

3. Заявка № 200512193 Украина, G 01 N 5/02, 27/26, 27/02. Способ измерения влажности и гидродинамических процессов оползнеопасных грунтов / А.В. Анциферов, В.А. Канин, А.А. Пашенко, А.В. Пашенко, Украина; Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела Национальной академии наук; Заявлено 12.12.2005.

4. Пат. 13982 Украина, E 02 D 29/02, 17/20. Способ укрепления оползневых склонов, содержащих глинистые минералы / А.В. Анциферов, В.А. Канин, А.А. Пашенко, А.В. Пашенко, Украина; Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела Национальной академии наук - № 200511311; Заявлено 29.11.2005.

**УДК 622.831**

Асп. А.В. Савенко  
(Институт физики горных  
процессов НАН Украины)

## **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО ВЕЛИЧИНЕ УСКОРЕНИЯ КОНВЕРГЕНЦИИ**

Досліджені процеси зсуву масиву гірських порід при веденні очисних робіт на великих глибинах при значних скоростях просування очисного вибою. Зафіксований вплив операцій по пересувці секцій механізованого кріплення в діючому очисному вибою на швидкість конвергенції порід, що вміщують. Вперше було описано прискорення конвергенції порід що вміщують як критерій змінення напружено - деформованого стану масиву гірських порід.

## **ESTIMATION OF ROCK MASSIF DEFLECTED MODE ON CONVERGENCE ACCELERATION VALUE**

Processes of rock massif shifting at conducting second working on large depths and great advancing speed of mining face are investigated. Influence of mechanized support section advancing operation in working longwall on rocks convergence speed is fixed. Convergence of rock massif acceleration served as criterion for deflected mode for the first time.

С развитием научно-технического прогресса в угольной промышленности и интенсификации угольного производства всё большую актуальность приобретает проблема управления горным давлением. Для тонких и средней мощности пологих пластов при боковых породах не ниже средней устойчивости эта проблема практически решена. Не решенной остаётся проблема управления кровлей для таких пластов при боковых породах ниже средней устойчивости в высоко производительных очистных забоях.

При подземной добыче угля массив горных пород находятся в динамическом состоянии. Среда, сложенная упругими, вязкоупругими, упруго пластичными, пластичными, сыпучими, текучими горными породами, включая воду и газ в различных их фазовых видах, находится в напряжённом состоянии, которое изменяется в процессе выемки полезного ископаемого. Это свойство разделяется на три состояния: динамическое, статическое нарушенного и ненарушенного массива.

Динамическое состояние геологической толщи горных пород и земной поверхности определяется непосредственно при работе очистных забоев.

Статическое состояние нарушенной толщи пород определяется площадью шахтного поля, на котором произведена выемка угля и где процесс сдвижения закончился.

Статическое состояние ненарушенной геологической толщи пород определяется той частью площади шахтного поля, которая не подверглась процессу сдвижения и находится за пределами мульды сдвижения на земной поверхности.

Динамическое и статическое состояния массива горных пород и земной поверхности приводят к многочисленным техногенным явлениям, которые оказывают негативное воздействие, как на подземные процессы выемки угля, так и на окружающую природную среду на поверхности.

Перераспределение напряжений в массиве горных пород проявляется в следующем:

- в сдвижении массива горных пород и земной поверхности в результате вертикальных и горизонтальных смещений в процессе работы очистных работ по выемке угля в данный момент времени;
- в образовании динамической мульды сдвижения подрабатываемого массива горных пород и земной поверхности и её перемещения при движении забоя;
- изменение статического состояния геологической толщи горных пород относительно естественного, проявления в массиве горных пород статических зон растяжения и сжатия.

В результате многочисленных инструментальных наблюдений в различных условиях установлены закономерности сдвижений массива горных пород. Эти процессы принято характеризовать динамической мульдой сдвижения. Впервые эти процессы описал Петрук Е.Г. [1] при непрерывном перемещении очистного забоя и характеризовал динамическую мульду сдвижения как подработанный массив горных пород, который при перемещении очистного забоя разделяется на участки с одновременными, но различными деформациями: растяжения и сжатия. Динамическая мульда возникает только при движении очистного забоя при этом зоны растяжения и сжатия разделены точкой перегиба. Об этом можно судить по скоростям развития деформаций растяжения на земной поверхности в динамической мульде. Так, конечная скорость деформаций растяжения в несколько раз выше, чем в начале сдвижения. Не смотря на разный характер напряжения и разную величину скорости деформаций, можно определить среднюю скорость развития деформаций по плоскости сдвижения от поверхности до забоя. Используя данные об общей продолжительности сдвижения при различных глубинах разработки, приведенные в "Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях" [2], Четверик М.С. и др. [3] выдвинул предположение, что приведенные скорости развития деформаций в горном массиве по плоскости сдвижения носят приближённые значения. Для конкретных условий подрабатываемой геологической толщи необходимо соответствующее определение скорости развития

деформаций, которое может быть установлено на основании инструментальных наблюдений.

На основании этих предположений, результатов натурных наблюдений и данных нормативного документа [2] было принято решение о проведении аналитических исследований процесса сдвижения массива горных пород.

В таблице 1 приведены скорости развития деформаций и продолжительность процесса деформаций для конкретных скоростей подвигания очистного забоя и глубин разработки [2]. Предельная глубина разработки составляет 1000 м, а самая высокая скорость подвигания очистного забоя равна 70 м/месяц. Поэтому воспользоваться этими данными для определения продолжительности процесса сдвижений на больших глубинах и значительных скоростях подвигания очистных забоев не представляется возможным.

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования скорости развития деформаций в горном массиве

Глубина разработки, м.	Продолжительность процесса сдвижений, мес.		
	Скорость развития деформаций по плоскости сдвижения, м/сутки		
	Скорость подвигания очистного забоя, м/мес.		
	30	50	70
100	5/2	4/2,5	3/3,3
300	13/2,3	8/3,8	6/5
500	22/2,3	18/2,8	10/5
700	30/2,3	19/3,7	13/5,4
1000	44/2,3	20/5	19/5,3

Исходя из этого, логичным является решение о прогнозе смещений на основании имеющихся данных [2] для глубин более 1000 м и скоростей подвигания очистного забоя более 70 м/мес.

Были проанализированы наиболее известные методы обработки данных - обработка результатов наблюдений в форме построения графиков, а также установления эмпирических зависимостей численными методами. Установлено что, основным недостатком известных методов восстановления зависимостей является низкая помехозащищенность, обусловленная использованием одного внутреннего критерия точности при отсутствии внешних критериев. Поэтому при применении этих методов для обработки различных данных результирующие зависимости имеют невысокую точность.

В отличие от существующих методов восстановления зависимостей, использующих детерминированные опорные полиномы, метод группового учета аргументов (МГУА) основан на принципах самоорганизации сложных систем [4], согласно которым с усложнением структуры модели значение внешнего критерия проходит через минимум, где устанавливается модель оптимальной сложности и максимальной точности. Нахождение минимума критерия осуществляется с помощью математической индукции путем целенаправ-

ленного перебора различных вариантов.

Поэтому было принято решение производить обработку массива данных при помощи МГУА. В результате обработки была получена эмпирическая зависимость скорости деформаций от глубины разработки, скорости подвигания очистного забоя и продолжительности процесса сдвижений (1). Причём, относительная ошибка в поле исходных данных для этой зависимости составляет менее 10%, что является очень высокой точностью для решения задач в горном деле.

$$V_{\delta} = -6,3 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\delta}^3 - 0,004 \cdot t_{\delta} + 1,110^{-5} \cdot v_{oz}^3 - 0,0002 \cdot v_{oz}^2 + 0,0014 \cdot H_p + 1,6 \quad (1)$$

где  $V_{\delta}$  – скорость развития деформаций по плоскости сдвижения, м/сут.;  $v_{oz}$  – скорость подвигания очистного забоя, м/мес. ( $30 < v_{oz} < 150$ );  $H_p$  – глубина разработки, м ( $300 < H_p < 1500$ );  $t_{\delta}$  – продолжительность процесса сдвижений, мес. ( $0 < t_{\delta} < 250$ ).

Для проверки достоверности полученной зависимости были использованы данные о состоянии жилого здания находящегося под воздействием процесса сдвижений массива горных пород на территории горного отвода АП «Шахта им. А.Ф.Засядько». Согласно этим данным жилой дом находился в динамическом состоянии на протяжении 22 лет. Кроме того, угол наклона здания относительно вертикальной оси в разные периоды времени отличался противоположным направлением наклона. Введя необходимые исходные данные для этого жилого объекта в полученную зависимость, было установлено, что первый период динамического состояния объекта соответствует процессу активизации сдвижений массива горных пород под жилым зданием, а второй период соответствует затуханию процесса сдвижений. Кроме того, переход от процесса активизации сдвижений к процессу затухания сдвижений приурочен ко времени изменения угла наклона здания относительно вертикальной оси.

Проведенные аналитические исследования подтверждают наличие ускорения процессов сдвижения массива горных пород вследствие ведения очистных работ.

Очевидно, что проблему сдвижения массива горных пород, особенно при ведении очистных работ на больших глубинах и при больших скоростях подвигания забоев, необходимо решать с использованием комплексного подхода. При этом следует учитывать все факторы, влияющие на состояние массива горных пород.

Дальнейшее повышение производительности очистных забоев на пологих пластах с неустойчивыми кровлями сдерживается недостаточной изученностью взаимосвязи горно-геологических и горнотехнических факторов с процессами, происходящими в системе "крепь-порода". Анализ результатов наблюдений за проявлением горного давления в очистных забоях затруднителен тем, что из многообразия факторов, влияющих на смещения кровли, дефор-

мацию горных пород и давление их на крепь, практически невозможно выделить влияние отдельных факторов [5]. Все имеющиеся наблюдения и замеры сдвижений и деформаций пород в основном относятся к непосредственной кровле, так как изучение процессов и механики сдвижений всей толщи пород, принимающей участие в формировании проявлений горного давления, затруднительно.

В настоящее время проблема повышения эффективности работы механизированных комплексов на пологих тонких и средней мощности пластах в сложных горно-геологических и горнотехнических является актуальной отраслевой задачей. Этим обусловлено решение о проведении шахтного эксперимента в высокопроизводительном очистном забое на большой глубине в сложных горно-геологических условиях.

Анализ горнотехнической литературы показал, что ранее проведенными исследованиями были установлены закономерности ускорения геомеханических процессов в горном массиве, заключающиеся в изменении скорости конвергенции вмещающих пород при выполнении процессов очистного цикла [6, 7]. Однако эти исследования не предусматривали фиксирование скорости конвергенции на каждой секции крепи. Кроме того, во время инструментальных наблюдений в лаве не была обеспечена непрерывная фиксация показаний измерительной стойки при передвижке секций механизированной крепи. Выводы, сделанные после обработки шахтных наблюдений, базируются на интерполяции значений конвергенции пород до передвижки секции крепи после установки измерительной стойки в новое положение.

Кроме того, ранее проведенными исследованиями было выявлено, что активное влияние технологических процессов выемки угля и передвижке механизированной крепи распространяется на участке длиной 19-22 м, в том числе 14-17 м впереди от места передвижения механизированной крепи и 4-5 м позади от него [8].

Анализ выполненных ранее исследований обусловил необходимость уточнения величин зон влияния технологических операций по выемке угля комбайном и передвижке механизированной крепи при подходе к фиксированной точке в очистном забое и при удалении от неё этих технологических операций.

Таким образом, объективно возникла необходимость в дополнительных научных исследованиях, направленных на уточнение закономерностей ускорения конвергенции боковых пород вдоль очистного забоя, имеющего высокую скорость подвигания на больших глубинах, и разработку требований к технологии управления кровей.

Местом проведения инструментальных исследований принята 17 восточная лава пл.  $m_3$  АП "Шахта им. А.Ф. Засядько". Выбор объекта исследования обусловлен особенностями горно-геологических условий залегания пласта  $m_3$ , которые являются наиболее общими для Донецкого угольного бассейна.

Пласт  $m_3$  "Александровский" имеет сложное строение и представлен двумя пачками. Геологическая мощность пласта колеблется в пределах 1,51–2,10 м, полезная мощность составляет 1,48–2,05 м. Залегание пласта пологое.

Непосредственная кровля представлена трещиноватым неустойчивым аргиллитом категории Б<sub>3</sub>-Б<sub>1</sub> по классификации ДонУГИ, мощностью до 14 м. Основная кровля – алевролит мощностью 3,0–15,1 м, выше – песчаник мощностью 10-15 м.

Непосредственная почва - алевролитистый аргиллит средней крепости, склонный к сильному пучению, особенно при увлажнении.

Наблюдения в 17-й восточной лаве пласта *m*<sub>3</sub> проводились регулярно с 1 декабря 2004 г. по 30 июня 2005 года. При этом было исследовано 60 циклов выемки угля комбайном и передвижки секций механизированной крепи. Общая продолжительность наблюдений составила 30 рабочих смен, или около 180 часов. Подвигание лавы за период наблюдений составило 1000 м; было зафиксировано 16 посадок основной кровли.

Для измерения конвергенции вмещающих пород использовалась стойка СУИ-П с индикатором часового типа ИЧТ-0,01, установленная между секциями механизированной крепи (рис. 1).

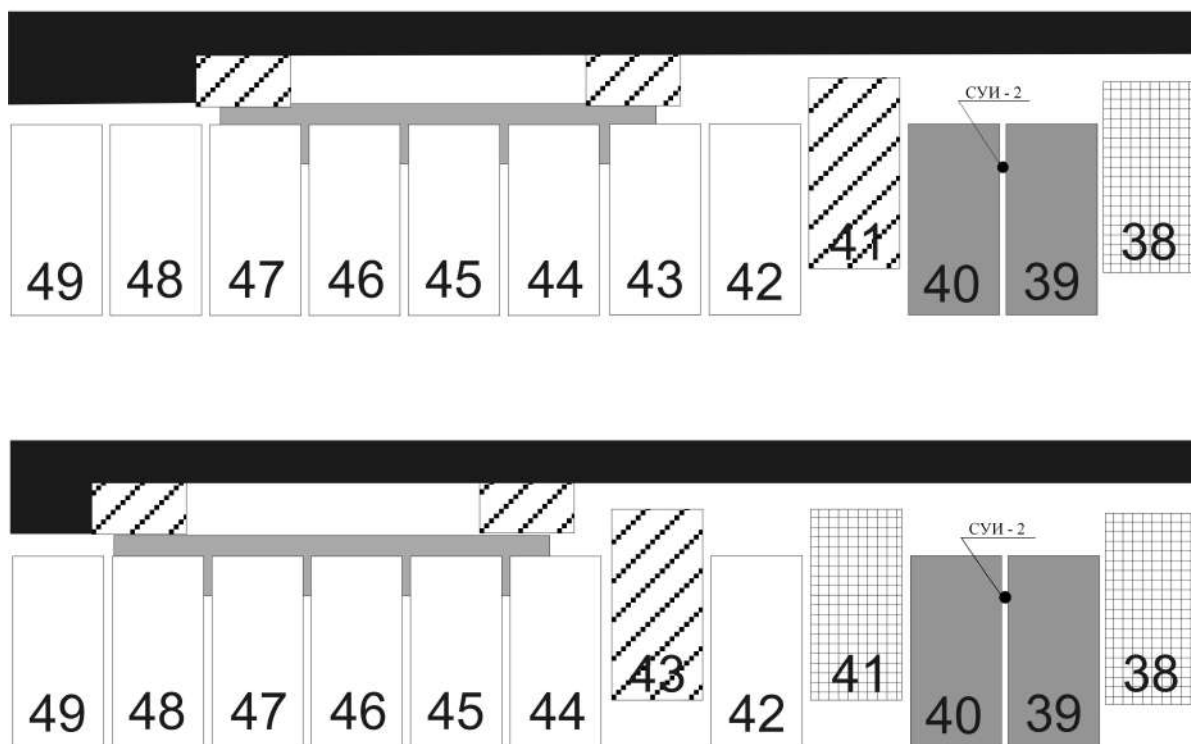


Рис. 1 – Схема замерной станции

Хронометраж продолжительности производственных операций выполнятся с помощью секундомера. При этом показания приборов впервые фиксировались вербально через микрофон, установленный в противопылевом респираторе наблюдателя, на портативный магнитофон. Данные, записанные на магнитофон, расшифровывались и заносились в специальные формуляры. Такой метод наблюдений позволил одновременно фиксировать не только показания приборов и секундомера, но и получить объективное вербальное описа-

ние технологических операций в очистном забое [9].

По результатам шахтных наблюдений построены графики конвергенции вмещающих пород (рис. 2).

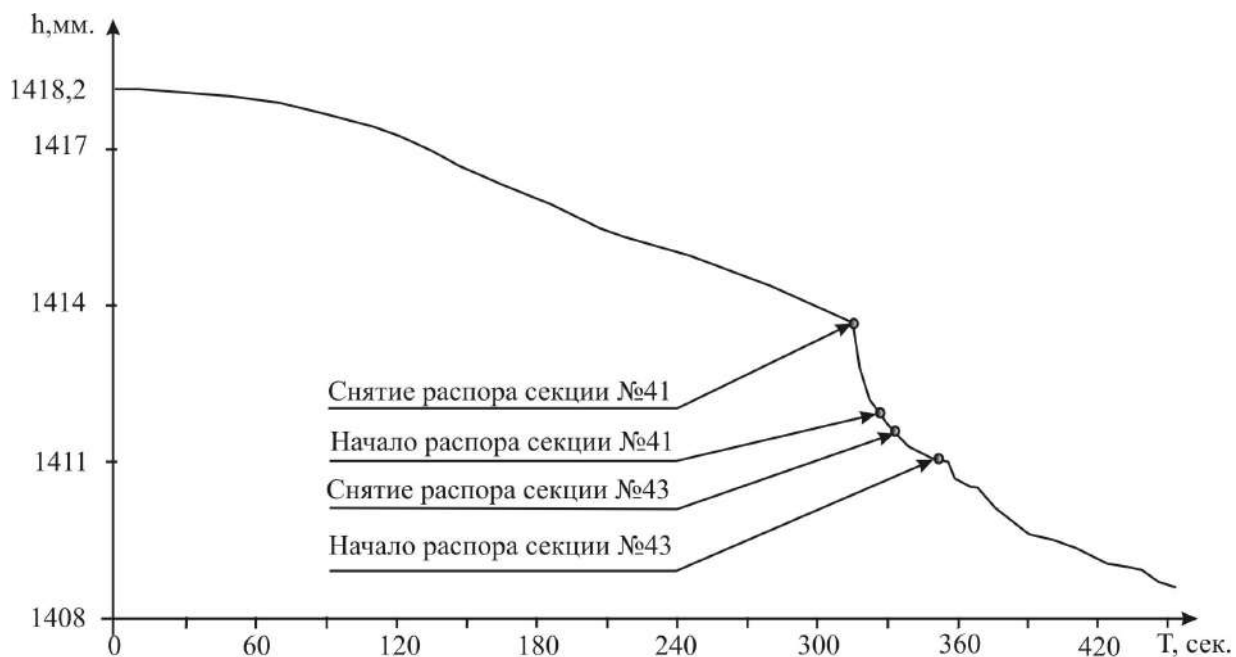


Рис. 2 – График конвергенции пород

Установлено что, до подхода технологических операций к фиксированной точке очистного забоя интенсивность конвергенции не велика, а смещения горных пород находится в пределах 1 мм. Поэтому ускорение конвергенции на этом участке незначительное, а, следовательно, процессы выемки угля комбайном и передвижки секций крепи оказывают одинаковое влияние на интенсивность геомеханических процессов в горном массиве [10]. Результаты замеров обработаны при помощи метода группового учёта аргумента и получены зависимости конвергенции пород во времени для каждого замера. В дальнейшем, продифференцировав полученные зависимости, были вычислены значения скорости конвергенции (рис. 3)

Из графиков (рис. 2 и рис. 3) видно, что при переходе технологических операций по выемке угля комбайном и передвижке секций механизированных крепи, на графиках 315 секунда, фиксированной точки очистного забоя интенсивность сдвижений увеличивается. Рост интенсивности сдвижений продолжается при отходе операции выемки угля от фиксированной точки. Это увеличение конвергенции обусловлено процессом выемки угля комбайном. Максимальная интенсивность смещений достигается при снятии распора с первой передвигаемой секции расположенной в сторону удаления технологических операций по передвижке секций механизированной крепи от фиксированной точки очистного забоя. Дальнейшее отдаление технологических операций от фиксированной точки в очистном забое сопровождается снижением интенсивности смещений вмещающих пород до минимального значения.

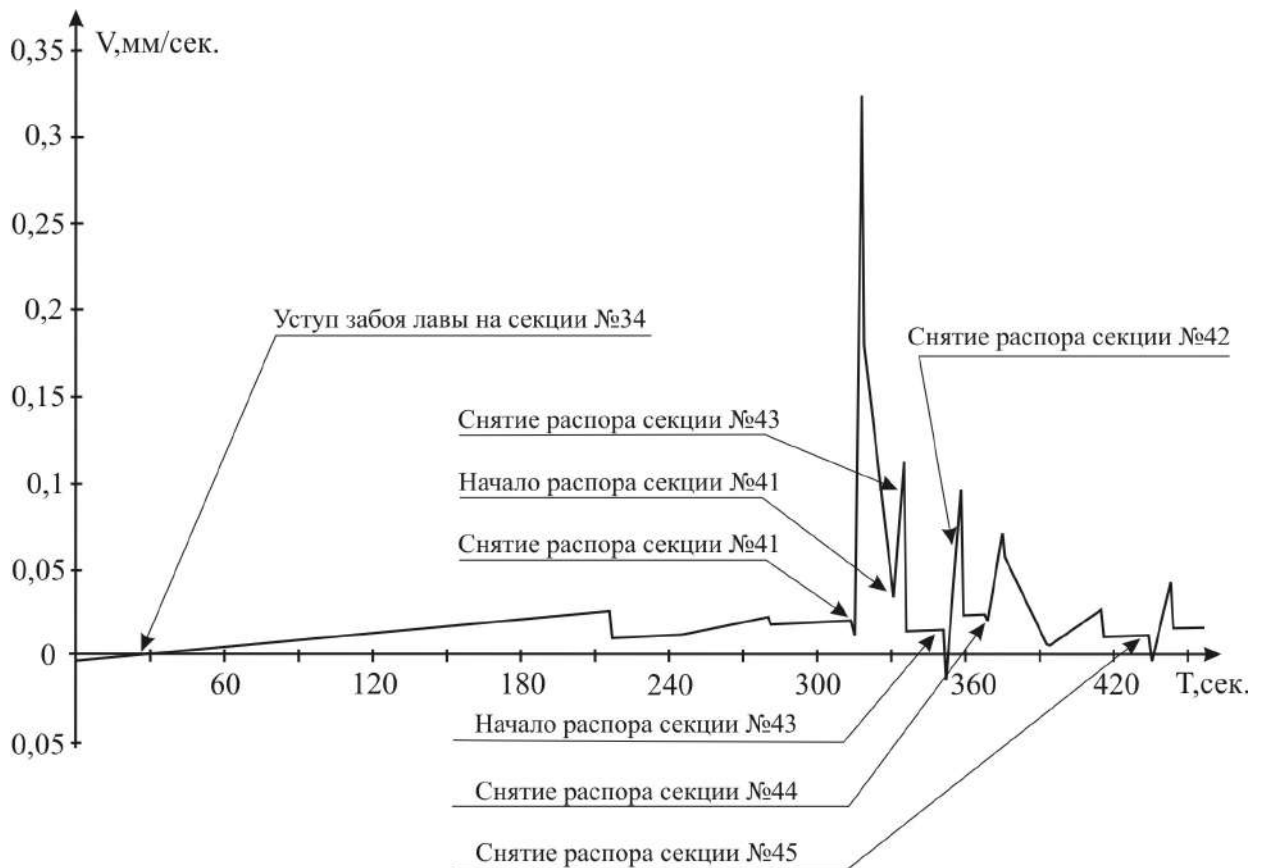


Рис 3. – График зависимости скорости конвергенции во времени

На следующем этапе были выделены характерные участки, для которых вычислялись значения ускорения конвергенции. График ускорения конвергенции на характерных участках для одного из замеров приведен на рисунке 4.

На графике видно, что до начала передвижки секций механизированной крепи ускорение конвергенции близко к нулю. Однако, передвижка секций находящихся в сторону удаления технологических операций, обуславливает резкий рост ускорения конвергенции вмещающих пород. Кроме того, смещение кривой ускорения конвергенции в область отрицательных значений оси ординат указывает на изменение напряжённо деформированного состояния массива горных пород. Процессы сжатия и растяжения чередуются.

Анализ материалов замера позволили зафиксировать раздельное влияние процессов выемки угля комбайном и передвижки механизированной крепи на интенсивность смещений при отходе от фиксированной точки в очистном забое. Причём, процесс передвижки механизированной крепи на 10 % больше влияет на интенсивность смещений, чем процесс выемки угля комбайном. Кроме того, после обработки данных замеров установлено, что для таких горно-геологических и горнотехнических условий отработки способ передвижки механизированной крепи в шахматном порядке более эффективный, чем последовательный порядок передвижки секций.



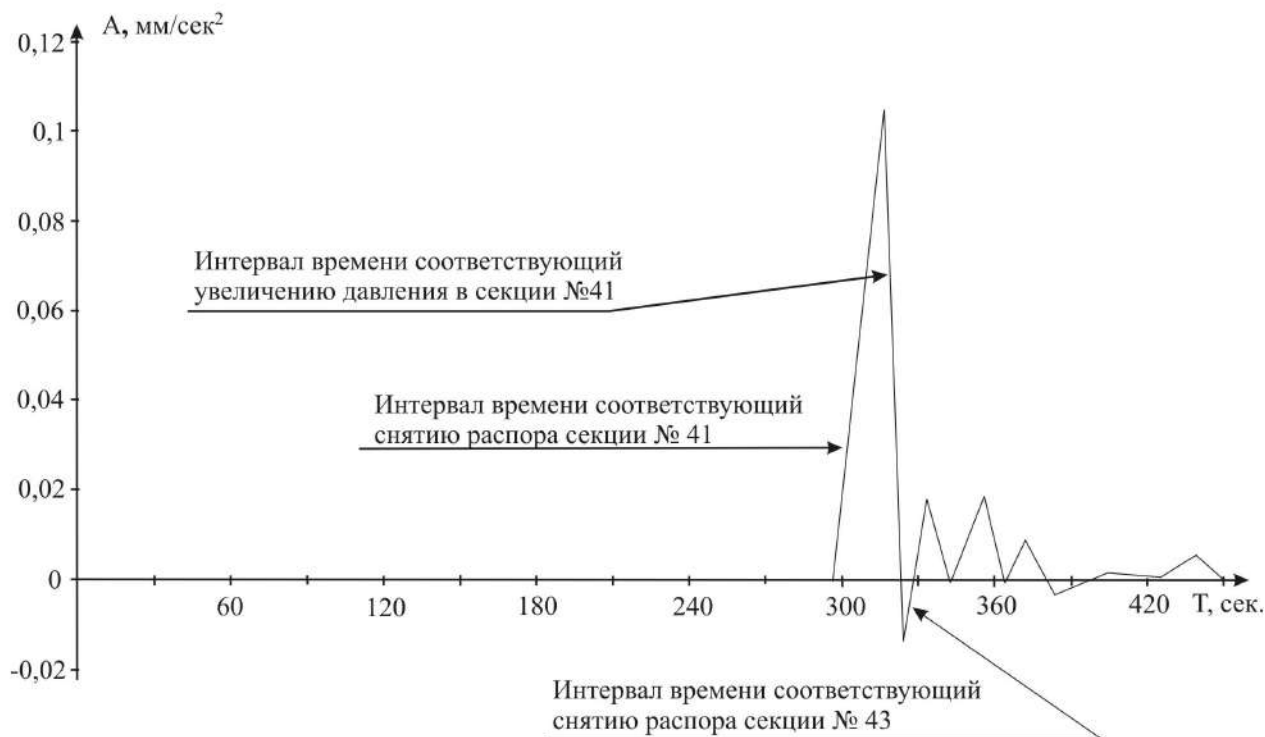


Рис. 4 – График ускорения конвергенции по характерным отрезкам

Проведенные исследования позволили сделать выводы:

1. Впервые установлена эмпирическая зависимость скорости развития деформаций от глубины разработки, скорости подвигания очистного забоя и продолжительности процесса сдвижений (ошибка во поле исходных данных менее 10%).

2. Скорость развития деформаций по плоскости сдвижения не одинакова на протяжении всего периода сдвижений, т.е. сдвижения в горном массиве происходят с ускорением (замедлением) в разные периоды времени.

3. С увеличением глубины отработки пласта и скорости подвигания очистного забоя увеличивается общая продолжительность процесса сдвижений.

4. Установлено, что интенсивность конвергенции вмещающих пород зависит от технологических операций в комплексно-механизированных очистных забоях, при этом до выполнения операций выемки угля комбайном и передвижки секций крепи их влияние на интенсивность конвергенции пород составляет 10%, а 90% смещений происходит после выполнения этих операций на участке длиной около 20 м.

5. Установлено, что до приближения технологических операций к фиксированной точке очистного забоя их влияние на интенсивность конвергенции пород в этой точке равновелико, а после прохождения фиксированной точки влияние передвижки крепи на 10% превышает влияние выемки угля комбайном.

6. Установлено, что при выполнении технологических операций по выемке угля и передвижке механизированной крепи напряжения сжатия и растяжения в массиве горных пород чередуются вдоль очистного забоя.

7. Знакопеременность ускорения процесса развития деформации обуславливает процессы расслоения и уплотнения горного массива при ведении очистных работ.

8. На больших глубинах отработки при высоких скоростях подвигания очистного забоя передвижка секций механизированной крепи в шахматном порядке оказывает меньшее влияние на интенсивность конвергенции вмещающих пород, чем последовательная передвижка секций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрук Б.Г. Управление деформационными процессами в динамической мульде сдвижения при подземной разработке пологих угольных пластов: Автореф. дис... д-ра техн. наук. - Днепропетровск, 1994. – 38 с.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях. Утв. Минуглепром СССР. М.: Недра, 1981. – 288 с.
3. Теория сдвижений массива горных пород и управление деформационными процессами при подземной выемке угля / Четверик М.С. Андросук Е.В. – Днепропетровск: РИА "Днепр-VAL", 2004. – 148 с.
4. Антипов И.В., Шкуматов А.Н. Моделирование производственных процессов методом группового учета аргументов // Проблемы экологии. - Общегосударственный научно-технический журнал, 2000. – N 1. – С. 5-9
5. Филимонов П.Є. Обґрунтування довжини і раціональних режимів кріплення кінцевих ділянок лав: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.02 / Інститут фізики гірничих процесів. – Донецьк, 2004. – 20 с.
7. Антипов И.В., Кравченко В.Е., Щербинин Д.В. Шахтные исследования конвергенции вмещающих пород // Уголь Украины. – 2000. – № 10. – С. 24-27.
8. Ляшок Я.О. Розробка способу запобігання вивалів порід покрівлі в лавах пологих пластів при вийманні вугілля механізованими комплексами: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / Донецький держ. технічний ун-т. - Донецьк, 2000. – 23 с.
9. Антипов И.В., Савенко А.В., Сухаревский Э.Ю. Комплексные натурные исследования в 17-й восточной лаве пласта  $m_3$  АП "Шахта им. А.Ф.Засядько" // Проблеми гірського тиску: Зб. наук. праць - Вип. 13 – Донецьк: Донецький національний технічний університет – 2005. – С. 213-222.
10. Савенко А. В. Шахтные исследования конвергенции вмещающих пород в действующих очистных забоях // Физико-технические проблемы горного производства: Зб. наук. праць. – Вип. 8. – Донецьк: Інститут фізики гірничих процесів НАН України, – 2005. – С. 164-170.