

На основе моделирования обоснованы параметры эффективного СПВ при гексагональной схеме заложения скважин для радиуса добычной ячейки 25 м. Миграция продуктивного раствора направлена преимущественно к откачным скважинам, причем его основная часть циркулирует в пределах рудного тела. После отработки предыдущего блока оставшийся в порах растворенный уран стягивается в новый обрабатываемый блок, что повышает степень его извлечения.

Ввиду неполного покрытия ячейками участка рудного тела и выхода некоторых ячеек за его пределы возможно небольшое, до 5–10 м, растекание части раствора за контур рудного тела. Незначительные остатки раствора с непрореагировавшей кислотой могут несколько месяцев находиться за пределами рудного тела в период паузы, связанной с сезонностью ведения добычных работ.

#### Список литературы

1. Khomenko O. The first Ukrainian corporative university / O. Khomenko & D. Rudakov // Materials of IV International scientific-practical conference “Scholl Underground Mining – 2010” / “New techniques and technologies in mining”. – Netherlands: CRC Press. Balkema. – P. 203-206.
2. Жанчив Б. Монгол улсын ураны үйлдвэрлэл, Цөмийн эрчим хүчний салбарын Өнөөгийн байдал, хөгжлийн хэтийн төлөв / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Уул уурхайн сэтгүүл. Улаан-Баатар: ШУТИС-ийн УУИС – 2011. – №. 1. – Х. 25 – 29.
3. Zheng C., Wang P.P. MT3DMS: A modular three-dimensional multispecies model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; Documentation and User's Guide, Contract Report SERDP-99-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. 1999.
4. Рогов А.Е., Распанов Н.Б. Математические основы геотехнологии: Монография / А.Е. Рогов, Н.Б. Распанов. – Алматы: 2007, - 367 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.  
Надійшла до редакції 25.11.13*

УДК 622.272

© В.В. Фомичев, В.А. Соцков

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАДРАБАТЫВАЕМОГО ДРЕНАЖНОГО ШТРЕКА ПРИ ПРИБЛИЖЕНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ШП «САМАРСКАЯ»**

Смоделировано ведение очистных работ над дренажным вентиляционным штреком. Определено НДС углевмещающего массива в окрестности дренажного вентиляционного штрека и приближающейся лавы. Установлен характер перераспределения напряжений при изменении расстояния очистного забоя до выработки. Установлены области разупрочнения породного массива.

Змодельовано ведення очисних робіт над дренажним вентиляційним штреком. Визначено НДС вуглевміщуючого масиву навколо дренажного вентиляційного штреку і лави, що наближається. Встановлено характер перерозподілу напружень при зміні відстані очисного вибою до виробки. Встановлені області знеміцнення породного масиву.

There was simulated conducting coal-face work on the drainage airway. There was researched the stress strain state of the coal-bearing massif near the drainage airway and approaching working

face. The character of stress redistribution while changing of the distance from the working face to drift is described. The regions of the rock mass softening are defined.

**Актуальность работы.** Важной составляющей в топливно-энергетическом балансе Украины являются угли для коксования и энергетических нужд, что делает угольную промышленность одним из приоритетных направлений в развитии экономики страны. Стабильность функционирования угольной шахты во многом определяется состоянием подземных горных выработок, среди которых в наиболее сложных условиях эксплуатируются пластовые выработки, находящиеся в непосредственной технологической связи с очистными работами. Обоснование и принятие рациональных технических решений при эксплуатации сети подземных горных выработок является одной из составляющих эффективного функционирования угольной шахты [1]. Особую актуальность эти задачи приобретают в сложных горно-геологических условиях отработки тонких угольных пластов, в частности, в слоистом массиве слабых обводненных пород Западного Донбасса. В этой связи особое внимание уделено пластовым подготовительным выработкам по двум причинам: во-первых, данная группа выработок характеризуется наиболее неоднородной структурой и свойствами вмещающих пород; во-вторых, их состояние во многом предопределяет стабильность и надежность работы всей шахты [2].

**Постановка проблемы.** Условия отработки пласта С<sub>5</sub> ШП «Самарская» ПСП «ШУ «Терновское» характеризуется как сложные по причине наличия в кровле достаточного количества обводненных маломощных угольных пластов и пропластков, обводненного песчаника и интенсивно трещиноватых слоев аргиллита и алевролита с практически полным отсутствием сцепления между слоями. Основная кровля оценивается как неустойчивая с образованием при посадке достаточно обширной области сдвижений и формированием значительных нагрузок на механизированную крепь, крепежные и охранные системы выемочных штреков. К геостатическому горному давлению добавляется гидродинамический фактор: водоприток в лаве достигает 52 м<sup>3</sup>/ч в период посадки основной кровли. С целью отвода шахтных вод принято техническое решение о сооружении дренажного вентиляционного штрека в почве пласта С<sub>5</sub> на глубине 8...9м. В этой связи представляется актуальной задача оценки состояния породного массива в окрестности дренажного штрека в период ведения очистных работ по пласту С<sub>5</sub> в непосредственной близости от него.

**Изложение основного материала.** Для выполнения поставленной задачи была построена пространственная модель слоистого горного массива с учетом физико-механических свойств пород согласно данным геологической разведки в окрестности дренажного вентиляционного штрека ШП «Самарская» [3]. Смоделированная структура горного массива представлена на рис. 1.

Характерной особенностью данного участка является ведение очистных работ над дренажным штреком, который был предварительно пройден на глубине 8-9м метров от вынимаемого угольного пласта С<sub>5</sub>. Выработка проведена в опасных зонах по обрушению пород кровли, которые характеризуются слабым внутри- и межпластовым сцеплением, поэтому в местах смены литологического состава пород кровли возможны обрушения.

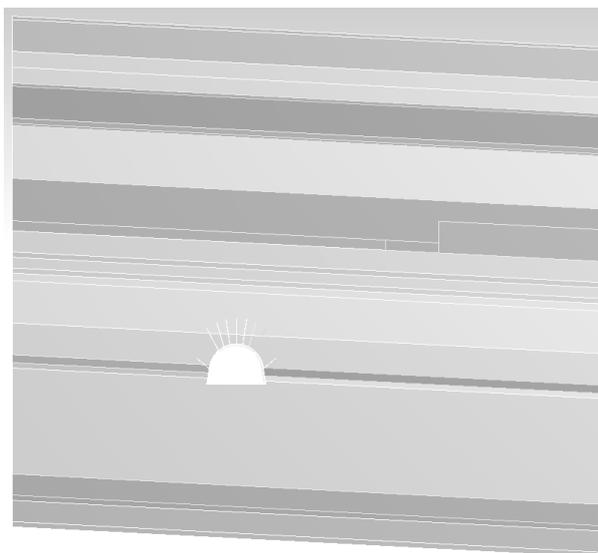


Рис.1. Пространственная модель массива горных пород

В результате расчетная модель состоит из 25 породных слоев и составляет: по падению/восстанию – 55 м, по высоте 48 м и протяженности выработок 1 м, угол падения пласта – 3 градуса. Каждый слой моделировался как отдельная деталь необходимого размера с соответствующими механическими характеристиками. Особенностью расчета является изменение положения очистного забоя относительно дренажного вентиляционного штрека.

На расстоянии 15 м от левого края модели и глубине 9 м от вынимаемого угольного пласта расположен дренажный штрек, сечение которого моделировалось арочной формы под крепь КШПУ-11,7. Для его поддержания использовалась рамная крепь со сталеполимерными анкерами. В сечение вписана рамная крепь, изготовленная из профиля СВП-22. Шаг установки рамной крепи – 1 м. Все элементы крепи моделировались как отдельные детали, обладающие соответствующими механическими характеристиками. Система анкерного крепления состоит из девяти сталеполимерных анкеров, семь из которых длиной 2,4 м устанавливаются в кровле выработки, а еще два длиной 2 м – в боках выработки с каждой стороны. Диаметр несущего элемента 22 мм, шаг установки – 1 м.

Механизированная крепь для уменьшения размерности задачи моделировалась как цельный прямоугольный блок с реакцией сопротивления горному давлению, соответствующей несущей способности крепи КД-80. Размеры по высоте и глубине соответствовали вынимаемой мощности, длина блока равна длине секции механизированной крепи. За ограждением механизированной крепи моделировались обрушенные породы в выработанном пространстве с разбиением на зону беспорядочного обрушения и зону шарнирно-блокового сдвижения с соответствующими механическими характеристиками.

**Анализ результатов вычислительного эксперимента.** Для проведения вычислительного эксперимента были построены три модели, различающиеся расположением плоскости очистного забоя. Это расстояние составило на первом этапе – 14 м, на втором – 7 м, а на третьем этапе плоскость забоя сравнивалась с вертикальной осью симметрии выработки. По результатам проведенных

расчетов были построены эпюры компонент напряжений и перемещений. Для анализа попарно приведены эпюры первого и последнего этапов.

**Вертикальные напряжения  $\sigma_y$ .** Первый шаг расчета был выполнен при расположении очистного забоя на расстоянии 14 м от дренажного штрека, при этом выработанное пространство задано шириной 15 м вплоть до границы модели. Если проанализировать полученную эпюру вертикальных напряжений (Рис. 2, а) комплексно, то можно увидеть, что практически полностью массив подвергается сжатию на уровне 8...9 МПа, за исключением пород почвы выработки, зоны разупрочненных пород вокруг выработанного пространства, а также очаговых растягивающих напряжений в местах установки крепежных конструкций.

Основная концентрация сжимающих напряжений сосредоточена в опорной зоне очистного забоя, что связано с опусканием пород кровли в выработанное пространство. Нарушение сплошности породного массива, в процессе отработки угольного пласта провоцирует перераспределение напряжений в близлежащих слоях. Наибольшее влияние оказывает область выработанного пространства. Опускание кровли происходит до тех пор, пока не будет превышен предел прочности данной породы на сжатие, после чего произойдет разрушение и обрушение породы в выработанное пространство. Наличие трещин и обводненности массива может значительно ускорить процесс естественного обрушения. В результате такого нарушения сплошности породных слоев при ведении очистных работ над механизированным комплексом образуется зона перегиба слоев, что провоцирует резкое возрастание давления на крепь и образование зоны опорного давления с высокими показателями сжимающих напряжений порядка 20...30 МПа и размерами по восстанию – 5...7 м и по высоте 10...13 м.

Область выработанного пространства, образовавшаяся непосредственно позади очистного забоя, характеризуется большой зоной разупрочненных пород кровли, что существенно отразилось и на распределении напряжений. Сжимающие напряжения здесь менее интенсивные, чем в окружающих слоях. Данная область распространилась на 4...6 м в кровлю и на 12...15 м в почву от выработанного пространства и в целом занимает по восстанию 15 м, а по высоте 20...25 м. При этом сжимающие напряжения колеблются в диапазоне 0,5...1,5 МПа. Далее происходит постепенное увеличение напряжений вплоть до достижения начального состояния массива.

Вокруг дренажного штрека происходит достаточно прогнозируемое распределение напряжений, связанное с влиянием системы поддержания выработки, включающей чередование рамной крепи и анкерного крепления, на окружающий массив. В кровле и почве выработки формируется область разгрузки со снижением сжимающих напряжений  $\sigma_y$ , вплоть до 1...3 МПа, что связано с пучением пород почвы (размеры: по ширине 1,5...2 м, по глубине 2...4 м) и образованием закрепленной анкерами породной плиты в кровле. При этом в боках выработки, наоборот, происходит увеличение напряжений до 11...14 МПа (размеры: по высоте 4...5 м, по ширине 3...4 м) в связи с нарушением начального состояния горного массива вследствие проведения выработки.

Характерной особенностью данного вычислительного эксперимента является надработка дренажного вентиляционного штрека, что уже на первом этапе расчета позволило получить совершенно новую область напряжений, которая объединила зону опорного давления впереди очистного забоя с областью повышенных сжимающих напряжений в боку выработки. В связи с достаточной удаленностью очистного забоя на первом этапе расчета данная зона не оказывает значительного влияния на выработку, но уже сейчас можно предположить, что с подвиганием очистных работ перераспределение нагрузок в буферной области между зоной опорного давления и выработкой будет оказывать определенное воздействие на рамное и анкерное крепление, установленное в штреке. На данном этапе общие размеры этой области по восстанию достигают 12...14 м, а по высоте 27...30 м, при этом сжимающие напряжения преобладают на уровне 12...16 МПа.

Распределение вертикальных напряжений  $\sigma_y$  в массиве горных пород (Рис. 2, б) на последнем этапе расчета подверглось существенным качественным и количественным изменениям. Это связано с положением груди очистного забоя над дренажным штреком, что обуславливает формирование максимального влияния на выработку.

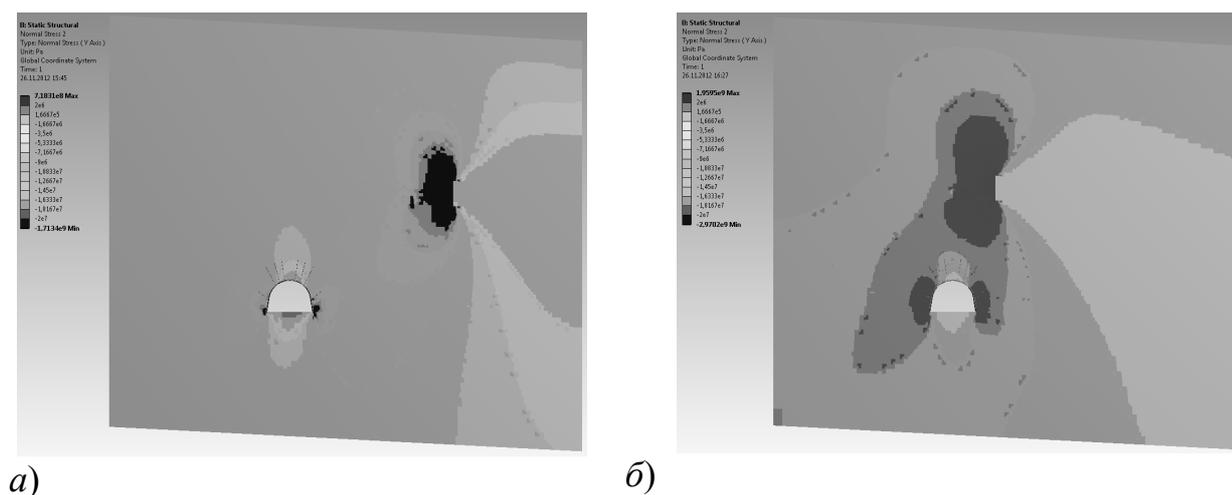


Рис. 2. Эпюры распределения вертикальных напряжений  $\sigma_y$ : а) при расстоянии 14м от груди очистного забоя до выработки; б) грудь очистного забоя сравнялась с вертикальной осью симметрии выработки

Зона опорного давления, сформировавшаяся вокруг очистного забоя, достигла максимальных размеров по сравнению с предыдущими этапами расчета. Во-первых, это связано с увеличением консоли зависания основной кровли, обрушением породы на удалении от забоя, а также сдвижением основной части вышележащих пластов, что провоцирует смещение породных слоев не только над выработанным пространством, но и над механизированным комплексом. Сдвигение больших объемов массива и образующаяся при этом мульда с увеличением площади начинает оказывать все большее давление на крепь. Во-вторых, в область действия зоны опорного давления попадает горная выработка, вокруг которой также происходит характерное распределение напряжений.

В связи с относительно небольшим расстоянием между вынимаемым угольным пластом и штреком, происходит наложение сжимающих напряжений от зон опорного давления в боках выработки и вокруг механизированного комплекса. Это приводит к образованию единой области повышенных сжимающих нагрузок, занимающей все пространство между выработкой и забоем, а также включающей в себя все зоны опорного давления.

Наибольшие концентрации сжимающих напряжений образовались вокруг механизированного комплекса с размерами по восстанию 6...8 м и 13...16 м по высоте, а также в боках выработки с размерами по ширине 1...2 м и по высоте 3...4 м, где напряжения превышают 20 МПа. Учитывая низкие прочностные характеристики пород Западного Донбасса, такие нагрузки свидетельствуют об их разупрочнении. Как было описано выше, между этими зонами образовалась единая область с несколько меньшими напряжениями, порядка 15...17 МПа, что также свидетельствует о разупрочнении пород и появлении трещин. Причем образование данной области вокруг выработки, происходит неравномерно. Со стороны подвигания очистного забоя ее размеры достигают 4...5 м по ширине и 9...11 м по высоте, в то же время на противоположной стороне выработки эта область намного больше и достигает 10...12 м по ширине и 16...18 м по высоте. Судя по результатам расчета, это связано с образованием зоны разгрузки в породах почвы под выработанным пространством. Очевидно, что данная зона оказывает некоторое влияние и на распределение нагрузок вокруг выработки. Также зоны разгрузки образовались в кровле и почве выработки. Стоит отметить, что снижение концентрации сжимающих напряжений происходит постепенно, связи с этим вокруг описанных зон образуется значительных размеров область с нагрузками в диапазоне 10...15 МПа. Это свидетельствует о протекании деформационных процессов на значительном расстоянии от выработок.

**Горизонтальные напряжения  $\sigma_x$ .** Практически весь нетронутый горный массив на эпюре горизонтальных напряжений (Рис. 3, а) находится в равновесном состоянии при сжимающих напряжений на уровне 2...3 МПа. Основные перераспределения происходят в зоне влияния очистных работ, а также вокруг выработки.

Ведение очистных работ приводит к нарушению сплошности пород кровли на значительной площади массива, что приводит к существенным изменениям напряженно-деформированного состояния. Так вокруг механизированного комплекса, а также впереди очистного забоя образовалась достаточно большая зона опорного давления с размерами по ширине – 12...14 м, и по высоте 7...9 м. Здесь наблюдается высокая концентрация сжимающих напряжений, которые распределяются не равномерно по всей зоне. Над механизированной крепью образовался участок с наибольшим коэффициентом сжатия, напряжения достигают 12...17 МПа. Это наглядно демонстрирует деформацию пород, вследствие превышения предела текучести, и выдавливание горной массы в выработанное пространство.

Позади очистного породе кровли и почвы смыкают образованную пустоту, путем обрушения и пучения соответственно. Эпюра горизонтальных напряжений  $\sigma_x$  достаточно наглядно это демонстрирует. Породная консоль в кровле над выработанным пространством, достигая своего критического размера, обрушается при

превышении предела прочности на растяжение алевролита, залегающего над угольным пластом. Этот участок занимает примерно 9...11 м по ширине и 2...3 м по высоте. Далее идут области большие по площади, но менее интенсивные в плане нагрузок. По размерам распределения в кровлю и почву они примерно одинаковы и занимают по ширине 13...15 м и 5...8 м по высоте, каждая. Концентрация напряжений здесь колеблется от 1 до 4 МПа, что говорит о менее интенсивном процессе разрушения пород и связано с образованием большого количества трещин. Также небольшая область с относительно низкими сжимающими напряжениями (0,5...1,5 МПа) образовалась под механизированным комплексом.

Вокруг выработки образовались только небольшие по размеру участки очагового типа со сжимающими нагрузками, в основном в местах влияния анкерного и рамного крепления на массив. Соответственно в почве появились растягивающие напряжения, связанные с протеканием процесса пучения обводненного аргиллита.

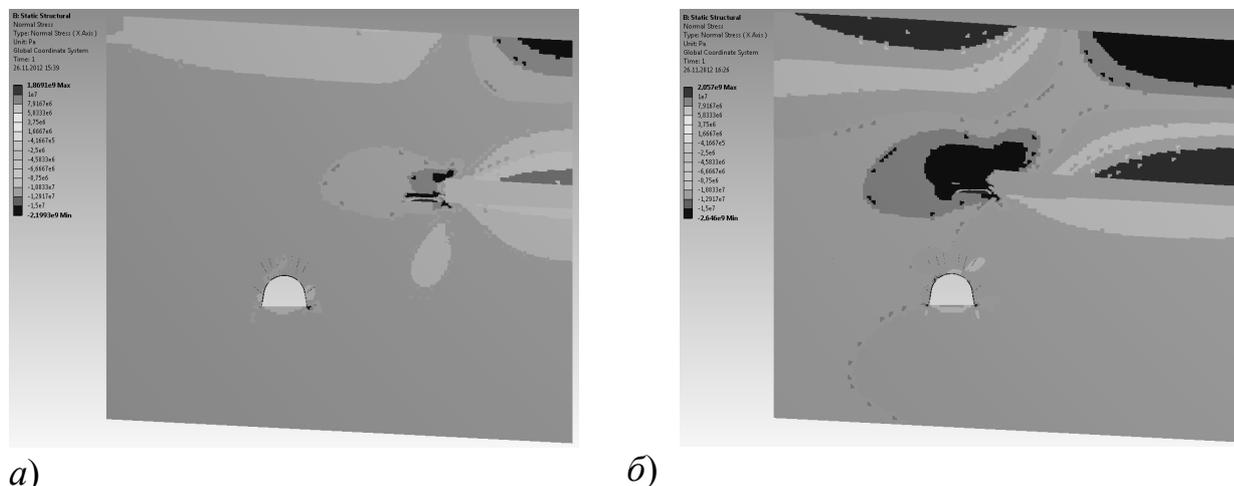


Рис. 3. Эпюры распределения горизонтальных напряжений  $\sigma_x$ : а) при расстоянии 14 м от груди очистного забоя до выработки; б) грудь очистного забоя сравнялась с вертикальной осью симметрии выработки.

Сравнительный анализ эпюр горизонтальных напряжений  $\sigma_x$  (Рис. 3, а и б) показал существенные различия не только в характере, но и в интенсивности распределения напряжений.

Область сжимающих напряжений вокруг механизированного комплекса увеличилась в размере примерно на 10 %. При этом значительно увеличилась концентрация напряжений, которая находится в диапазоне 12...15 МПа. С удалением от лавы в кровлю происходит постепенное снижение сжимающих напряжений и переход к растягивающим. Ориентировочно на высоте 10...11 м от угольного пласта начинает преобладать растяжение в породных слоях. Эта область занимает 22...25 м по ширине и 7...9 м по высоте, нагрузки при этом плавно возрастают от 1 до 10 МПа с отдалением от очистного забоя. При переходе напряжений в кровле в область влияния выработанного пространства появляется область перегиба слоев, в результате чего сжимающие и растягиваю-

щие напряжения меняются местами. Теперь область растяжения находится непосредственно над выработанным пространством, это связано с обрушением слоев кровли и просадкой вышележащих слоев, что связано с разупрочнением этих литологических разностей и появлением трещин. В то же время на высоте 12...15 м от отработанного пласта образуется область сжатия, размером 15...20 м по ширине и 8...10 м по высоте, напряжения достигают 15 МПа.

Влияние очистных работ на выработку оказывается преимущественно со стороны нетронутого угольного пласта, где происходит распределение сжимающих напряжений в диапазоне 6...9 МПа. Эта область занимает все пространство массива, начиная от выработки, и распространяется на значительную глубину в почву. На штрек оказывается влияние в боку выработки, где образуется концентрация сжимающих напряжений. В кровле выработки, в связи с влиянием анкерного крепления, происходит разрежение, и сжимающие напряжения не достигают выработки.

**Выводы.** В результате проведенного вычислительного эксперимента установлено, что при уменьшении расстояния от груди очистного забоя до дренажного вентиляционного штрека происходит изменение характера распределения напряжений. Если на первом этапе влияние очистных работ на выработку минимально, то с приближением очистных работ влияние увеличивается и приводит к существенным изменениям в напряженно-деформированном состоянии горного массива. Зоны опорного давления впереди механизированного комплекса и в боках выработки соединяются, что приводит к перераспределению напряжений по всему горному массиву между угольным пластом и выработкой. Закономерности изменения НДС таковы, что более активно протекают процессы разупрочнения слабых пород, распространяющиеся на значительные расстояния в кровлю, почву и бока дренажного вентиляционного штрека. В связи с этим можно прогнозировать увеличение вертикальной и боковой нагрузки на крепежную систему и интенсификацию процессов пучения почвы. Результаты вычислительного эксперимента нацеливают на усиление крепежной системы за счет глубинного упрочнения пород кровли и более активного противодействия боковым нагрузкам.

#### Список литературы

1. В.И. Бондаренко, И.А.Ковалевская, Г.А. Симанович, В.В. Фомичев, А.В.Мартовицкий, А.Ф.Копылов Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса// Монография. – Д.: ТОВ «Підприємство «Дріант», 2010.
2. В.И. Бондаренко, Г.А. Симанович, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев Влияние характеристик неоднородности тонкослоистого горного массива на результаты вычислительного эксперимента по устойчивости выемочных выработок // Материалы V Междунар. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Д.: «ЛізуновПрес», 2011. – С. 10-18
3. В.И. Бондаренко, Г.А. Симанович, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев Методология и результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния системы «слоистый массив-крепь» подготовительной выработки // Горный журнал. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы». – Специальный выпуск 2010. – С. 62-66.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.  
Надійшла до редакції 25.11.13*