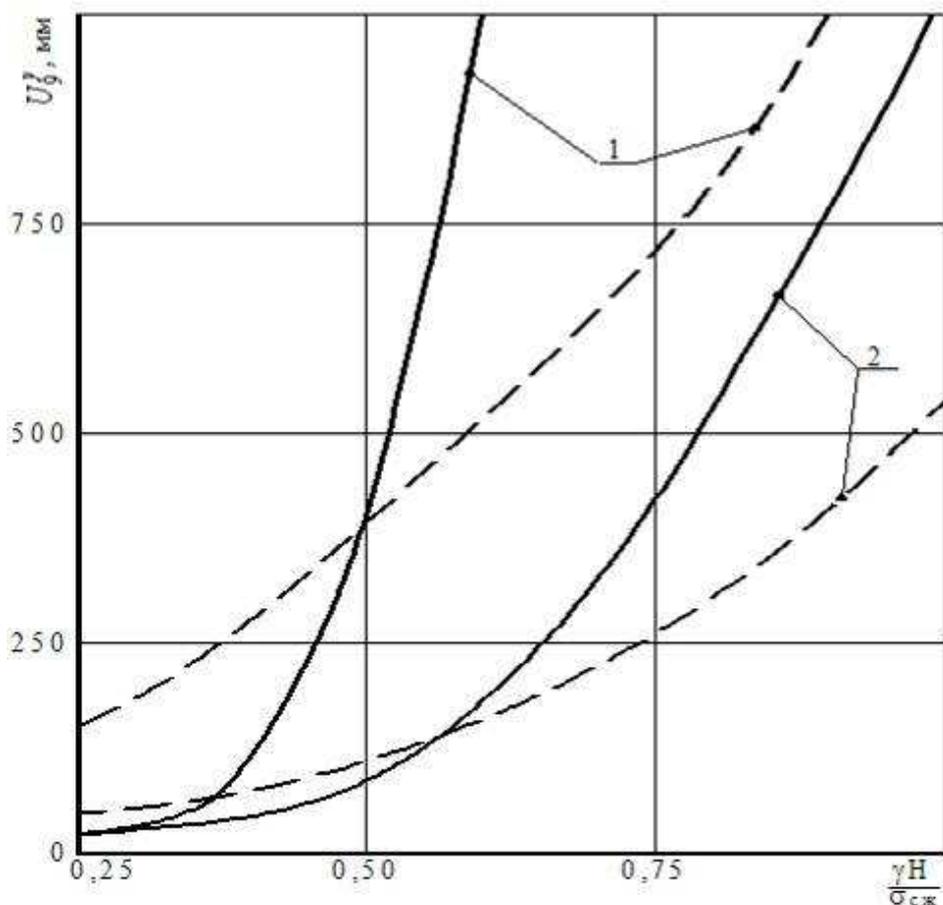
Рис. 6. – Перемещения в замке свода выработки по методу [8] (—) и установленным закономерностям (---)

Другим существенно влияющим параметром согласно [8] является отношение $\frac{M}{E}$ модуля спада к модулю деформации породы, по которому оценивают степень хрупкости породы при ее разрушении. Общеизвестно, что склонность породы к хрупкому разрушению $\left(\frac{M}{E} \rightarrow \infty\right)$ провоцирует развитие обширных зон предельного состояния и, как следствие, значительных перемещений породного контура выработки. Только в установленных закономерностях функции $U_y^0\left(\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}\right)$ возрастают более плавно (рис. 7) без проявления скачка перемещений, как это наблюдается в методе [8].

В целом, результаты сравнительного анализа показывают, что разрабатываемый алгоритм прогноза перемещений контура выработки не противоречит известным геомеханическим закономерностям проявлений горного давления, установленным как экспериментальным [6,7,10], так и аналитическим [8] путем. Следовательно, исходные предпосылки разрабатываемого алгоритма выбраны достаточно обоснованно, а их преимущество в сравнении с известными

методиками прогноза заключаются в учете:

- реальной структуры углевмещающей породной толщи угольных пластов;
- нарушения сплошности массива по плоскостям напластования породных слоев;
- реального паспорта крепления пластовой выработки;
- полных диаграмм деформирования каждого из элементов системы «слоистый массив-крепь подготовительной выработки».



$$1 - \frac{M}{E} = 5; 2 - \frac{M}{E} = 0,5$$

Рис. 7. – Перемещения в замке свода выработки по методу [8] (—) и установленным закономерностям (---)

Таким образом, перспектива развития численных методов учета реальных структур объектов и полных диаграмм нагружения материалов [5] не вызывает сомнений при условии постоянного накопления экспериментальных данных о поведении углевмещающей слоистой толщи пород не только в допредельной, но и запредельной стадиях состояния, что будет способствовать повышению точности прогноза проявлений горного давления в подземных горных выработках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Мамайкин А.Р. Обоснование критериев оценки эксплуатационной пригодности подготовительной выработки // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №1. – С. 17-19.
2. Исследование влияния геомеханических параметров углевмещающего породного массива на смещения кровли подготовительной выработки /В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.В. Фомичев //Матер. междунар. конф. «Форум гірників». Том.1. – Д.: НГУ, 2008. – С. 54-59.
3. Ковалевская И.А., Почепов В.Н., Мамайкин А.Р. Экспериментальные исследования перемещений опор стоек крепи пластовой выработки //Матер. междунар. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Д.: ЛізуновПрес, 2009. – С. 392-397.
4. Ковалевська І.А., Мамайкін О.Р., Фомичов В.В. Дослідження впливу геомеханічних параметрів вуглевміщуючого масиву слабких порід на здимання підшви виробки //Науковий вісник НГУ. – 2008. – №7. – С. 32-35.
5. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга 2. Предельное и запредельное состояние системы «порода-крепь» /В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.В. Фомичев. – Д.: Системные технологии, 2007. – 198 с.
6. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. – М.: Стройиздат, 1983. – 273 с.
7. Руководящий нормативный документ Министерства угольной промышленности КД 12.01.01.201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – Киев: УкрНИМИ, 1998. – 149 с.
8. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
9. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 271 с.
10. Руководство по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса. – Спб.: ВНИМИ, 1992. – 51 с.