

Обоснование рационального месторасположения надрабатываемых выработок на шахтах Западного Донбасса

Обоснована актуальность исследований по определению рационального месторасположения надрабатываемых выработок. Разработана геомеханическая модель на основе существующего дренажного вентиляционного штрека шахтного поля шахты «Самарская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и проведена серия вычислительных экспериментов. По многопараметрическому анализу установлена минимально допустимая глубина заложения подготовительной выработки в условиях периодической надработки с учетом исследования НДС породного массива и крепежной системы выработки.

Ключевые слова: надрабатываемые выработки, вычислительный эксперимент, глубина заложения.

Контактная информация: vadymsovtskov@gmail.com

На угольных шахтах Западного Донбасса актуальна проблема выбора рациональных параметров проведения и системы крепления надрабатываемых выработок. Анализ существующих подходов к проведению выработки в условиях надработки показал, что не регламентирован выбор ее местоположения в массиве относительно вышележащего угольного пласта. Решения о месте ее проведения принимаются ситуативно на основании предложений инженерно-технических работников предприятия. Как следствие возникают непредвиденные аварийные ситуации, связанные с несоответствием системы крепления требуемым параметрам для поддержания устойчивости выработки в течение всего срока эксплуатации [1].

Для обоснования параметров системы разработки с использованием надрабатываемых выработок выполнены исследования [2], главная цель которых – определение рациональной глубины расположения выработки относительно угольного пласта. Было проведено шесть вычислительных экспериментов с разной глубиной расположения выработок (6, 8, 10, 12, 14, 16 м) на базе метода конечных элементов. За основу принята использовавшаяся ранее модель [3], полностью соответствующая условиям и системе крепления дренажного вентиляционного штрека шахтного поля шахты «Самарская» [4]. Модель спроектирована таким образом, что очистной забой находится непосредственно над выработкой. Это позволяет оценить влияние зоны опорного давления впереди забоя на выработки при разной глубине их заложения.

Для детального анализа напряженно-деформированного состояния породного массива при надработке подготовительной выработки использовали эпюры интенсивности напряжений σ шести этапов расчета с увеличением расстояния от подошвы угольного пласта до центра контура выработки по вертикали h (рис. 1). В ходе ведения очистных работ образуется зона опорного давления впереди лавы, которая соединяется с зоной опорного давления в боку выработки в связи с расположением штрека в непо-



А. В. ВИВЧАРЕНКО,
канд. техн. наук
(Минэнергоуголь Украины)



В. А. СОЦКОВ,
аспирант
(Национальный горный университет)

средственной близости от угольного пласта.

В зависимости от изменения расстояния от выработки до угольного пласта изменяются размеры области напряжений и их концентрация. Так, на рис. 1, а представлена эпюра при глубине заложения выработки 6 м – наименьшая в серии экспериментов. Напряжения достигают 15–18 МПа и распространяются на 10 м по высоте и до 2 м по ширине выработки. При удалении от этой области напряжения постепенно снижаются до равновесного состояния массива.

Закономерно, что с каждым последующим этапом эксперимента снижается взаимовлияние зон опорного давления впереди лавы и в боках выработки, что способствует уменьшению напряжений в боках

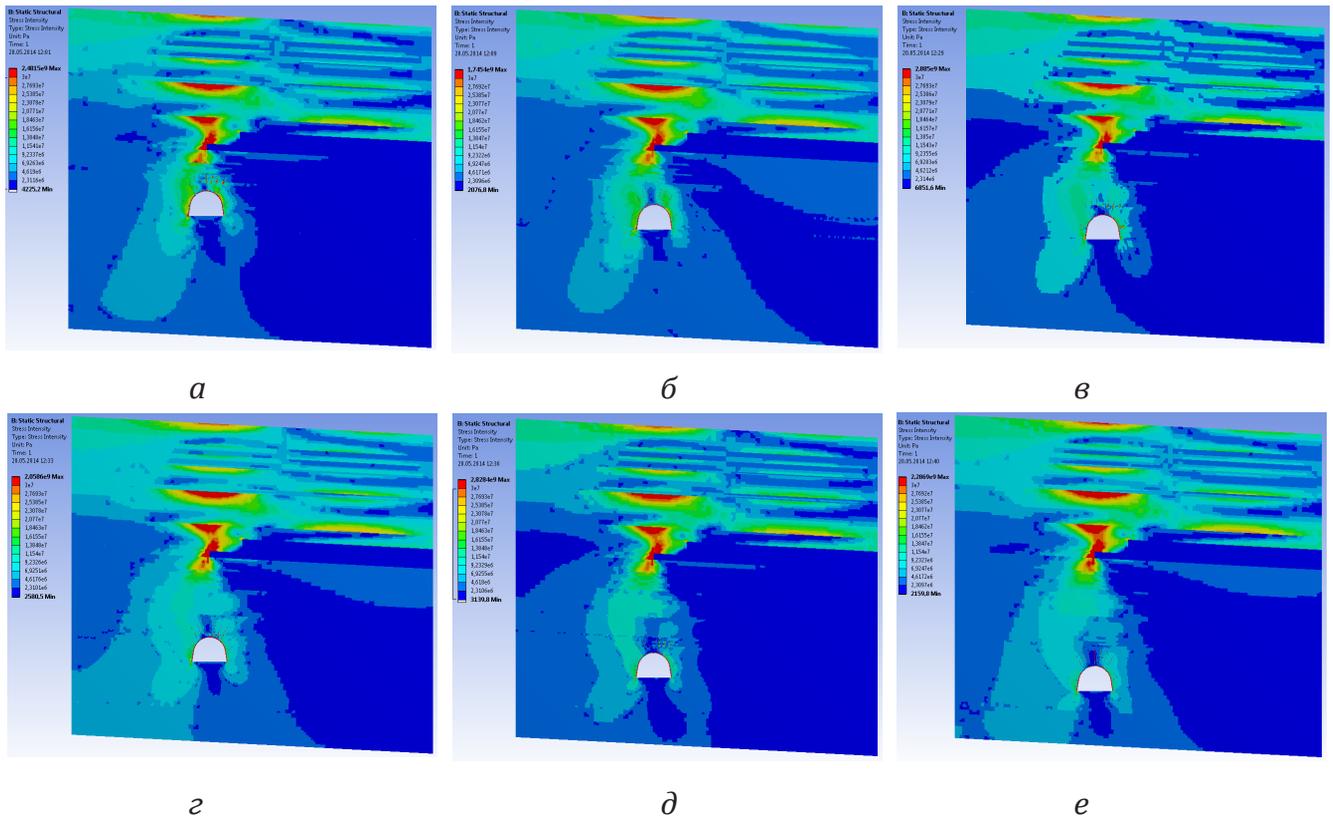


Рис. 1. Эпюры интенсивности напряжений σ породного массива при разной глубине проведения выработки относительно угольного пласта, м: а – 6; б – 8; в – 10; г – 12; д – 14; е – 16.

выработки, а также в породных слоях, находящихся между двумя областями.

При глубине заложения лавы 8 м (рис. 1, б) от забоя до выработки снижаются напряжения в слоях между выработкой и угольным пластом до 10–12 МПа. Такая концентрация напряжений допустима в слабых породах Западного Донбасса и не вызывает разрушение пород-

ного массива. С увеличением глубины заложения (рис. 1, в, г, д, е) концентрации напряжений между угольным пластом и выработкой продолжают снижаться. С удалением от очистного забоя зоны опорного давления вокруг выработки стремятся к уравниванию напряженно-деформированного состояния (НДС) массива по бокам.

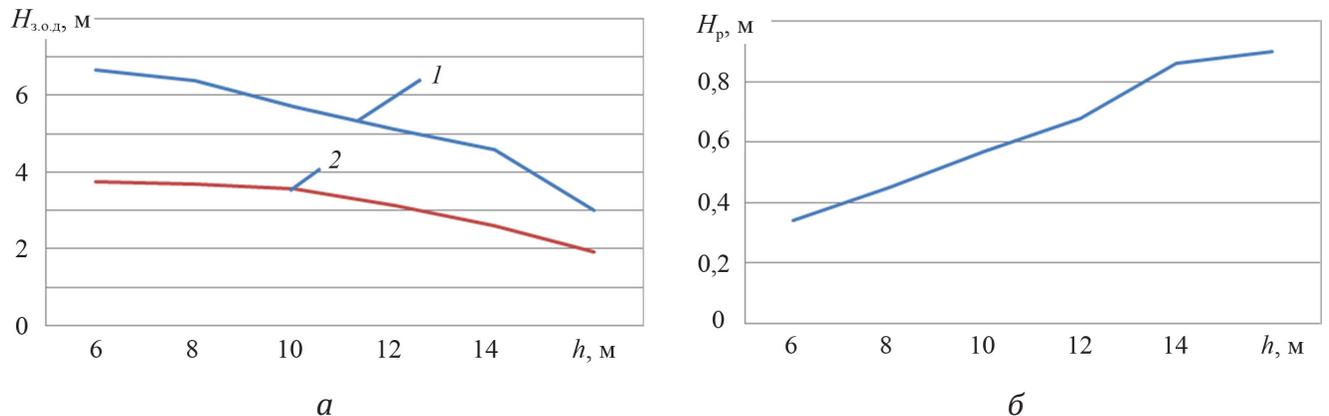


Рис. 2. Зависимость размеров зоны опорного давления в боках выработки $H_{з.о.д.}$ (а) и зоны разгрузки в кровле выработки H_p (б) от глубины ее расположения h относительно угольного пласта: 1 и 2 – левый и правый бока выработки.

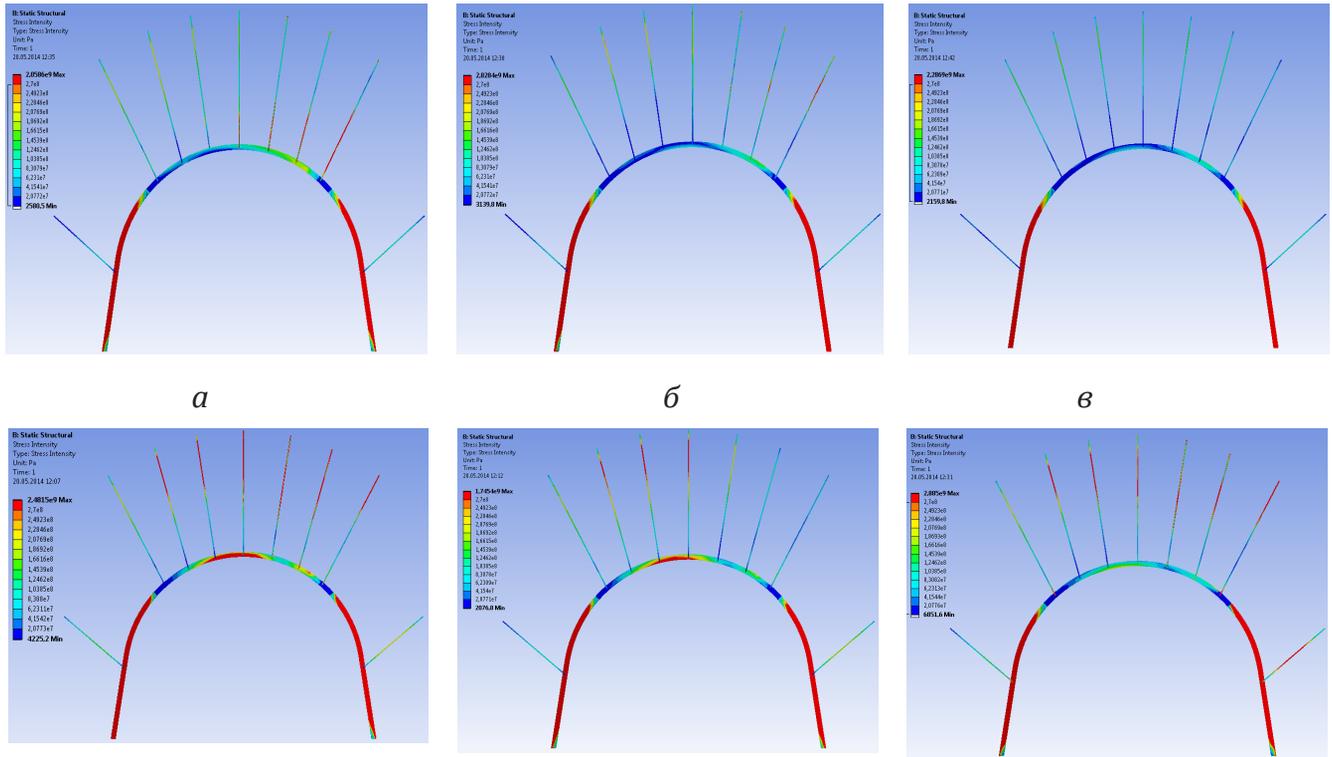


Рис. 3. Эпюры интенсивности напряжений σ рамного и анкерного крепления при разной глубине проведения выработки относительно угольного пласта: *a* – 6 м; *б* – 8 м; *в* – 10 м; *г* – 12 м; *д* – 14 м; *е* – 16 м.

Однако расположение выработки относительно угольного пласта влияет на распределение напряжений в приконтурном массиве. Это выражается в изменении размеров области и концентрации напряжений в зонах опорного давления в боках выработки. На рис. 2, *a* приведены кривые изменения данных зон для разных этапов эксперимента. Зоной опорного давления считается

область, которая соответствует концентрации сжимающих напряжений, равных 20 МПа и выше. Такое значение выбрано с учетом свойств горных пород, характерных для шахт Западного Донбасса.

Анализ зон опорного давления показывает, что с увеличением глубины проведения выработки уменьшаются их размеры. Это вполне закономерный процесс с уче-

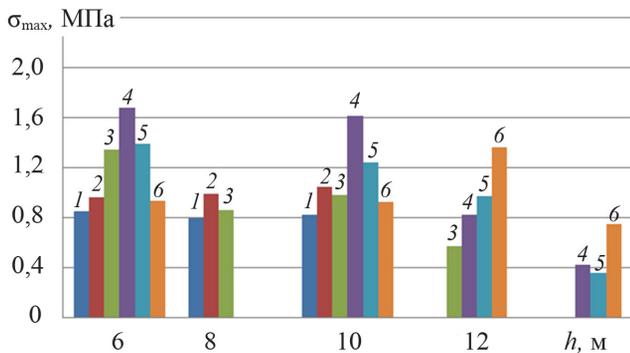


Рис. 4. Гистограмма влияния изменения h на размеры области σ_{\max} в анкерах: 1 – анкер № 3; 2 – анкер № 4; 3 – анкер № 5; 4 – анкер № 6; 5 – анкер № 7; 6 – анкер № 8.

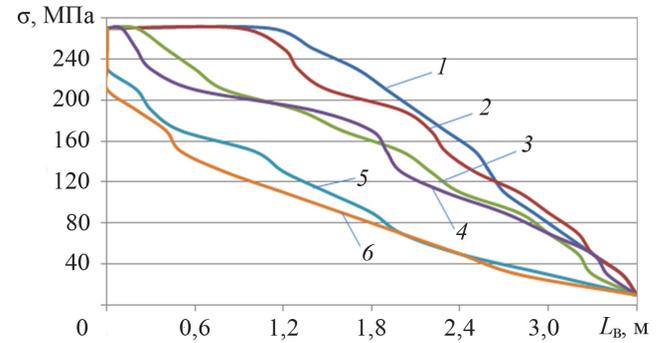


Рис. 5. Концентрация напряжений σ в верхняке рамы при изменении h : 1 – 6 м; 2 – 8 м; 3 – 10 м; 4 – 12 м; 5 – 14 м; 6 – 16 м; L_b – длина верхняка, м.

том снижения влияния зоны опорного давления впереди забоя. При этом главная особенность – неравномерность процесса, который в левом и правом боку выработки происходит с разной интенсивностью.

Изначально размеры зоны опорного давления $H_{з.о.д}$ в правом боку выработки составили 6,67 м по высоте, что на 2,92 м (43,78 %) больше, чем слева (3,75 м). Уменьшение размеров зон происходит неравномерно. Если на втором этапе расчета по сравнению с первым уменьшение области в правом боку составляло 1,33 % (3,7 м), а в левом 4,05 % (6,4 м), то на третьем и последующих этапах динамика значительно изменилась в сторону увеличения.

Так, уменьшение области опорного давления в левом боку выработки на третьем этапе составило 11,1 % по сравнению со вторым; на четвертом 10,2 % – по сравнению с третьим; на пятом 9,98 % – по сравнению с четвертым, а на шестом 34,35 % – по сравнению с пятым этапом. В то же время в правом боку выработки ситуация отличается. На третьем этапе размеры области уменьшились на 4,05 % по сравнению со вторым; на четвертом на 12,11 % – с третьим; на пятом на 16,99 % – с четвертым; на шестом на 25,87 % – с пятым.

В результате размер области уменьшается в правом боку, начиная с четвертого этапа ($h = 12$ м), а в левом боку, – начиная с третьего этапа ($h = 10$ м). При этом наиболее резкий скачок изменения размеров области опорного давления в левом и правом боках выработки происходит при переходе с пятого на шестой этап (на 34,35 и 25,87 % соответственно). В целом, по сравнению с первым этапом, в левом боку выработки зона опорного давления уменьшилась на 3,65 м (54,72 %), а в правом боку – на 1,83 м (48,8 %), после чего разница между левым и правым боками составила 1,1 м (36,42 %).

Рассмотрим изменение размеров зоны разгрузки в кровле выработки H_p – также важного показателя изменения напряженно-деформированного состояния массива. На рис. 2, б показана динамика изменения высоты данной зоны при разном месторасположении выработки.

На первом этапе эксперимента (глубина 6 м) зафиксирована наименьшая высота распространения растягивающих напряжений – 0,34 м. Это связано с непосредственной близостью зон опорного давления, которые влияют на кровлю и бока выработки. Далее наблюдается почти линейная зависимость повышения высоты зоны разгрузки от глубины расположения выработки до глубины 14 м. Высота зоны разгрузки на каждом из первых четырех этапов увеличивалась на 0,11–0,12 м по сравнению с предыдущим. Наиболее значительный рост произошел при переходе на глубину 14 м, где высота зоны составила 0,86 м по сравнению с 0,68 м на преды-

дущем этапе, что на треть больше ранее зафиксированной динамики. При переходе на глубину 16 м увеличивается высота зоны всего на 0,4 м, что свидетельствует о затухании интенсивного распределения растягивающих напряжений и достижении зоны разгрузки в кровле выработки своих естественных размеров.

В ходе эксперимента установлено увеличение зоны разгрузки в кровле выработки с 0,34 м на первом этапе расчета до 0,9 м на последнем. В результате данная зона стала больше на 0,56 м (62,22 %).

Наиболее важный критерий оценки влияния очистных работ на надрабатываемую выработку при разной глубине расположения – состояние системы крепления. В исследуемом дренажном штреке применяется модель крепления из комбинации рамной и анкерной крепей, которую устанавливают с постоянным шагом 1 м. Эта модель полностью соответствует паспорту крепления выработки. На рис. 3 представлены эпюры интенсивности напряжений σ рамного и анкерного крепления при разной глубине проведения выработки. В связи с тем что в данной конфигурации отсутствует прямое взаимодействие между элементами анкерного и рамного крепления, рассмотрим каждый из типов крепления отдельно.

Исследуя влияние очистных работ на НДС анкерного крепления, учитывали размеры области максимально допустимых напряжений, достигающих предела текучести используемой стали $\sigma_{max} = 270$ МПа по каждому анкеру для всех этапов эксперимента. На гистограмме (рис. 4), отображающей размеры данных областей, представлены только анкеры № 3–8 для $h = 6...14$ м. Это связано с тем, что в анкерах № 1, 2, 9 отсутствуют области с напряжениями, достигающими σ_{max} . Отметим, что области σ_{max} образуются в местах контактов литологических разностей, что свидетельствует о сопротивлении анкеров сдвигу породных слоев относительно одного другого.

В результате изучения эпюр анкерного крепления (см. рис. 3) было установлено, что наибольшее распространение областей σ_{max} отмечается на глубине заложения выработки 6 м, а максимальная длина распределения области приходится на три центральных анкера, суммарно достигая 1,7 м. При удалении от центрального анкера напряжения снижаются.

С каждым последующим этапом расчета области максимальных напряжений плавно уменьшаются, снижение происходит асимметрично. Если на первых этапах расчета наиболее нагружены центральные анкеры, то с расположением выработки на глубине 12 и 14 м происходит смещение на анкеры, находящиеся правее вертикальной оси симметрии. В частности, наибольшие на-

грузки стал принимать анкер № 8, причем, если на глубине 10 м область σ_{\max} для данного анкера составляла 0,9 м, то при увеличении глубины выросла до 1,3 м. Это связано с перераспределением зон опорного давления в боках выработок и изменением влияния зоны опорного давления очистного забоя, что при разном значении параметра h дает разную картину напряжений.

Таким образом, наиболее благоприятно описанному расположению выработки на глубине от 16 м и более, так как на этой глубине в анкерах полностью отсутствуют области σ_{\max} . Однако напряжения в анкерах для глубины 14 м также не слишком высоки, и область σ_{\max} присутствует только в трех анкерах, суммарно не превышая 1,9 м (удовлетворительный результат).

Исходя из данных рис. 3 построен график (рис. 5), где для каждого этапа расчета показаны размеры областей распределения напряжений в верхняке рамы. Условно можно выделить три группы с одинаковым уровнем напряжений. Наиболее высокая концентрация напряжений наблюдается при глубинах 6 и 8 м (кривые 1 и 2). Область σ_{\max} распространяется на 1,2 и 1 м соответственно, затем напряжения равномерно снижаются. Область с максимальными напряжениями образуется в центральной части верхняка с небольшим уклоном влево.

При месторасположении выработки на глубинах 10 и 12 м (кривые 3 и 4) наблюдается определенное падение уровня напряжений в раме. Область σ_{\max} в обоих случаях не превышает 0,3 м и имеет скорее очаговый характер. В результате в дальнейшем напряжения снижаются не так интенсивно, как в первой группе. Происходит переход области с более высокими напряжениями на глубине 12 м (кривая 4) в правую часть верхняка, что подтверждается анализом состояния анкерного крепления.

Начиная с глубины 14 м (кривая 5), напряжения в верхняке рамы не превышают 230 МПа, а это существенно ниже уровня σ_{\max} . Причем такой уровень напряжений концентрируется на участке незначительного размера. В целом при глубинах заложения выработки 14 и 16 м (кривые 5 и 6) отмечается достаточно невысокий уровень напряжений, что способствует комфортной эксплуатации рамного крепления в данных условиях.

После обработки результатов серии вычислительных экспериментов методами корреляционно-дисперсионного анализа установлено, что наиболее тесная связь прослеживается с отношением глубины H размещения выработки к расчетному сопротивлению сжатию R близлежащего массива пород вокруг выработки. Уравнение регрессии $h = 4,7(H/R)^{0,43}$ позволяет спрогнозировать рациональное заглубление штрека в подошву отработываемого пласта для горнотехнических условий

шахт Западного Донбасса. Параметр R определяют на базе нормативного документа [5], учитывая влияние прочностных характеристик литологических разностей, залегающих на расстоянии по вертикали между подготовительной выработкой и отработываемым угольным пластом.

Выводы. В результате проведенных исследований: определена рациональная глубина проведения надрабатываемой выработки в условиях шахтного поля шахты «Самарская»;

установлены закономерности распределения зон опорного давления впереди очистного забоя и в боках выработки, а также зависимости изменения размеров данных зон при изменении параметра h ;

проанализированы размеры областей σ_{\max} для анкерного и рамного крепления при различной глубине проведения выработки;

определено, что целесообразно проводить подготовительную выработку начиная с глубины 14 м от подошвы угольного пласта. При таком удалении от зоны ведения очистных работ значительно снижается воздействие зоны опорного давления впереди забоя на выработку, что позволяет обеспечить ее длительную и эффективную эксплуатацию;

разработана методика прогнозирования рационального заглубления штрека в подошву отработываемого пласта для горнотехнических условий шахт Западного Донбасса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Энергия в действии: годовой отчет ДТЭК 2013 г.* – Донецк. – 237 с. – <http://dtek.com/library/file/dtek-ar2013-ru-ua.pdf> [Электронный ресурс].
2. *Sotskov V. Features of using numerical experiment to analyze the stability of development workings / V. Sotskov, O. Gusev // Progressive technologies of coal, coalbed methane, and ores mining.* – Netherlands: CRC Press Balkema, 2014. – P. 197–201.
3. *Bondarenko V. Analysis of stress-strain state of the cable bolts installed in the face exit while the longwall face approaches / V. Bondarenko, V. Fomichov, V. Sotskov // Geotechnika I budownictwo specjalne 2014.* – XXXVII Zimowa Szkola Mechaniki Gorotworu, Wisla-Jawornik. – Krakow: AGH, 2014. – P. 89–94.
4. *Фомичев В. В. Исследование модели изменения состояния дренажного штрека в условиях надработки в шахтах Западного Донбасса / В. В. Фомичев, В. А. Соцков / Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Гірництво.* – 2014. – Вип. 24. – С. 71–77.
5. *Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони: СОУ 10.1.00185790.011:2007.* – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с.