

УДК 622.8: 614.8: 331.452: 622.83

**С.Г. НЕГРЕЙ** (канд. техн. наук, доц.)

**И.Г. САХНО** (докт. техн. наук, проф.)

**Т.А. НЕГРЕЙ** (мл. науч. сотр.)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, г. Покровск

**В.А. КОЛОМИЕЦ** (инженер)

ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1» г. Угледар, Украина

[serhii.nehrii@donntu.edu.ua](mailto:serhii.nehrii@donntu.edu.ua)

## УСТАНОВЛЕНИЕ ЗОН АКТИВНЫХ ОБРУШЕНИЙ ПОРОД НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ НА КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ ЛАВ

Рассмотрены причины травмирования горнорабочих вследствие обвалов и обрушений пород непосредственной кровли при выполнении операций в рамках производственного процесса «Выемка угля в очистном забое». Предложена методика прогноза зон активных обрушений пород на концевых участках лав для профилактики травматизма при ведении очистных работ. На основании результатов инструментальных наблюдений за сдвижением горных пород на концевых участках лав, определения глубины разрушения краевой части пласта установлена зависимость смещений пород кровли по кромке вынимаемого пласта от основных влияющих факторов. Дальнейшее развитие полученных результатов, а также учет параметров крепления концевых участков лав позволили получить выражения по определению: фактической ширины призабойного пространства; глубины разрушения краевой части пласта; смещений кровли на концевых участках лав; границы зоны возможного обрушения пород его призабойной части.

**Ключевые слова:** травматизм, вывалообразование, смещения кровли, зона разрушения, призабойное пространство, средство охраны, зона обрушения.

### Постановка проблемы.

Травматизм от обвалов и обрушений является наиболее распространенным при выполнении горных работ среди вредных и опасных производственных факторов [1-6]. Обвалы и обрушения пород имеют место в случаях:

- пренебрежения требованиями ПБ и регламентами паспортов проведения или крепления выработок (некачественное крепление выработки, отсутствие или некачественная забутовка закрепного пространства, несоблюдение паспортных параметров и т.д.);
- когда в горной выработке применяются крепи, которые по своим характеристикам не соответствуют текущей геомеханической ситуации;
- нарушения сроков проведения плановых ремонтов выработок;
- отсутствия своевременного мониторинга геомеханической ситуации в выработках, подверженных интенсивным смещениям вмещающих пород;
- отсутствия мероприятий по предупреждению обрушений пород;
- отсутствия или неэффективности контроля за безопасностью выполнения работ в выработках.

При обрушениях пород преобладающее количество несчастных случаев происходит по причине недобросовестного отношения работников к безопасности выполнения работ. То есть основной причиной травмирования является человеческий фактор. Но стоит признать, что не единичны случаи травмирования рабочих в результате обвалов и обрушений, когда вина пострадавшего только лишь в том, что он находился в опасном месте и, по независящим от него причинам, не смог адекватно оценить ситуацию для недопущения получения травмы. Тогда человеческий фактор имеет второстепенное значение, а первопричиной является несовершенство паспортов ведения горных работ и отсутствие контроля за геомеханической ситуацией в окружающем массиве.

Вероятность обвалов и обрушений пород в полость выработок в большей мере зависит от геомеханической ситуации в окружающем массиве, которая характеризуется устойчивостью обнажений горных пород [6-12] и зависит от горно-геологических условий и принятой технологии ведения горных работ. Изучению вывалообразований и установлению зон вероятных вы-

валов пород в горних виробках и очистних забоях посвящено большое количество исследований. Но особый интерес представляет изучение геомеханической ситуации на концевых участках лав и участках подготовительных выработок, примыкающих к ним. Эти участки находятся в зоне интенсивного влияния очистных работ [13], на них отмечается высокая концентрация работ с размещением габаритных машин и механизмов, наличие коммуникационных сетей и средств крепления, значительные площади пород кровли, локально удерживаемые посредством установки индивидуальных крепей и дополнительных крепежных элементов [13]. Поэтому актуальным на этих участках является вопрос обеспечения безопасности ведения работ и безаварийного поддержания примыкающих к лаве выработок.

Производственный цикл на концевых участках лав состоит из наборов операций (подопераций), направленных на обеспечение устойчивой работы лавы и обслуживание очистных работ на участках его сопряжения с примыкающими выработками. Эти операции, как правило, включают работы: по навалоотбойке угля в нишах (бермах, бровках), креплению призабойного пространства, возведению охранных конструкций позади лавы, передвижку головок лавного конвейера, поддержание сопряжений выработок с лавой и т.д. При отбойке угля с последующим возведением элементов крепи на концевых участках лав отмечаются случаи травмирования рабочих в призабойном пространстве в результате обрушения пород кровли. Это указывает на то, что сразу же после выемки полезного ископаемого, в течение короткого промежутка времени, происходит отслаивание и обрушение породных отдельностей на сравнительно небольшом удалении от кромки пласта. То есть существует зона обрушения пород, при пребывании в которой достаточно высока вероятность травмирования рабочих. Для этих зон необходима разработка мер по предупреждению неблагоприятных событий. К настоящему времени параметры зон обрушения на концевых участках лав в зависимости от основных влияющих факторов не установлены, что открывает направление для проведения исследований по разработке мероприятий для снижения уровня производственного травматизма при ведении очистных работ.

**Целью работы** является установление параметров зон обрушения пород кровли в призабойном пространстве концевых участков лав для дальнейшей разработки трудоохранных мероприятий в условиях ведения очистных работ.

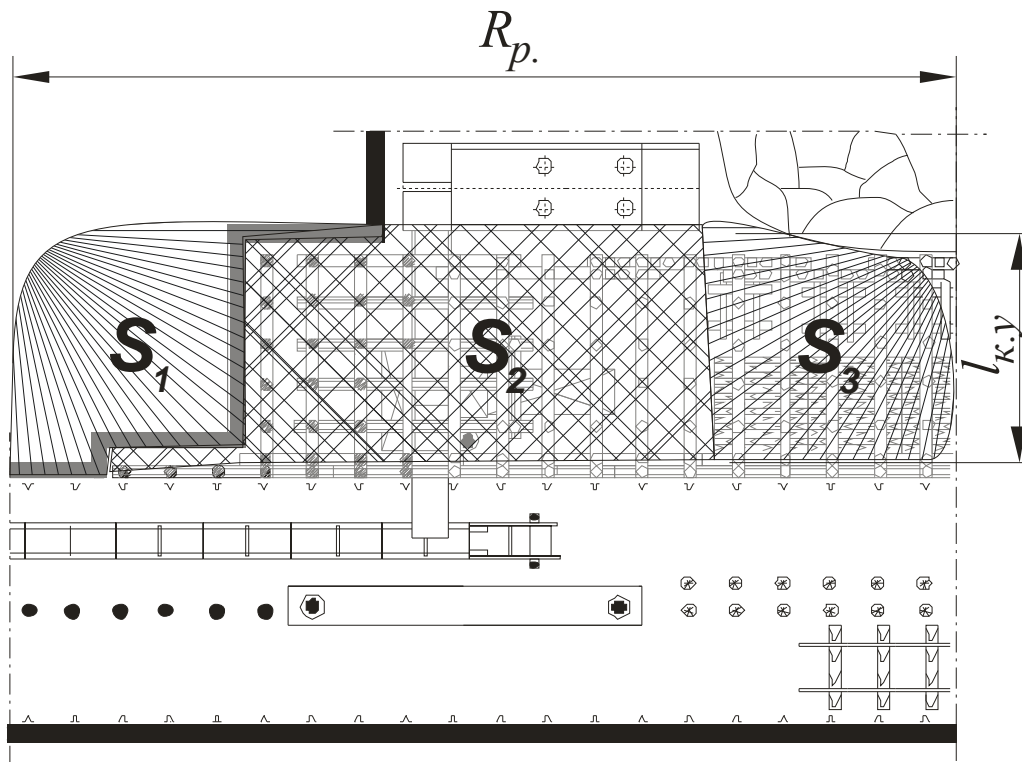
На устойчивость обнажения пород на концевых участках лав влияет: опорное давление от движущегося очистного забоя и примыкающей выработки, физико-механические характеристики вмещающего массива, рабочее сопротивление крепи, ширина поддерживаемого призабойного пространства, расстояния между рамками крепи, коэффициент затяжки кровли, несущая способность и податливость средств охраны, величина отставания охранных сооружений от лавы, площадь его опорной поверхности, скорость подвигания лавы, параметры примыкающей выработки и т.д. [6, 12, 14-16]. Классификационные признаки пород непосредственной кровли по устойчивости приведены в руководящем нормативном документе [14], в котором геомеханическими критериями, по которым определяется категория пород кровли по устойчивости, являются: мощность нижнего слоя кровли, расстояние между трещинами в нем и размер устойчивого шага зависания этого слоя в выработанном пространстве после извлечения крепи. В зависимости от категории непосредственной кровли регламентируется применение технологических схем и параметров крепления очистных забоев, в том числе их концевых участков [14]: расстояния от угольного забоя до консоли верхняка, ширина бесстоечного пространства, расстояния между стойками крепи в рамке постоянной крепи, ширина поддерживаемого призабойного пространства, шаг расстановки рамок крепи вдоль лавы и др.

На геомеханическую ситуацию вокруг концевых участков и сопряжений также влияют параметры средств охраны подготовительной выработки. Но, к сожалению, документ [14] не учитывает этого, хотя эксплуатационное и безопасное состояние концевых участков лав и прилегающих к ним участков выработок зависит от несущей способности, податливости охранных конструкций, их геометрических параметров, удаленности от задней стойки постоянной крепи в очистном забое и т.д. [12, 17]. Установить влияние этих параметров на развитие зоны интенсивных смещений пород кровли на концевых участках лав, а также объемы и частоту обрушений можно с использованием известных методик, по результатам аналитических и лабораторных исследований, а также натурных наблюдений [12, 16, 18-30]. Оперирование вышеприведенными горно-геологическими и технологическими параметрами, по нашему мнению, позво-

лит оценить степень влияния устойчивости окружающих пород на уровень производственного травматизма при выполнении определенных операций на рабочих местах.

Одним из критериев, определяющим устойчивость обнажений на концевых участках лав, могут быть смещения пород кровли, которые являются результатом сдвижения вмещающих пласт пород. От их величины и интенсивности зависят процессы трещинообразования, расслоения пород непосредственной кровли, деформирования крепей и, как результат, обрушение их в рабочее пространство. Величина и интенсивность смещений пород непосредственной кровли на концевом участке лавы, как указывалось ранее, зависит от множества горно-геологических и горнотехнических факторов. Не менее значимыми являются геометрические параметры концевых участков и условия их крепления. Ведь известно, что при безнишевой выемке, когда концевые участки лавы небольших размеров и в плане имеют малую площадь, обеспечивается лучшее состояние обнажений пород и отмечается меньшее количество случаев травмирования от обрушений [31-33]. А, так как особенностью управления горным давлением на этих участках является необходимость поддержания значительных площадей незакрепленных боковых пород, которые находятся в зоне его повышенных значений [13], в качестве комплексного параметра, учитывающего условия поддержания концевых участков лав, предлагается рассмотреть зоны активных смещений пород кровли на этих участках (рис. 1).

Обрушения пород проявляются в виде вывалов глыб, слоев и кусков породы, отделения части пород кровли или сдвижения всей подработанной толщи. Причем в результате активных сдвижений в рабочее пространство устремляются, как единичные породные отдельности, так и породные объемы. Поэтому данные геомеханические процессы можно отнести к вывалообразованию – местному выпадению отделившейся от массива части породы [18]. Несмотря на то, что вывалообразование во многих работах рассматривается в капитальных, подготовительных выработках и средней части лавы [18, 12, 19-20, 34-38], их результаты частично можно распространить на концевые участки.



**Рис. 1.** Схема концевой участка очистного забоя с предполагаемой зоной активных смещений пород кровли на данном участке ( $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  – площади сдвижения пород, соответственно, над краевой частью пласта, в зоне призабойной крепи и в периферийной зоне охранного сооружения;  $R_p$  – протяженность участка расслоения пород непосредственной кровли, принимающие участие в смещениях над концевым участком;  $l_{к.у}$  – ширина концевой участка лавы)

В работе [18] предложен показатель, характеризующий влияние смещений пород на вероятную нагрузку от вывала (коэффициент деформаций), который определяется из выражения

$$K_{Д.} = 1 + \frac{U_{\phi} - U_{кр}}{U_{кр} f}, \quad (1)$$

где  $U_{\phi}$  – смещения породного контура кровли, предшествующие вывалу, мм;

$U_{кр}$  – критические смещения характеризующие развитие трещин, мм;

$f$  – коэффициент крепости пород, залегающих в кровле.

Для однородных или сложных массивов в зависимости от прочности пород на одноосное сжатие (для условий Донбасса) критические смещения  $U_{кр}$  принимается от 110 до 140 мм, а при отсутствии данных – предложено принимать  $U_{кр}=90$ мм [18]. При данных смещениях будет наблюдаться прогиб слоя пород кровли, сопровождающийся появлением разрывных нарушений породного массива и трещинообразованием. При фактических смещениях пород кровли, превышающих критические

$$U_{\phi} > 90 \text{ мм (т.е. } K_{Д.} > 1), \quad (2)$$

возможны вывалы пород. Если условие (2) не выполняется, вывалообразование не наблюдается. Таким образом, выражение (2) можно считать условием расслоения пород, обрушения в рабочее пространство и возможного травмирования рабочих от данного фактора.

Величины смещений пород кровли, превышающие критическое значение, могут наблюдаться в средней и задней части концевого участка по ширине призабойного пространства, но у забоя они, как правило, меньше  $U_{кр}$  [16]. Тем не менее, нередки случаи травмирования рабочих от обрушений именно при выемке и креплении ниш непосредственно у забоя. Это происходит вследствие того, что на некотором удалении от угольного забоя смещения пород кровли уже достигли своих критических значений и вследствие установки-извлечения временной крепи в призабойном пространстве происходит отслоение и падение породных отделиностей в рабочее пространство. Небольшая удаленность границы зоны обрушения от кромки пласта указывает на то, что деформационные процессы в слое непосредственной кровли происходят на некотором расстоянии от кромки пласта вглубь массива. Это подтверждается результатами исследований по определению глубин зоны смещений кровли над краевой частью пласта [16, 39-41], зоны отжима угля или зоны разрушенного угля [14, 42-43, 44], зоны опорного давления [45].

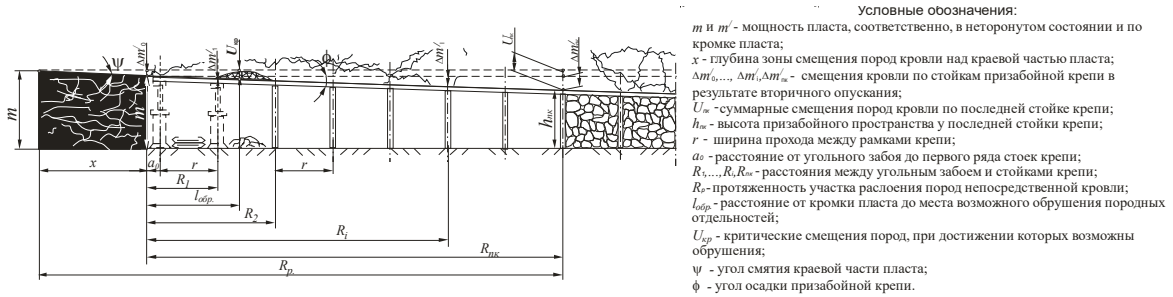
Для прогноза зоны возможного обрушения пород кровли в рабочее пространство концевого участка лавы воспользуемся схемой, представленной на рисунке 2. В результате разрушения угля в краевой части пласта происходит первичное опускание пород кровли до величины  $\Delta m'_o$  по его кромке, вторичное опускание отмечается по ширине призабойной зоны до  $\Delta m'_{нк}$ , вследствие выемки полосы угля и недостаточного отпора стоек крепи для сохранения устойчивости обнажения. Таким образом, суммарные смещения пород кровли на участке от точки, в которой уголь находится в состоянии предельного равновесия, до задней стойки призабойной крепи составляют

$$U_{нк} = \Delta m'_o + \Delta m'_{нк}. \quad (3)$$

На этом участке, в зависимости от ряда влияющих факторов, смещения пород кровли могут достигать величин, превышающих критические значения  $U_{кр}$ , при которых вероятность обрушения будет достаточно высока. Расстояние от кромки пласта до границы зоны возможного обрушения (рис. 2) может быть определено выражением

$$l_{обр.} = \frac{90 - \Delta m'_o}{U} R_{нк}. \quad (4)$$

Тогда, зная параметры крепления концевого участка и смещения пород кровли, можно установить вероятную границу искомой зоны.



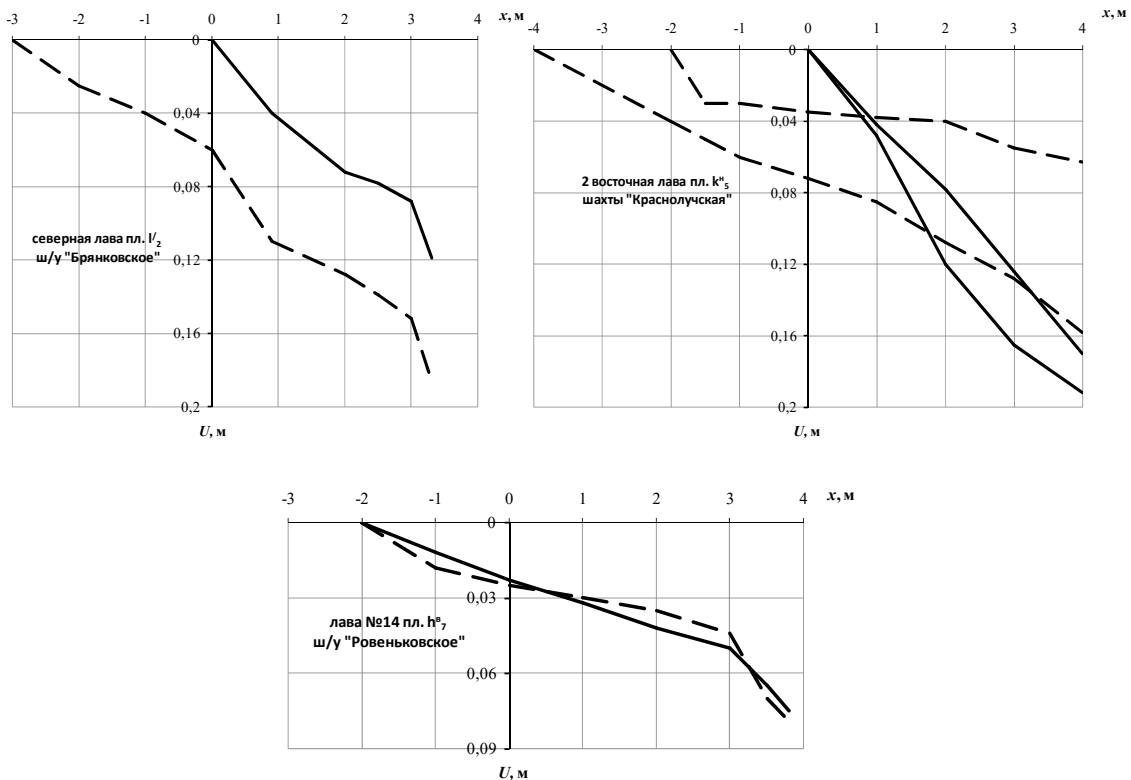
**Рис. 2.** Схема крепления концевого участка лавы для прогноза зоны возможного обрушения пород кровли в призабойное пространство

Смещения пород кровли над краевой частью пласта объясняются тем, что на его кромке уголь находится в условиях одноосного сжатия, а, так как предел прочности угля при одноосном сжатии – величина сравнительно небольшая, краевая часть переходит в хрупко-пластическое состояние и разрушается [14]. Глубину зоны разрушения угля и величину смещений на кромке пласта можно определить, используя результаты шахтных натуральных наблюдений в условиях шахт Луганской области (рис. 3), представленных в работе [16].

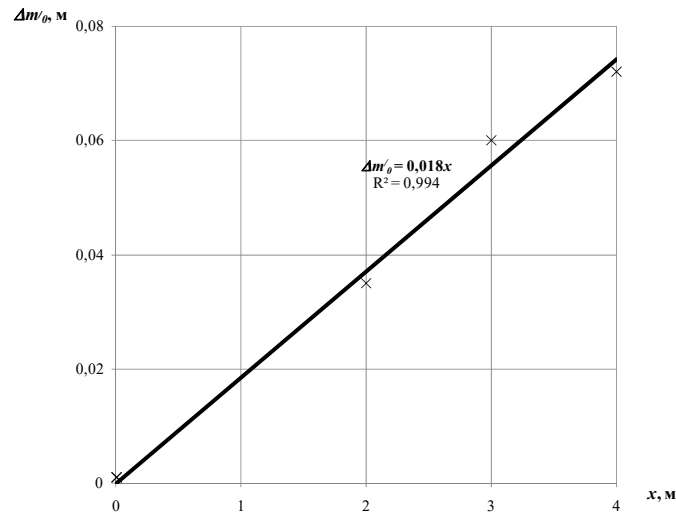
С использованием этих данных, нами была получена зависимость смещений непосредственной кровли на кромке вынимаемого пласта  $\Delta m'_0$  от глубины зоны разрушенного угля  $x$  (рис. 4), которая может быть описана линейной функцией

$$\Delta m'_0 = 0,018x, \tag{5}$$

причем, исходя из данного выражения угол смятия краевой части пласта  $\psi = \arctg(0,018) = 1^\circ$ .



**Рис. 3.** Графики зависимости смещений непосредственных кровель  $U$  на конечных участках лав у транспортных (сплошная линия) и вентиляционных (пунктирная линия) выработок от величины удаления  $x$  от линии очистного забоя [16]



**Рис. 4.** График зависимости смещений непосредственной кровли по кромке вынимаемого пласта  $\Delta m'_0$  от глубины зоны разрушенного угля  $x$

Глубина зоны разрушенного угля  $x$  в выражении (5) может быть определена по формуле [14]

$$x = \frac{m}{2\lambda \operatorname{tg} \rho} \ln \left[ \frac{(q_0 - 2C\sqrt{\lambda}) \operatorname{tg} \rho}{C(2\sqrt{\lambda} \operatorname{tg} \rho + 1)} + 1 \right], \quad (6)$$

где  $m$  – мощность пласта, м;

$\rho$  – угол внутреннего трения угля, град. ( $\operatorname{tg} \rho$  в зависимости от степени метаморфизма угля [14]);

$\lambda$  – коэффициент бокового распора, ед. [14],

$C$  – сцепление угля, кПа [14];

$q_0$  – величина опорного давления, кПа, которая после преобразований будет определяться выражением

$$q_0 = \gamma \left( H + 2,22 f_{cp} \sqrt{H} + 1,4 f_{cp}^2 \right), \quad (7)$$

где  $\gamma$  – объемный вес нависающих пород кровли, кН/м<sup>3</sup>;

$H$  – глубина разработки, м;

$f_{cp}$  – показатель удельной прочности пород, м<sup>1/2</sup> (зависит от предела прочности пород на растяжение, их объемного веса и степени метаморфизма угля [14]).

В результате оседаний пород кровли с удалением от кромки пласта, по ширине призабойного пространства, будет наблюдаться некоторое уменьшение его высоты, причем максимальная высота будет у забоя лавы, а минимальная – в месте возведения охранного сооружения. Таким образом, опускание пород кровли от момента выемки угля до места возведения средства охраны составит  $\Delta m'_{нк}$  (рис. 2). По этой границе на расстояниях от забоя  $R_1, R_2, \dots, R_{нк}$  высота призабойного пространства составит, соответственно  $h_1, h_2, \dots, h_i, h_{нк}$ , то есть уменьшится на величину, соответственно,  $\Delta m'_1, \Delta m'_2, \dots, \Delta m'_i, \Delta m'_{нк}$ . Тогда из [46] с учетом характера опускания пород кровли над охраняемым сооружением

$$\frac{\Delta m'_1}{R_1} = \frac{\Delta m'_2}{R_2} = \dots = \frac{\Delta m'_i}{R_i} = \frac{\Delta m'_{нк}}{R_{нк}} = \operatorname{tg} \beta, \quad (8)$$

где  $\beta$  – угол наклона пород непосредственной кровли при опускании, град.

Высота призабойного пространства на определенном расстоянии от забоя будет определяться выражением [46]

$$h_i = m'(1 - \alpha R_i), \quad (9)$$

где  $m'$  – мощность пласта по кромке забоя, м;

$\alpha$  – размерный коэффициент сближения боковых пород (принимается в соответствии с категорией пород основной кровли по обрушаемости согласно классификации ДонУГИ [14]: при  $A_1$  –  $\alpha=0,04$ ;  $A_2$  –  $\alpha=0,025$ ;  $A_3$  и  $A_4$  –  $\alpha=0,0015$ ;  $A'_4$  –  $\alpha=0,05$ ),  $m^{-1}$ .

Из выражения (9) 
$$h_{нк} = m'(1 - \alpha R_{нк}), \quad (10)$$

а так как 
$$\Delta m'_{нк} = m' - h_{нк},$$

получим 
$$\Delta m'_{нк} = m' \alpha R_{нк}. \quad (11)$$

где  $R_{нк}$  – ширина поддерживаемого при забойного пространства по последней стойке крепи, м. Определяется выражением [14]

$$R_{нк} = a_0 + nr, \quad (12)$$

где  $a_0$  – расстояние от угольного забоя до первого ряда стоек крепи, м;

$n$  – количество проходов в крепи;

$r$  – расстояние между рамками крепи, м (принимается равным ширине захвата применяемого комбайна, но не менее 0,7 м).

Тогда 
$$\Delta m'_{нк} = (m - \Delta m'_0)(a_0 + nr)\alpha. \quad (13)$$

После преобразований из (4), (11), (12) и (13) получим

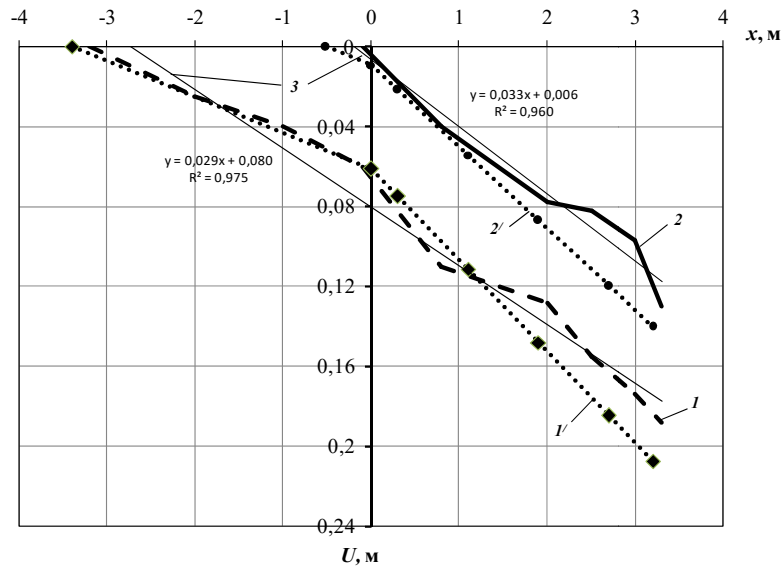
$$l_{обр.} = \frac{(90 - \Delta m'_0)(a_0 + nr)}{\Delta m'_0 + (m - \Delta m'_0)(a_0 + nr)\alpha}, \quad (14)$$

где из (5)-(7) 
$$\Delta m'_0 = 0,009 \frac{m}{\lambda \text{tg} \rho} \ln \left[ \frac{\gamma \text{g} \rho (H + 2,22 f_{cp} \sqrt{H} + 1,4 f_{cp}^2) + 1}{2\sqrt{\lambda} \text{tg} \rho + 1} \right]. \quad (15)$$

Для установления сходимости полученных выражений с реальными данными рассмотрим условия северной лавы пласта  $l_2'$  ш/у «Брянковское», для которых были получены величины смещений пород непосредственной кровли в призабойном пространстве концевой участка лавы и его окрестности (рис. 2), а также определена глубина зоны ее расслоения впереди кромки пласта (рис. 3). Обработка пласта  $l_2'$  антрацитовой группы мощностью 1,0 м и углом падения  $12^0$  осуществлялась лавами по простиранию на глубине 650 м. В непосредственной кровле пласта залегал алевролит мощностью 6,5 м и прочностью на одноосное сжатие 37 МПа, относящийся к категории устойчивости Б<sub>3</sub>, выше которого, в основной кровле, находился труднообрушаемый ( $A_3$ ) слой аргиллита мощностью 9,5 м; в непосредственной почве залегла алевролит мощностью 5,0 м. На концевых участках лавы применялась индивидуальная крепь с шагом установки стоек 0,8 м.

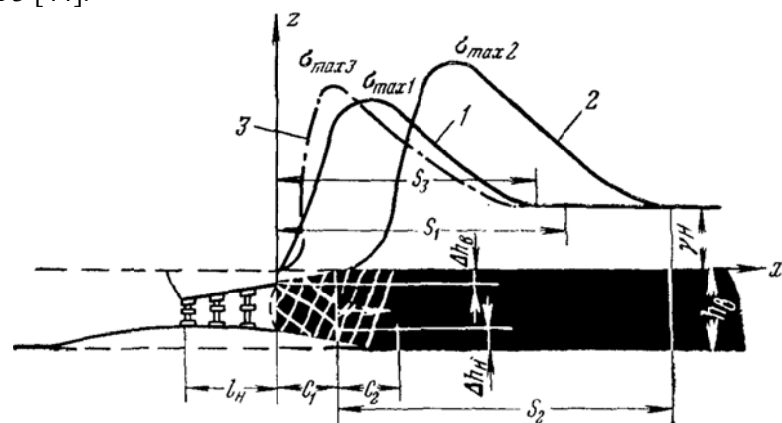
Подстановки фактических данных по северной лаве пласта  $l_2'$  в выражения (13)-(15) позволили определить расчетную глубину зоны разрушения угля  $x$  и смещения пород кровли в пределах этой зоны и призабойном пространстве у вентиляционного штрека, которая составила 3,4 м (рис. 5). Как видим, кривая  $1'$  достаточно хорошо аппроксимируется с кривой 1, которая описывает смещения в призабойной части концевой участка лавы у вентиляционного

штрека. Но для транспортной выработки (кривая 2) формулы, предложенные в данном виде, не могут быть использованы из-за применения различных средств охраны, обеспечивающих различный подпор нависающим породам кровли, от величины которого существенно зависят параметры зоны активных смещений пород кровли (рис. 1).



**Рис. 5.** Графики зависимостей фактических (1 и 2) и расчетных (1', 2') смещений непосредственной кровли  $U$  на конечных участках северной лавы пласта  $l_2^{1/}$  ш/у «Брянковское» от расстояния до кромки пласта, соответственно, у вентиляционного (1, 1') и транспортного (2, 2') штреков (где 3- линии тренда фактических смещений)

Если сравнивать зависимости 1 и 2, то их линии тренда имеют практически одинаковые углы наклона ( $1,6^0$  и  $1,8^0$ ), то есть динамика смещений пород кровли над призабойными пространствами одинаковая. Отличием является то, что у вентиляционного штрека смещения кровли отмечаются за 3,4 м до линии очистного забоя, а у транспортного – за 0,15 м. Это объясняется существенной податливостью охранного сооружения у вентиляционного штрека (двусторонняя бутовая полоса податливостью 60-65%), из-за чего происходит интенсивное раздавливание краевой части пласта на большую глубину. Эпюра опорного давления в этом случае имеет вид кривой 1 (рис. 6), а после образования зоны разрушения – кривой 2. У транспортного штрека происходит уплотнение краевой части, а эпюра опорного давления описывается кривой 3 [44].



**Рис. 6.** Динамика опорного давления впереди лавы при раздавливании краевой зоны по А.А. Борисову [44] (эпюры опорного давления до раздавливания краевой зоны (1), после раздавливания (2), когда раздавливания не происходит (3);  $C_1$  и  $C_2$  – соответственно, зоны разрушения и уплотнения;  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  – длины зон опорного давления).



Динамика опорного давления впереди лавы объясняется изменением фактической ширины призабойного пространства [44], величина которой зависит от физико-механических свойств угля и вмещающих пород, а также параметров крепления концевой части лавы в призабойном пространстве и в зоне охранного сооружения. На рисунке 6 она определяется суммой  $C_l + l_n$ .

У транспортного штрека, из-за большей несущей способности охранной конструкции, фактическая ширина призабойного пространства  $R_p$  будет меньше, чем у вентиляционного, поэтому отмечаются меньшие смещения пород кровли и отсутствие зоны разрушения. В периферийной зоне охранного сооружения, на участке протяженностью  $R_{exp}$  (рис. 7а), породы кровли будут опускаться до полного исчерпания податливости охранной конструкции. Тогда фактическая ширина призабойного пространства будет определяться выражением

$$R_p = x + R_{нк} + R_{exp}, \quad (16)$$

Так как методика ДонУГИ [14], которая изначально была принята в выражениях (6)-(15), предполагает расчет величины  $x$  для условий, когда позади призабойной крепи нижние слои кровли обрушаются в выработанное пространство и не предусматривается выкладка охранных конструкций. Но даже в этом случае позади последней стойки крепи, обрушенные породы в разрыхленном состоянии подбучивают вышележащие слои, потому расчетная кривая  $l'$  (рис. 5) соответствует условиям, при которых нависающим породам кровли со стороны охранного сооружения оказывается наименьший отпор со стороны породной насыпки. Характер и интенсивность осадки пород кровли на участке  $R_{exp}$  будут такими же, как и в призабойной зоне, так как средства крепления, установленные в призабойном пространстве, не извлекаются и охранные конструкции еще не исчерпали свою податливость, то есть из (8)

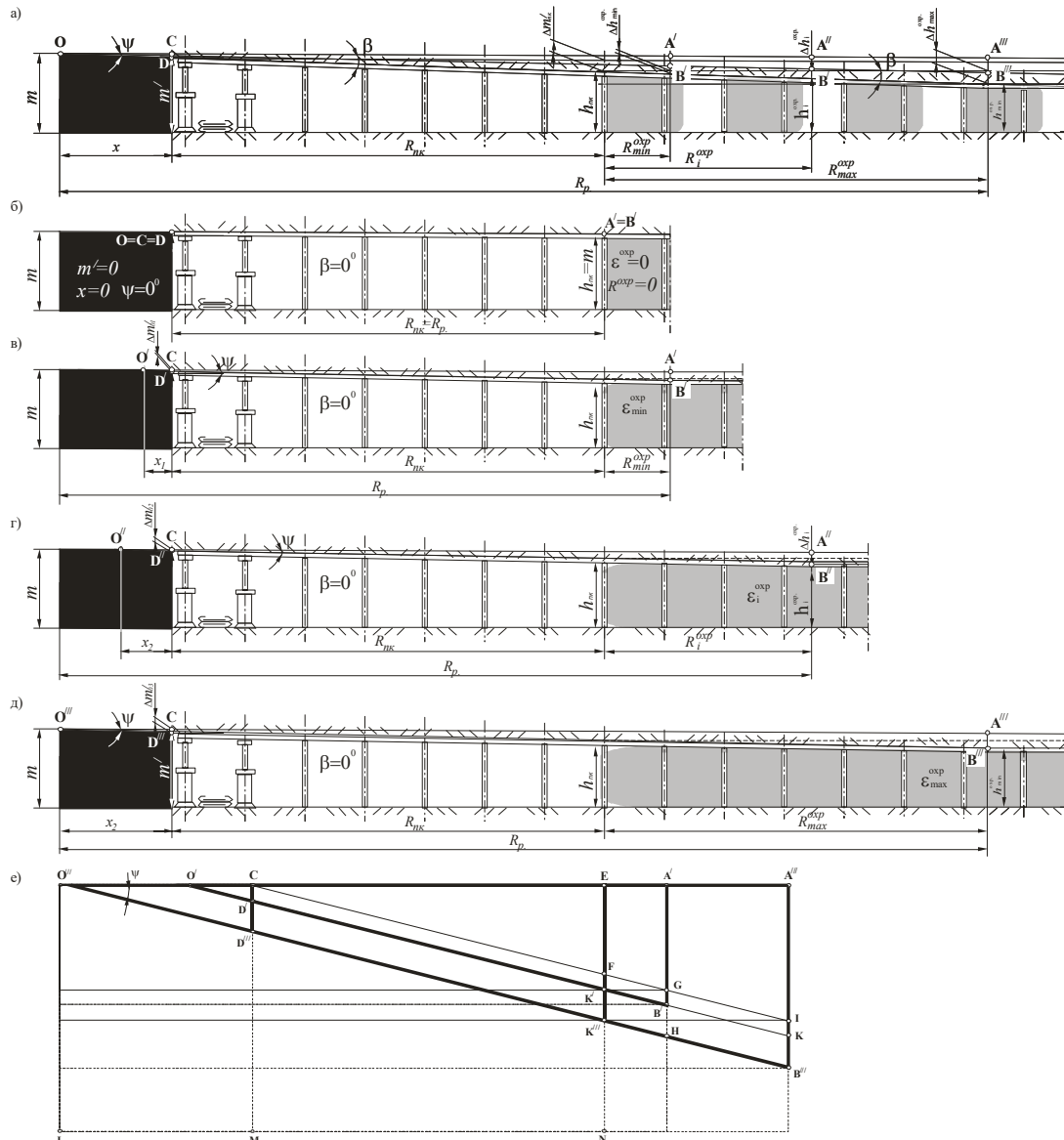
$$\frac{\Delta m'_{нк}}{R_{нк}} = \frac{\Delta h_i^{exp}}{R_i^{exp}} = \frac{\Delta h_{max}^{exp}}{R_{max}^{exp}} = \operatorname{tg} \beta, \quad (17)$$

где  $\Delta h_i^{exp}$  – высота охранной конструкции в месте определения осадки кровли, м;  
 $\Delta h_{max}^{exp}$  – высота охранной конструкции в месте исчерпания податливости, м;  
 $R_i^{exp}$  и  $R_{max}^{exp}$  – соответственно, расстояния от последней стойки призабойного пространства до мест определения осадки кровли и исчерпания податливости, м.

Выражение (17) учитывает параметры только на участках  $R_{нк}$  и  $R_{exp}$ , но не учитывается участок  $x$ . Это обусловлено тем, что смещения пород в этой части происходят вследствие действия опорного давления впереди лавы, а осадка их на участке  $(R_p - x)$  – это результат действия сил от веса нависающих пород над обнаженной поверхностью. Разрушений краевой части пласта может и не быть, в случае небольшого пролета  $R_{нк}$  и обеспечения достаточного подпора породам кровли со стороны охранной конструкции. Тогда фактическая ширина призабойного пространства будет равна  $(R_{нк} + R_{min}^{exp})$  при податливости охранной конструкции  $\varepsilon_{min}^{exp}$ . При увеличении податливости до  $\varepsilon_i^{exp}$  и  $\varepsilon_{max}^{exp}$ , вследствие уменьшения подпора породам кровли, длина пролета будет увеличиваться, соответственно, до величин  $(x_i + R_{нк} + R_i^{exp})$  и  $(x_{max} + R_{нк} + R_{max}^{exp})$ . Если силовые характеристики призабойной крепи будут достаточны для предотвращения расслоения пород ( $\beta = 0^0$ ), опускание кровли ограничится углом смятия краевой части пласта  $\psi = 1^0$ , который зависит от параметров, учтенных в выражении (6) и практически не зависит от параметров крепления и охраны концевой части лавы. Тогда, описанные ранее ситуации по определению длины пролета с учетом податливости охранного сооружения, могут быть представлены графически (рис. 7 б, в, г, д, е).

При абсолютной жесткости охранной конструкции и небольшом пролете призабойного пространства прогиба пород кровли не будет, следовательно, смещений в пределах фактической ширины призабойного пространства не будет (рис. 7б). С увеличением податливости происходит увеличение пролета кровли. Также увеличивается концентрация напряжений на кромке пласта и прогиб кровли. Чем больше будет податливость охранного сооружения, тем больше

будут: пролет кровли, смещения в призабойном пространстве и на кромке пласта, а также глубина зоны разрушения угля (рис. 7 в, г, д).



**Рис. 7.** Расчетные схемы по определению фактической ширины призабойного пространства при расслоении пород кровли вследствие недостаточной несущей способности призабойной крепи (а) и без расслоения пород при различной податливости охранной конструкции (б, в, г, д, е)

При увеличении податливости средств охраны угол  $\psi$ , если изменяется, то незначительно, поэтому его можно считать величиной постоянной. Так как углы в вершинах треугольников  $O'CD'$ ,  $O'''CD'''$ ,  $O'EK'$ ,  $O'''E'''K'''$ ,  $K'GB'$  и  $K'''IB'''$  равны (рис 7е), то эти треугольники подобны. Поэтому

$$\frac{CD'}{CD'''} = \frac{O'C}{O'''C},$$

а так как  $O'C = K'G = x_1$ ;  $O'''C = K'''I = x_3$ ;  $CD' = GB' = \Delta m'_{01}$ ;  $CD''' = IB''' = \Delta m'_{03}$ ;

$K'N = h_{нк3}$ ;  $K''N = h_{нк1}$ ;  $GB' = \varepsilon_{охр1} h_{нк1}$ ;  $IB'' = \varepsilon_{охр3} h_{нк3}$ , получим

$$\frac{\Delta m'_{03}}{\Delta m'_{01}} = \frac{x_3}{x_1} = \frac{\varepsilon_{охр3} h_{нк3}}{\varepsilon_{охр1} h_{нк1}},$$

где  $h_{нк3} = m - \Delta m'_{03} - R_{нк} \operatorname{tg} \psi$ , а  $h_{нк1} = m - \Delta m'_{01} - R_{нк} \operatorname{tg} \psi$ .

Тогда

$$\frac{\Delta m'_{03}}{\Delta m'_{01}} = \frac{\varepsilon_{охр3} (m - \Delta m'_{03} - R_{нк} \operatorname{tg} \psi)}{\varepsilon_{охр1} (m - \Delta m'_{01} - R_{нк} \operatorname{tg} \psi)},$$

а после преобразований

$$\Delta m'_{01} = \frac{\Delta m'_{03} \varepsilon_{охр1} (m - R_{нк} \operatorname{tg} \psi)}{\varepsilon_{охр3} (m - R_{нк} \operatorname{tg} \psi) - \Delta m'_{03} (\varepsilon_{охр3} - \varepsilon_{охр1})}. \quad (18)$$

Из выражения (18) хорошая сходимость кривых 1 и 1' (рис. 5) будет при податливости охранного сооружения  $\varepsilon_{охр \max}^{охр} = 0,7$ . А, так как вентиляционный штрек северной лавы пласта  $l_2'$  охранялся двусторонней боковой полосой, податливость которой может достигать 65% [47-49], то это выражение можно считать справедливым и для дальнейших расчетов представим его, как

$$\Delta m'_{01} = \left[ \frac{0,7}{\Delta m'_{03} \varepsilon_{охр1}} - \frac{(0,7 - \varepsilon_{охр1})}{\varepsilon_{охр1} (m - R_{нк} \operatorname{tg} \psi)} \right]^{-1}. \quad (19)$$

Зная, что  $\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} 1^\circ = 0,018$ , из (6)-(20) следует:

$$\Delta m'_0 = \frac{\varepsilon_{охр1}}{\ln^{-1} \left[ \frac{\frac{\gamma g \rho}{C} (H + 2,22 f_{cp} \sqrt{H} + 1,4 f_{cp}^2) + 1}{2\sqrt{\lambda} \operatorname{tg} \rho + 1} \right]^{\frac{m}{77,8 \lambda \operatorname{tg} \rho}} - \frac{(0,7 - \varepsilon_{охр1})}{(m - 0,018 a_0 - 0,018 nr)}}, \quad (20)$$

$$x = \frac{\varepsilon_{охр1}}{\ln^{-1} \left[ \frac{\frac{\gamma g \rho}{C} (H + 2,22 f_{cp} \sqrt{H} + 1,4 f_{cp}^2) + 1}{2\sqrt{\lambda} \operatorname{tg} \rho + 1} \right]^{\frac{m}{1,4 \lambda \operatorname{tg} \rho}} - \frac{0,018 (0,7 - \varepsilon_{охр1})}{(m - 0,018 a_0 - 0,018 nr)}}. \quad (21)$$

Смещения  $\Delta m'_{нк}$  по ширине зоны установки призабойной крепи могут быть определены из выражения (13). Поэтому смещения в пределах фактической ширины призабойного пространства будут определяться выражением

$$U = \Delta m'_0 + (m - \Delta m'_0)(a_0 + nr) \alpha. \quad (22)$$

Подстановка исходных данных в выражения (20)-(22) позволила установить расчетные смещения пород кровли у транспортного и вентиляционного штреков северной лавы пласта  $l_2'$  ш/у «Брянковское», которые показаны кривыми 1' и 2' (рис. 5). Эти кривые достаточно хорошо описывают фактические зависимости. Это указывает на то, что предложенные выражения (20)-(22) могут быть использованы для прогноза зон возможных обрушений пород кровли в призабойное пространство. Расстояние от кромки пласта до границы зоны возможного обрушения  $l_{орб}$  рассчитывается по формуле (14), в которой  $\Delta m'_0$  определяется выражением (20).

**Выводы.** Таким образом, на этапе проектирования паспортов крепления и управления кровлей для конкретных горно-геологических условий залегания пласта, с использованием результатов настоящей работы можно установить границы зоны возможного обрушения пород непосредственной кровли в призабойное пространство концевых участков лавы. На основании прогнозных данных целесообразна разработка мероприятий по недопущению обрушений пород в рабочее пространство (предварительное упрочнение пород непосредственной кровли или увеличение плотности ее затяжки, применение средств охраны с ограниченной податливостью и др.). Поэтому результаты проведенных исследований могут быть основой для разработки технологических схем ведения очистных работ, применение которых позволит уменьшить уровень травматизма при выполнении операций в рамках производственного процесса «Выемка угля в очистном забое».

#### Библиографический список

1. Кашуба, О.И. Анализ причин травматизма на шахтах Украины / О.И. Кашуба, Н.Б. Левкин, Е.А. Спиридонов, М.С. Ковчужный // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». – 2008. – №17. – С. 172- 177. – Режим доступу до журн.: [mining.kpi.ua/17\\_Kashuba.pdf](http://mining.kpi.ua/17_Kashuba.pdf).
2. Швагер Н.Ю. Визначення небезпек та оцінка ризиків травмування персоналу внаслідок обвалення порід / Н.Ю. Швагер, Т.А. Комісаренко, А.О. Комісаренко, І.Н. Ковтун // Проблеми охорони праці в Україні.– К.: ННДПБОП, 2012. – Вип. 22.– С. 32-37.
3. Радченко В.В. Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах. Радченко В.В., Медведев Э.Н., Кузьменко Н.С., Кудинов Ю.В., Кашуба О.И., Крутенко С.А. – Киев, 2010. – 372с.
4. Кузьменко Н.С. Промышленная безопасность по предотвращению травматизма на угольных шахтах Украины / Н.С. Кузьменко // Збірник наукових праць: Комунальне господарство міст. Серія "Технічні науки та архітектури". – 2010. – №91.– С. 19-26.
5. Николин В.И. Травматизм при обрушении как следствие расслоения пород во времени / В.И.Николин, С.В.Подкопаев, В.П. Шенец, В.И.Мордасов, О.И.Иванов // Уголь Украины. - 2001. - № 7. - С. 37-40.
6. Федченко Ю.А. Влияние природного, технологического и человеческого факторов на безопасность высокопроизводительных очистных забоев / Ю.А. Федченко // Уголь. – 2006.– № 7.– С. 26-28.
7. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1989, 270с.
8. Заславский Ю.З. Новые виды крепи горных выработок / Ю.З. Заславский, Е.Б. Дружко. – М.: Недра, 1989, 256 с.
9. Полухин В.А. Управление напряженным состоянием породного массива и устойчивостью горных выработок / В.А. Полухин, С.А. Калосеров, Ю.Б. Грядущий, Е.С. Горянская. – донецк: Юго-Восток, 2002.– 304с.
10. Кошелев К.В. Охрана и ремонт горных выработок / К.В. Кошелев, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков. – М.: Недра, 1990.– 218с.
11. Технология, механизация и организация проведения горных выработок / Б.В. Бокий, Е.А. Зимина, В.В. Смирняков, О.В. Тимофеев. Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1983.– 264с.
12. Якоби О. Практика управления горным давлением. М.: Недра, 1987. – 566с. -100
13. СОУ-П 10.1.00185790.013:2009. Кінцеві ділянки та сполучення лав з підготовчими виробками. Технологічні схеми. ДонВУГІ, Донецьк, 2010.– 55с.
14. КД 12.01.01.503-2001. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 350. Руководство, Киев, 2002.– 141с.
15. Игнатов Е.В. Совершенствование способов охраны и охраняющих устройств подготовительных выработок при бесцеликовых технологиях / Е.В. Игнатов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2009. №8.– С. 378-383.
16. Борзых, А.Ф. Разработка способов охраны подготовительных выработок при отработке пологих угольных пластов восточного региона Украинского Донбасса / Дис... докт. техн. наук: 05.15.02 / А.Ф. Борзых; Донецкий гос. технич. ун-т. - Донецк, 1998. – 367с.

17. Негрей, С.Г. Поддержание выемочных выработок для обеспечения их эксплуатационного и безаварийного состояния / С.Г. Негрей, Т.А. Негрей, Д.Н. Курдюмов // Вісті Донецького гірничого інституту. Донецьк, 2013, №1(32), С. 218-225.
18. Кошелев, К.В. Вывалообразования в горных выработках шахт Донбасса / К.В. Кошелев, И.И. Бурма, Д.А. Герасимчук, О.К. Кошелев – К., Техніка, 1994.– 135с.
19. Грядущий, Ю.Б. Геомеханические основы управления вывалоопасными кровлями в очистных забоях / Ю.Б. Грядущий. - К.: Техніка, 1998. - 100с.
20. Ляшок, Я.А. Разработка способа предотвращения вывалов пород кровли в лавах пологих пластов при выемке угля механизированными комплексами / Дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / Я.А. Ляшок; Донецкий ГТУ. - Донецк, 2000. – 142с.
21. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов и др. – М.: Недра, 1987. - 248 с.
22. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488с.
23. Требования по технике и методике моделирования методом эквивалентных материалов: Утв. Техн. упр. МУП СССР 27.12.72. / М-во угольной промышленности СССР, ВНИМИ. – Л., 1973. – 56 с.
24. Моделирование проявлений горного давления / Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Васильев Ю.И., Шклярский М.Ф., Юревич Г.Г. – Л.: Недра, 1968. – 280 с.
25. Методические указания по исследованию проявлений горного давления на моделях из эквивалентных материалов / М-во угольной промышленности СССР. ВНИМИ. - Л., 1976. - 85 с.
26. Глушихин Ф.П., Злотников М.С. Эквивалентные материалы для моделирования горного давления / ЦНИЭИуголь. - М., 1978. – 34 с.
27. Борисов А.А. Расчет горного давления в лавах пологих пластов.- М.: Недра, 1964.- 278 с.
28. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах / ВНИМИ. – Л., 1973. – 102 с.
29. Farmer, I.W. Coal Mine Structures / I.W. Farmer/ Chapman and Hall.– London-New York.– 1984. – 310p.
30. Шашенко, А.Н. Компьютерное моделирование геомеханических процессов / А.Н. Шашенко, С.Н. Гапеев, А.В. Солодянкин, А.К. Гавриш, Р.Н. Терещук, Н.В. Хозяйкина, А.Н. Пашко, В.В. Янко // Вісті Донецького гірничого інституту.– 2008.– №1. – С. 179-190.
31. Грядущий, Б.А. Факторы повышения интенсивности отработки запасов глубоких шахт / Б.А. Грядущий, Г.Г. Сугаренко, Н.А. Алиев, Ю.В. Сальников// Уголь Украины. – 2004. – №2. – С. 10-13.
32. Смирнов, А.В. Факторы, влияющие на безопасную и высокопроизводительную работу очистных забоев / А.В. Смирнов, А.В. Ремезов // Вестник КузГТУ. – 2005. – №4. – С. 36-40.
33. Кружилко О.Є. Управління ризиком травматизму на виробничих підприємствах / Кружилко О.Є., Майстренко В.В., Ткачук К.Н., Полукаров О.І. // Зб. наук. праць «Проблеми охорони праці в Україні». – К.: ДУ „ННДПБОП”. – 2013. – Вип. 26. – С.3-8.
34. Способ управления кровлей в лавах с неустойчивыми породами кровли. Зубов В.П., Васильев С.В., Черняков Д.А. Пат. № 2162150, МПК7 E21C41/18, опубл. 20.01.2001; 19.05.1999, бюл. № 2– 6с.
35. Способ управления кровлей в очистном забое с механизированной крепью. Зубов В.П. Пат. № 945461, МПК7 E21D23/00, опубл. 23.07.1982; 21.07.1980, бюл. № 27– 2с.
36. Баранов, С.Г. Геомеханические основы управления кровлей в лавах с механизированными крепями на пологих пластах // Автореф. дис. д.т.н. 05.15.11, 05.15.02 – С.-Петербург, 1997, 47 с.
37. Зубов В.П. и др. Методические рекомендации по предотвращению вывалов пород из кровли в лавах, отработываемых на больших глубинах в условиях шахт Восточного района Донбасса. – г.Шахты. – Издательский центр. – 1986г. - 57 с.
38. Белогуб, О.Ю. Разработка критерия вывалообразования пород кровли очистных забоев/ О.Ю. Белогуб, Г.И. Соловьев, Л.Л. Бачурин, А.И. Сергиенко, М.В. Федоренко, С.В. Козырь //Геотехнічна механіка. - 2013. - Вип. 110. - С. 37-46.
39. Молев, М.Д. Определение смещений кровли в области опорного давления и отжима пласта в очистном забое / М.Д. Молев, В.А. Матвеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).– 2003.– №2. – С. 19-22.
40. Турук, Ю.В. Методы определения силовых и конструктивных параметров механизированных крепей струговых комплексов / Дис... канд. техн. наук: 05.05.06 / Ю.В. Турук; ЮРГПУ (НПИ). - Новочеркасск, 2014. – 250с.
41. Матвеев, В.А. Концептуальный подход к решению задачи прогнозирования проявлений горного давления в очистном забое / В.А. Матвеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2002.– №4. – С. 126-130.
42. Мамлеев, Ш.В. Геофильтрационное обоснование параметров разведочных скважин для определения показателей массопереноса метана в призабойной зоне угольных пластов / Ш.В. Мамлеев, Д.В. Мельников, С.Е. Дегтярь // Вісті Донецького гірничого інституту).– 2014.– №1(34)-2(35). – С. 84-91.
43. Молодецкий, А.В. Оценка напряженно-деформированного состояния призабойной части угольного пласта методом численного моделирования / А.В. Молодецкий, А.В. Петренко // Вісті Донецького гірничого інституту).– 2014.– №1(34)-2(35). – С. 204-210.
44. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов. - М.: Недра, 1980. - 360 с.
45. Матвеев, В.А. Напряженно-деформированное состояние пород кровли и пласта в зоне опорного давления движущегося очистного забоя / В.А. Матвеев, А.В. Матвеев, В.А. Мосяков, В.М. Феоктистов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).– 2001.– №8. – С. 91-97.

46. Виробничі процеси в очисних вибоях вугільних шахт: Навчальний посібник для ВНЗ / І.Ф.Ярембаш, В.Д.Мороз, І.Г.Ворхлік, І.С.Костюк. — 2-е вид., перероб. і допов. — Донецьк: ДонНТУ, 2007. — 288с.
47. Негрей, С.Г. О возможности увеличения несущей способности бутовых полос / С.Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. Донецьк, 2011, №1, С. 179-184.
48. Канин, В.А. Физико-технические основы охраны выемочных выработок в условиях неустойчивых пород / Дисс... докт. техн. наук: 05.15.02 / В.А. Канин – Донецк: УкрНДМИ НАН України, 2010.– 364с.
49. Казанин, О.И. Использование охранных сооружений для поддержания выемочных выработок на угольных шахтах / О.И. Казанин, Ю.Н. Долоткин, И.В. Скрыльников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).– 2011.– №1. – С. 34-39.

Надійшла до редакції 05.04.2017

**С.Г. Негрій, І.Г. Сахно, Т.О. Негрій**

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, м. Покровськ

**В.О. Коломієць**

ДП "Шахтоуправління "Південодонбаське №1" м. Вугледар, Україна

#### ВСТАНОВЛЕННЯ ЗОН АКТИВНИХ ОБВАЛЕНЬ ПОРІД БЕЗПОСЕРЕДНЬОЇ ПОКРІВЛІ НА КІНЦЕВИХ ДІЛЯНКАХ ЛАВ

Розглянуто причини травмування гірників при обвалах і обваленнях порід безпосередньої покрівлі при виконанні операцій в рамках виробничого процесу «Виймання вугілля в очисному вибої». Запропоновано методику прогнозу зон активних обвалень порід на кінцевих ділянках лав для профілактики травмування робітників у цих зонах. На підставі результатів вимірів зсувів порід безпосередньої покрівлі над кінцевими ділянками лав і визначення глибини руйнування крайової частини пласта встановлена залежність зміщень порід покрівлі по кромці пласту від основних факторів, що впливають. Подальший розвиток отриманих результатів, а також врахування параметрів кріплення кінцевих ділянок лав дозволили визначити фактичну ширину привибійного простору. Отримані вирази щодо визначення глибини руйнування крайової частини пласта і зсувів покрівлі на кінцевій ділянці лави, а також межі зони можливого обвалення порід його привибійної частини.

**Ключові слова:** травматизм, вивалоутворення, зміщення покрівлі, зона руйнування, привибійний простір, засіб охорони, зона обвалення.

**S. Nehrii, I. Sakhno, T. Nehrii**

State higher educational establishment "Donetsk national technical university", Ukraine, Pokrovsk

**V. Kolomiets**

State enterprise mine management "Shahtoupravlynnia" Yuzhnodonbasskoye № 1", Ugedar, Ukraine

#### DETERMINATION OF ACTIVE CAVING ZONES OF AT THE ENDS OF THE LONG WALLS

Here are analyzed the causes of injury of miners in the sloughing and rock-falls when operations in the production process are performed. The method of forecasting for active caving zones at the ends of the longwalls was proposed in order to prevent injury of workers in these areas. Taking into account the results of measurements of roof displacements and calculations of the depth of destruction of the edge part of the formation was established the dependence of the roof rock displacements along the edge of the extractable layer on main affecting factors. Further development of the obtained results and consideration of the parameters of the fastening of the support at the ends of the longwalls made it possible to determine the actual width of the bottomhole space. Expressions for determining the depth of destruction of the marginal part of the seam and the roof displacements at the ends of the longwalls were obtained, and the boundaries of the zone of possible fall of the rocks in the face can be established.

**Key words:** traumatism, rock dislocation, roof dislocation, zone of destruction, space near the face, way to protect, caving zone.