

УДК 622.834.1

**ИССЛЕДОВАНИЯ УСКОРЕНИЯ КОНВЕРГЕНЦИИ  
ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ ШАХТЫ  
ИМ. ЧЕЛЮСКИНЦЕВ**

**Антипов И. В., Савенко А. В., Нагорная Е. Д.**

*(Институт физики горных процессов НАН Украины, г. Донецк,  
Украина)*

**Данча В. А., Пугач С. С.**

*(ОП «Шахта им. Челюскинцев», г. Донецк, Украина)*

**Жуковцов И. В., Бараненко И. А.**

*(ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько», г. Донецк, Украина)*

*Представлено результати інструментальних спостережень за прискоренням конвергенції вміщуючих порід в 7-й західній лаві пласту  $l_1$  шахти ім. Челюскінців.*

*Results of instrumental supervision over bearing strata convergence acceleration in 7-th western longwall  $l_1$  coal-bed of Chelyuskintsev mine are presented.*

**Актуальность проблемы.** Уголь – единственный энергоноситель, запасами которого обладает территория Украины в достаточной степени для обеспечения энергетической независимости государства [1].

В структуре мировых запасов органического топлива на уголь приходится 67 %, на нефть – 18 % и на природный газ – 15 %. В Украине эти показатели отличаются и составляют, соответственно, 95,4 %, 2 % и 2,6 % [2].

Добыча угля в мире растет, однако преимущественно за счет нескольких стран, относящихся к первой пятерке по объемам добычи, таким как Китай, США, Индия, Австралия, Индонезия. За последние десять лет добыча угля в мире увеличилась на 66 % [3].

Согласно статистическим данным Администрации по энергетической информации в 2011 году на Китай приходилось 45 % мировой добычи угля, США – 13 %, Индию – 8 %, Австралию – 6 % и Индонезию – 5 %; остальные страны – 23 %. Причем состав первой пятерки угледобывающих стран не менялся с 2000 года, за исключением того, что несколько лет назад в нее вошла Индонезия, вытеснив Россию на шестое место.

Доля Украины в мировой добыче угля составляет около 0,8 % (16-е место в мире), в то же время по доказанным запасам – около 4 % (7-е место в мире).

Для обеспечения высоких показателей угледобычи требуется вовлечение в разработку новых месторождений, которые характеризуются сложными горно-геологическими условиями и большой глубиной – порядка 900-1400 м. Увеличение горного давления на больших глубинах приводит к осложнению работ по добыче угля и снижению эффективности использования комплексно-механизированных технологий выемки угля.

***Анализ последних достижений и публикаций.*** Горные породы до проведения в них выработок находятся в состоянии напряженного геостатического равновесия. При ведении горных работ равновесие нарушается, и породы приходят в движение. Кинематика сдвижений горных пород является следствием проявления сложных геомеханических процессов, происходящих в толще пород при выемке угля.

Поскольку для наблюдений доступны, в большей степени, сдвигения слоев, непосредственно прилегающих к угольному пласту, шахтные наблюдения дают возможность изучения принципов проявления горного давления, проявляющегося в видимых сдвигениях кровли и почвы пласта.

Проведенными ранее исследованиями было установлено, что ускорение конвергенции является критерием изменения напряжённо-деформированного состояния массива горных пород [4, 5], получены зависимости для определения ускорения конвергенции вмещающих пород по длине лавы [6-8], обосновано, что абсолютная величина ускорения конвергенции вмещающих пород является критерием определения длины концевых участков лавы [9-11], а также доказано, что максимальное воздействие технологических

операций выемки угля и передвижки секций механизированной крепи проявляется на участке лавы длиной 40 м, по 20 м в обе стороны от места выемки, где происходит до 90 % смещений за время очистного цикла [12-15].

Данные, полученные во время инструментальных, наблюдений позволяют сделать выводы о природе сил, проявляющихся при ведении горных работ. Хронометражные наблюдения являются наиболее эффективным инструментом учета результатов функционирования технических и технологических решений с точки зрения их надежности [16].

Проведенные ранее шахтные исследования позволили получить исходные данные для комплексного решения вопросов взаимосвязи технологических операций в лаве и геомеханических процессов в породном массиве [17].

На шахтах им. А. Ф. Засядько [6-8, 10-15], им. Г. М. Димитрова [4, 5, 8], им. В. М. Бажанова [9] и др. были проведены инструментальные исследования в очистных забоях и установлены закономерности протекания геомеханических процессов в горном массиве. При этом было установлено, что при выполнении операций по выемке угля и передвижке секций механизированной крепи скорость конвергенции вмещающих пород изменяется [4]. В зависимости от интенсивности выполнения основных производственных операций в очистном забое изменяется скорость протекания геомеханических процессов в горном массиве [5].

При достаточном удалении комбайна от измерительной стойки скорость опускания кровли составляет около 0,02-0,05 мм/мин. и не зависит от операций по выемке угля [8].

Однако при приближении комбайна к измерительной стойке на расстояние 3-5 секций механизированной крепи (4,5-7,5 м), скорость опускания кровли начинает быстро увеличиваться. Наибольшее ее значение наблюдается в период прохода комбайна около измерительной стойки. Далее по мере удаления комбайна от измерительной стойки скорость опускания кровли убывает до 0,02-0,05 мм/мин. [10].

Отрезок пути комбайна до измерительной стойки, на котором резко возрастает скорость опускания кровли, представляет собой зону влияния операций выемки угля впереди комбайна,

длина которой составляет около 4,5-7,5 м. Аналогичный отрезок пути длиной 7,5-10,5 м был зафиксирован при удалении комбайна от измерительной стойки. На этом участке скорость опускания кровли уменьшается до уровня, который предшествовал началу влияния выемки. Этот участок представляет собой зону влияния операций выемки угля и передвижки секций механизированной крепи позади комбайна.

Отмеченные изменения интенсивности опускания кровли наблюдались при каждом проходе комбайна в районе измерительной стойки.

**Нерешенные вопросы.** Получены численные значения ускорения конвергенции вмещающих пород в лаве, составляющие 0,005-0,045 мм/мин.<sup>2</sup> на концевых участках и 0,045-0,055 мм/мин.<sup>2</sup> в средней части лавы [11]. Выполненные ранее инструментальные исследования в очистных забоях не предусматривали фиксирование конвергенции пород в периоды простоя комбайна.

**Постановка задачи, цель исследования.** Проводимые на шахте им. Челюскинцев инструментальные наблюдения являются продолжением исследований в области изучения геомеханических процессов в горном массиве и влияния на них технологических операций в очистном забое.

Цель инструментальных исследований на шахте им. Челюскинцев – уточнить закономерности протекания геомеханических процессов в горном массиве в периоды отсутствия технологических операций по выемке угля и передвижке секций механизированной крепи.

**Содержание основных исследований.** Исследования проводились в 7-й западной лаве пласта  $l_1$ . Лава длиной 230 м отрабатывается прямым ходом с использованием сплошной системы разработки; длина выемочного поля по простиранию – 715 м.

Пласт  $l_1$  сложного строения, состоит из двух пачек угля: верхней мощностью 0,2-0,4 м и нижней – 0,8-1,0 м. Вынимаемая мощность пласта 1,0-2,0 м, угол падения 12-14°. В непосредственной кровле залегает алевролит мощностью 1,8 м, нижняя часть которого является ложной кровлей (0,5-0,8 м), по классификации ДонУГИ относится к категории Б<sub>2-3</sub>. Основная кровля – средне-труднообрушаемый водоносный песчаник (категория А<sub>2-3</sub>) мощ-

ностью от 8,7 м до 22 м. Почва пласта – слабый, комковатого строения аргиллит мощностью до 0,4-0,5 м. Этот слой аргиллита относится к категории  $П_1$ . Нижележащие алевролиты мощностью до 1,2 м плавно сменяются песчаниками мощностью 1,2-4 м.

Участок отработки 7-й западной лавы пласта  $l_1$  надработан 4-й и 8-й западными лавами пласта  $l_4$  и подработан 9-й западной лавой пласта  $k_8$ . Для механизации работ в лаве используется механизированный комплекс ЗМКД-90, в составе крепи ЗКД-90, комбайна 1ГШ-68 и конвейера СП-250.

Натурные исследования выполнялись с помощью следующих приборов и инструментов: измерительная стойка СУИ-П с индикатором часового типа ИЧТ-0,01, секундомер, рулетка.

Для инструментальных замеров и визуальных наблюдений в лаве оборудовалась замерная станция<sup>\*)</sup>, установленная между секциями механизированной крепи с предварительно задвинутыми боковыми консолями. Конвергенция вмещающих пород измерялась стойкой СУИ-П с индикатором часового типа ИЧТ-0,01 (рис. 1). Время фиксировалось при помощи секундомера. Вынимаемая мощность пласта измерялась рулеткой до и после проведения замеров.

Замерная станция оборудовалась на расстоянии 25 м от ниши на сопряжении с вентиляционным штреком между секциями. Комбайн начал движение из ниши по направлению к замерной станции. Общий объем исходных данных составил 66 наблюдений (отчетов). В качестве параметра принята фактическая конвергенция пород кровли и почвы ( $h$ ). Влияющими факторами (аргументами) являются текущее время ( $t$ ) и расстояние от замерной станции до комбайна ( $b$ ).

Особенность проведенных натурных исследований состоит в том, что в течение 16 минут комбайн со средней скоростью 1,25 м/мин. двигался по направлению к замерной станции, затем, в течение 1 часа 15 минут находился в неподвижном состоянии на расстоянии 5 м от замерной станции.

---

<sup>\*)</sup> Инструментальные наблюдения в лаве выполняли асп. Нагорная Е. Д., нач. ВТБ Пугач С. С., зам. нач. ВТБ Сельский М. В.

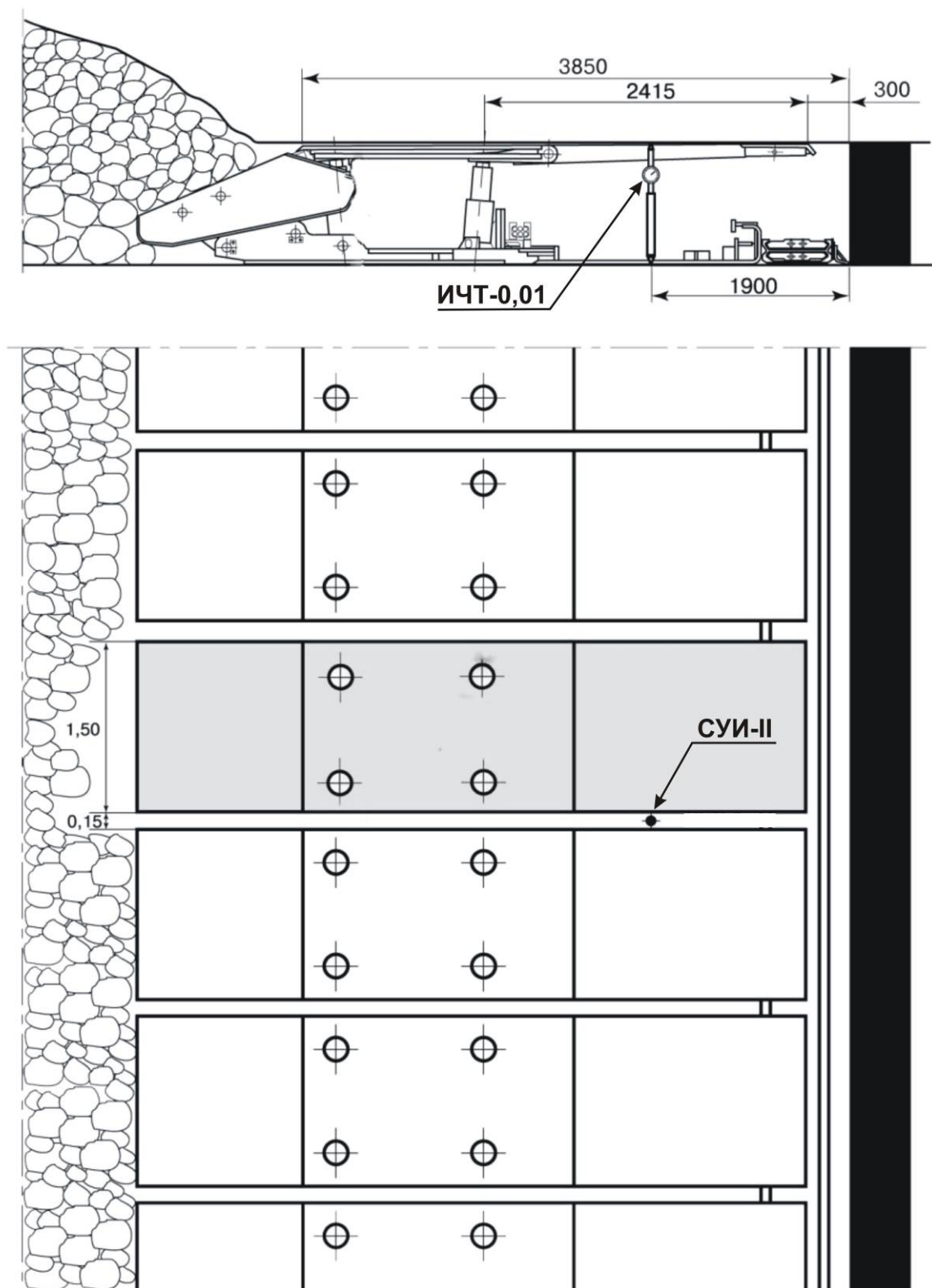


Рис. 1. Схема размещения замерной станции в 7-й западной лаве пласта  $l_1$

**Анализ результатов наблюдений.** С учетом особенностей проведенных шахтных наблюдений целесообразно исследовать зависимости параметра от влияющих факторов, как в течение всего периода наблюдений, так и отдельно в периоды выемки угля и простоя комбайна.

Восстановление зависимостей выполнялось с помощью метода группового учета аргументов (МГУА) [18, 19]. Опорные функции были представлены полиномами второй степени [20]. Поскольку объёма исходных данных достаточно для рассмотрения задачи как определённой (т.е. массив исходных данных содержит достаточное количество отчетов для формализации зависимостей), то использовался однорядный алгоритм.

В ходе анализа получены зависимости:

1) Конвергенции вмещающих пород ( $h_o$ ) за весь период инструментальных наблюдений:

$$h_o = 1693 - 4,356 \cdot 10^{-3} \cdot t^2, \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $t$  – время, мин.

2) Конвергенция пород в период работы комбайна по выемке угля и передвижке секций механизированной крепи ( $h_e$ ) описывается уравнением:

$$h_e = 1698 - 34,272 \cdot 10^{-3} \cdot t^2, \text{ мм}. \quad (2)$$

3) Конвергенции в период простоя комбайна и отсутствия операций по передвижке секций крепи ( $h_n$ ):

$$h_n = 1690 - 33,552 \cdot 10^{-4} \cdot t^2, \text{ мм}. \quad (3)$$

На рисунках 2 и 3 приведены графики зависимостей (2) и (3) высоты стойки от времени в периоды работы комбайна и простоя.

Дифференцирование по времени зависимостей 2 и 3 позволило определить ускорение конвергенции вмещающих пород для периодов выемки угля и простоя комбайна:

$$\bar{a}_e = \frac{d^2 h_e}{dt^2} = 0,0685 \text{ мм / мин.}^2 \Rightarrow |\bar{a}_e| \approx 0,07 \text{ мм / мин.}^2; \quad (4)$$

$$\bar{a}_n = \frac{d^2 h_n}{dt^2} = -0,0067 \text{ мм / мин.}^2 \Rightarrow |\bar{a}_e| \approx 0,007 \text{ мм / мин.}^2 \quad (5)$$

Анализ зависимостей 4 и 5 показал, что при отсутствии операций по передвижке секций механизированной крепи процесс конвергенции не прекращаются, однако абсолютная величина ускорения конвергенции вмещающих пород уменьшается на порядок.

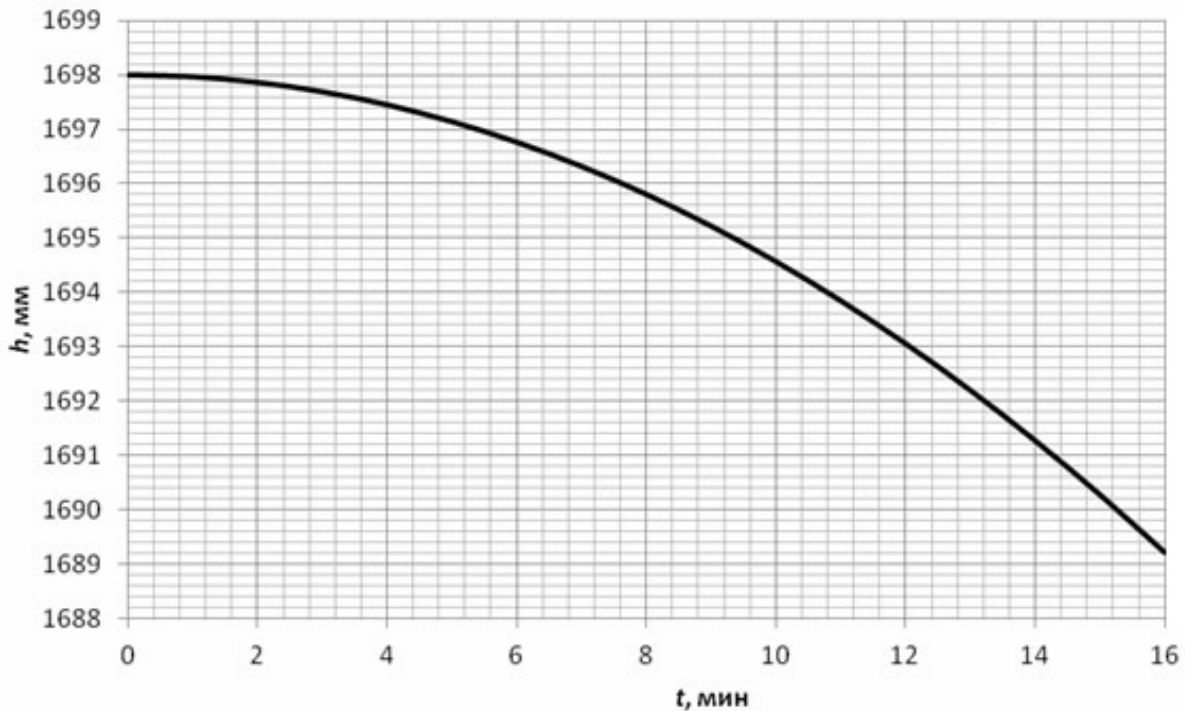


Рис. 2. График зависимости величины конвергенции вмещающих пород от времени при работе комбайна по выемке угля и передвижке крепи

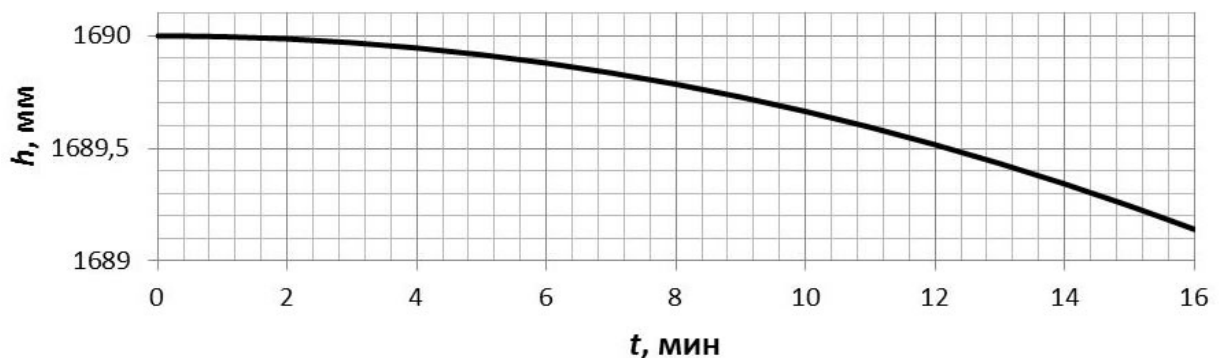


Рис. 3. График зависимости величины конвергенции вмещающих пород от времени в период простоя комбайна и отсутствия операций по передвижке крепи



**Выводы.** Результаты инструментальных наблюдений в 7-й западной лаве пласта  $l_1$  шахты им. Челюскинцев подтвердили и уточнили полученные ранее значения ускорения конвергенции вмещающих пород в периоды выемки угля комбайном и передвижки секций механизированной крепи.

Кроме того, при проведении инструментальных в 7-й западной лаве пласта  $l_1$  шахты им. Челюскинцев было измерено ускорение конвергенции вмещающих пород в период простоя комбайна и отсутствия операций по передвижке секций механизированной крепи.

Впервые установлено, что в периоды простоя комбайна и отсутствия операций по выемке угля и передвижке секций механизированной крепи абсолютное значение ускорения конвергенции вмещающих пород уменьшается на порядок.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Сургай Н.С. Альтернативы углю в Украине – нет! / Н.С. Сургай, С.П. Фищенко // Уголь Украины. – 2000, № 8. – С. 7 – 8.
2. Антипов И.В. Современные тенденции развития топливно-энергетического комплекса Украины / И.В. Антипов, Э.Ю. Сухаревский // Проблемы развития внешнеэкономических связей и привлечения иностранных инвестиций: региональный аспект. – Сб. научн. тр. – Донецк: ДонНУ, 2006. – С. 30 – 34.
3. Украинское национальное информационное агентство [электронный ресурс] / Костина Н. Добыча угля в мире за последние 10 лет выросла на 66 %. – 5 октября 2011 г. – режим доступа: <http://www.ukrinform.ua/rus/order/?id=1092941>
4. Антипов И.В. Ускорение конвергенции вмещающих пород в очистных забоях / И.В.Антипов, В.Г.Ильющенко, В.Е. Кравченко // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: Институт физики горных процессов НАН Украины, 1999. – С. 56 – 63.
5. Антипов И.В. Шахтные исследования конвергенции вмещающих пород / И.В.Антипов, В.Е.Кравченко, Д.В. Щербинин // Уголь Украины. – 2000. – № 10. – С. 24 – 27.

6. Звягильский Е.Л. Ускорение конвергенции вмещающих пород в очистных забоях / Е.Л. Звягильский, П.Е. Филимонов, И.В. Антипов, Д.В. Щербинин // Уголь Украины. – 2002. – № 8. – С. 33 – 36.
7. Антипов И.В. Шахтные исследования и моделирование геомеханических процессов / И.В. Антипов, П.Е. Филимонов, В.Б. Грядущий, Н.Н. Гатауллин // Сб. научн. тр. "Геотехническая механика". – ИГТМ НАН Украины, № 30. – 2003. – С. 160 – 165.
8. Кравченко В.Є. Геотехнологічні особливості модульного принципу побудови механізованого кріплення в очисних вибоях пологих вугільних пластів Донбасу: Автореф. дис. канд. техн. наук / Криворізький технічний університет. – Кривий Ріг, 2004. – 22 с.
9. Антипов И.В. Комплексные натурные исследования в 6-й западной лаве уклонного поля пласта  $m_3$  шахты им. В.М. Бажанова / И.В. Антипов, А.В. Савенко, В.Б. Грядущий // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли. – Макеевка: МакНИИ, 2004. – С. 138 – 141.
10. Филимонов П.Е. Формализация процесса конвергенции вмещающих пород в высокопроизводительном очистном забое // Геотехническая механика. Сб. научн. тр. ИГТМ НАНУ. – 2004. – Вып. 48. – С. 153 – 163.
11. Филимонов П.Є. Обґрунтування довжини і раціональних режимів кріплення кінцевих ділянок лав: Автореф. дис. канд. техн. наук / Інститут фізики гірничих процесів НАН України. – Донецьк, 2004. – 22 с.
12. Антипов И.В. Комплексные натурные исследования в 17-й восточной лаве пласта  $m_3$  АП "Шахта им. А. Ф. Засядько" / И. В. Антипов, А. В. Савенко, Э. Ю. Сухаревский // Проблемы гірського тиску. – ДонНТУ, 2005. – № 13. – С. 213 – 222.
13. Савенко А.В. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород по величине ускорения конвергенции // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. – Вып. 65. – Днепропетровск, 2006. – С. 156 – 166.
14. Антипов И.В. Обоснование комбинированной схемы пере-

- движки секций механизированной крепи в высокопроизводительных очистных забоях на глубоких горизонтах / И.В. Антипов, А.В. Савенко // Проблемы горного дела и экологии горного производства: Монография. – Донецк: "Вебер", 2007. – С. 9 – 15.
15. Савенко А.В. Розробка й обґрунтування комбінованої схеми пересування механізованих кріплень в очисних вибоях: Автореф. дис. канд. техн. наук / Інститут фізики гірничих процесів НАН України. – Донецька, 2007. – 22 с.
  16. Антипов И.В. Оценка надежности горнодобывающих технологий вероятностно-физическими методами / И.В. Антипов, И.А. Турбор // Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 14. Физико-технические основы оценки состояния углепородного массива. – Донецк: Институт физики горных процессов НАН Украины, 2011. – С. 106 – 114.
  17. Савенко А.В. Исследования сдвижения горного массива на больших глубинах при высоких скоростях подвигания очистного забоя / А.В. Савенко, Е.Д. Нагорная // Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 14. Физико-технические основы оценки состояния углепородного массива. – Донецк: Институт физики горных процессов НАН Украины, 2011. – С. 148 – 155.
  18. Ивахненко А.Г. Метод группового учета аргументов в задачах прогнозирования / Ивахненко А.Г. // Автоматика. – 1976. – № 6. – С. 24 – 34.
  19. Антипов И.В. Моделирование производственных процессов методом группового учета аргументов / Антипов И.В., Шкуматов А.Н. // Проблемы экологии. – Общегосударственный научно-технический журнал. – 2000. – № 1. – С. 5 – 9.
  20. Юрачковский Ю.П. Восстановление полиномиальных зависимостей на основе самоорганизации / Юрачковский Ю.П. // Автоматика. – 1981. – № 4. – С. 15 – 20.