

А.Б. Олексюк, С.Н. Гапеев

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ИХ КОМПЛЕКСНОМ ИССЛЕДОВАНИИ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

Наведено результати комплексного дослідження стану капітальних похилих виробок шахти ім. В.М. Бажанова ДП «Макіїввугілля». Дослідження склалися з вимірювань на дослідних станціях та експертної оцінки за показником стійкості. Виконано порівняння результатів спостережень для двох виробок.

Представлены результаты комплексного исследования состояния капитальных наклонных выработок шахты им. В.М. Бажанова ГП «Макеевуголь». Исследования включали измерения на замерных станциях и экспертную оценку по величине показателя устойчивости. Выполнено сравнение результатов наблюдений для двух выработок.

Article contains the results of a comprehensive study of mine working condition in the Coalmine named V.M. Bazhanov. Studies included observations at measuring stations and expert estimation on the value index of stability. The studies results in the two works are compared.

**Введение.** Опыт ведения горных работ на шахте им. В.М. Бажанова показывает, что применение мер охраны и поддержания капитальных выработок не снимает задачи обеспечения их устойчивости: наблюдается пучение пород почвы, деформации крепи. Это требует проведения неоднократных подрывок вспученных пород, ремонтов деформированных элементов крепи с использованием на этих работах значительных людских, материальных и финансовых ресурсов.

Помимо поддержания в эксплуатационном состоянии протяженных участков выработок стоит задача обеспечения устойчивости сопряжений капитальных уклонов и магистралей с участковыми подготовительными выработками. Часто такие сопряжения, находясь в состоянии, требующем ремонта, являются источником проблем с транспортом и вентиляцией на добычных участках. Учитывая, что поддерживаемых сопряжений на шахте достаточно большое количество, эта задача является особенно актуальной.

Разработка и применение любых мероприятий по обеспечению эксплуатационного состояния выработок и их сопряжений должны основываться на фактических данных о состоянии объектов и на адекватных моделях процессов, происходящих в их окрестности в породном массиве. Причем, чем более разнообразны данные используются для анализа, тем точнее будет выбор соответствующих мероприятий по обеспечению устойчивости объектов. В связи с этим в капитальных выработках шахты им. В.М. Бажанова были проведены комплексные исследования.

**Состояние вопроса.** Наблюдения проводились в двух выработках – Центральном вспомогательном уклоне (ЦВУ) и в Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ). Интерес эти выработки представляют в первую очередь тем, что эксплуатируются в очень похожих условиях (заложены в поле отработанной 2-й центральной лавы гор. 1100 м), по опыту эксплуатации имеют различную устойчивость.

Первичные данные о проявлениях геомеханических процессов, наблюдаемых на замерных станциях ЦВУ в течение первого месяца наблюдений, представлены в [1].

**Целью настоящей статьи** является изложение методики и анализ результатов комплексного исследования ЦВУ и ЦВМ, включающего проведение замеров смещений на контурных реперных станциях, установленных в выработках, и оценку их общего состояния по величине показателя устойчивости  $\omega$ .

**Основная часть.** Замерные станции были развернуты в ЦВМ и ЦВУ гор. 1100 м уклонного поля. Выбор именно этих выработок характеризовался следующими причинами:

- значительная важность объектов для развития горных работ на шахте;
- характерность условий проведения выработок и их эксплуатации, что позволяет рассматривать их как представительные объекты для наблюдений.

Обе выработки пройдены в поле ранее отработанной 2-й центральной лавы, однако расположены в пространстве относительно почвы пласта по-разному (рис. 1).

Для проведения наблюдений в выработках оборудовались замерные станции, по три на каждую выработку. Каждая такая станция состояла из трех замерных пунктов, установленных в выработке на расстоянии друг от друга, равном 4,0-4,2 м. В свою очередь, каждый замерный пункт представлял собой совокупность четырех комплектов реперов, разнесенных в пространстве на шаг установки двух рам крепи, т.е. 1,4 м. Таким образом, длина одного замерного пункта – 4,2 м; длина замерной станции, с учетом расстояний между замерными пунктами – 20,0-21,0 м, т.е. один пикет.

С учетом того, что расстояние между замерными станциями (ЗС) по длине составляло 20,0 м (один пикет), то общая длина каждого контрольного участка составляла 100 м. ЗС закладывались на достаточном удалении от сопряжений (1,5-2,0 пикета).

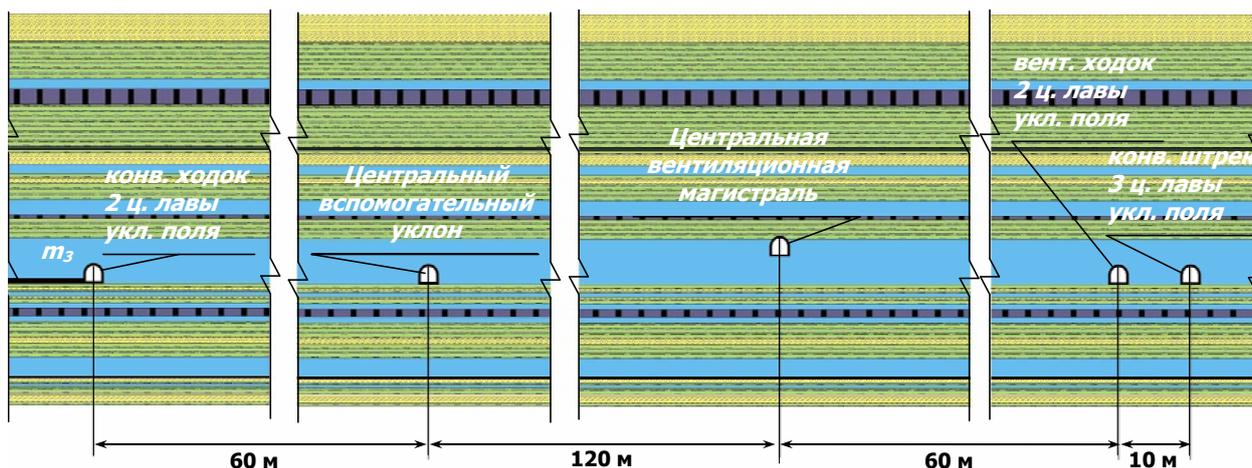


Рис. 1. Схема расположения объектов исследований в пространстве относительно почвы пласта

Измерения на замерных станциях производились на контурных реперах. На каждом замерном пункте устанавливалось по три репера – один в кровле по вертикальной оси выработки и два в боках, на высоте 1,0 м от ее почвы. Каждый репер представлял собой шпур длиной 1,0 м, пробуренный из выработки между комплектными рамами крепи, в котором при помощи цементно-песчаного раствора закреплялись металлические штыри, выходящие одним концом в выработку. В месте установки реперов межрамное пространство закрывалось сетчатой затяжкой. Конец репера, выходящий в выработку, выполнялся в виде крюка, что позволяло удобно фиксировать шнуры отвеса и условного горизонта. Рамы крепи в месте

устройства реперов устанавливались с максимальным качеством и в соответствии с паспортом крепления.

Для измерений использовались рулетка и легкий строительный уровень длиной 1,5 м, с помощью которого контролировалось положение условного горизонта и направления измерений относительно него.

Изменение высоты выработки контролировалось по трем показателям – общей вертикальной конвергенции  $H$ , высоте от кровли до замерного горизонта  $H_k$  и высоте от почвы до замерного горизонта  $H_n$  (рис. 2). Измерения выполнялись вдоль отвеса, висящего вертикально.

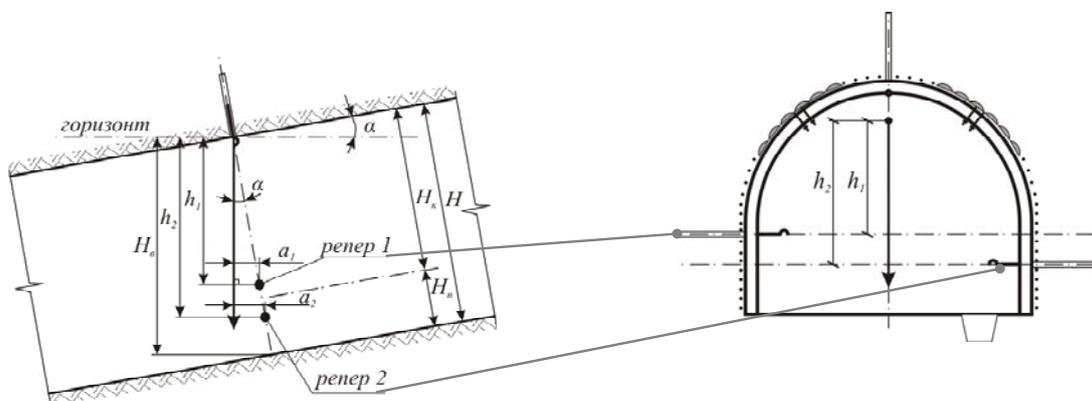


Рис. 2. К порядку пересчета измеряемых параметров

Полученные при этом величины пересчитывались для оценки контролируемых показателей в направлении, перпендикулярном поверхности почвы (рис. 2), по следующим формулам:

$$H = \frac{H_n}{\sin \alpha}; \quad H_k = \frac{h_1 + h_2}{2 \cdot \sin \alpha}; \quad H_n = H - H_k,$$

где  $\alpha$  – угол наклона выработки;  $h_1, h_2$  – расстояние от верхнего репера до замерного горизонта, установленного относительно репера 1 и репера 2 соответственно (рис. 2).

В качестве итогового значения контролируемых величин по каждой замерной станции принимались средние значения из измеренных по трем замерным пунктам. Наблюдения велись в течение шести месяцев, частота замеров – один раз в неделю.

В тот же период велось и визуальное обследование, в ходе которого контролировалось общее состояние выработки, наличие и степень нарушения элементов крепи, проявление пучения пород почвы, влажность в выработке. Состояние выработок оценивалось относительным показателем устойчивости, который определяется как отношение количества рам

крепи, находящихся в неудовлетворительном состоянии, к общему количеству рам на оцениваемом участке, т.е.

$$\omega = \frac{N_0 - N}{N_0},$$

где  $N_0$  – общее количество рам крепи на участке, шт.;  $N$  – количество рам крепи, находящихся в неудовлетворительном состоянии, шт.

К рамам в неудовлетворительном состоянии относились те рамы, где отслеживались не менее двух следующих дефектов:

- значительные деформации верхняка;
- деформации стоек;
- деформации или разрыв замков, срыв гаек на замках;
- значительные деформации сетчатых затяжек;
- разрушение деревянных затяжек в кровле;
- просадка верхняка в замках свыше паспортного значения;
- разрывы тела верхняков и стоек.

Состояние сопряжений в обследуемых выработках оценивалось по тем же параметрам, только решающими были нарушения крепи.

Горное давление в ЦВУ проявлялось в основном в виде срабатывания замковых соединений, деформаций элементов крепи (чаще всего – верхняков и затяжек в кровле и верхней части стоек в районе замковых соединений), сопровождающиеся, как правило, деформациями или разрушением затяжек. На достаточно большой протяженности выработки имело место визуально определяемое пучение пород почвы (искажение профиля почвы, продольные трещины), однако величина его на момент обследования не превышала 15-20 см.

На сопряжениях имеют место нарушения крепи в виде деформаций верхняков и частично стоек. На небольшой глубине (относительно транспортного горизонта) значительных разрушений крепи не обнаружено. На сопряжениях ниже 900 м зафиксированы значительная просадка в замках до 40 см, деформации элементов рам и затяжек, некоторая часть которых в кровле требует замены, так как значительно разрушена и перестает выполнять свои функции. При этом частота установки рам на сопряжении увеличена до 2 рам/м, начиная с расстояния в 5,0 м до и заканчивая 5,0 м после участка сопряжения.

Величина относительного показателя устойчивости  $\omega$  на всех обследованных участках не принимала значений выше 0,7, а в районе сопряжений – не выше 0,31. В целом состояние выработки на момент обследования можно признать удовлетворительным. С уходом на большую глубину заложения общее состояние выработки ухудшается, интенсивность проявлений горного давления возрастает.

Визуальное обследование ЦВМ показало, что и в этой выработке, также, как и в ЦВУ, основными проявлениями горного давления являются деформации

верхняков рам крепи, деформации вплоть до разрушения затяжек; деформации и разрыв хомутов; пучение горных пород.

В районе сопряжений также крепь устанавливалась с меньшим шагом (0,5 м). Крепь на трех обследованных сопряжениях деформирована, разрушения тела элементов крепи наблюдаются на более глубоком сопряжении (ПК58), разрывов замков не зафиксировано. Вместе с тем, значительное количество затяжек как в кровле, так и в боках имеют нарушения, с противоположной стороны от устья примыкающих выработок замки сработаны на 35-40 см, прогнуты планки замков, нет некоторых гаек.

Проявления пучения пород почвы имеют место на всем протяжении обследованных участков ЦВМ, величина поднятия почвы на момент обследования составила от 0,1 до 0,3 м. Участки сопряжений также подвержены пучению.

Величина относительного показателя устойчивости  $\omega$  на всех обследованных участках не принимала значений выше 0,55, а на участке сопряжений принимала одни из самых низких значений – 0,27-0,28.

Общее состояние выработки значительно хуже, чем ЦВУ – деформированных участков больше, проявления горного давления при прочих равных условиях интенсивнее, встречаются участки с неудовлетворительным состоянием, в основном за счет разрушения затяжек, пучения, деформаций верхняков и нарушений в замках. Стойки во всех случаях имеют деформации значительно меньшие по сравнению с верхняком.

В целом состояние обследованной выработки следует признать плохим, сопряжения также в неудовлетворительном состоянии. С увеличением глубины ее состояние еще более ухудшается.

Результаты натуральных измерений на контурных замерных станциях в Центральном вспомогательном уклоне и Центральной вентиляционной магистрали представлены на графиках на рис. 3-6.

Анализ представленных графиков показывает следующее. В целом развитие смещений в ЦВУ, как горизонтальных, так и вертикальных, имеет тенденцию к стабилизации примерно после 80-120 суток наблюдений (см. рис. 3, 4). Общая интенсивность геомеханических процессов, фиксируемых на замерных станциях, повышается с увеличением глубины заложения станций.

Максимальная горизонтальная конвергенция в ЦВУ измерена на замерной станции ЗС-3 и достигает свыше 40,5 см на 182-е сутки наблюдений.

Минимальная горизонтальная конвергенция (станция ЗС-1) не превышает 25,0 см. Таким образом, смещения контура в горизонтальном направлении, измеренные в ЦВУ, сравнительно невелики.

Зависимости на рис. 3, отражающие картину развития горизонтальной конвергенции, с корреляцией 0,95-0,97 аппроксимируются экспоненциальными функциями вида

$$U_x = a \cdot (1 - e^{-bT}). \quad (1)$$

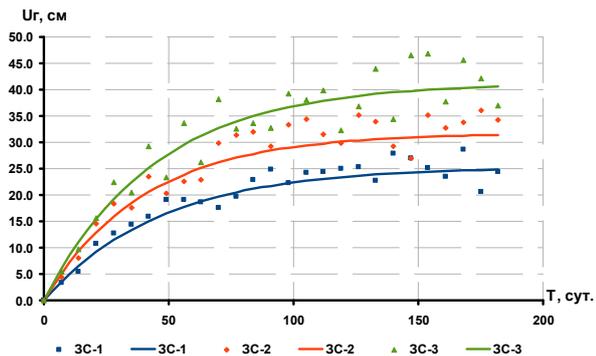


Рис. 3. Горизонтальные смещения, измеренные в ЦВУ на трех замерных станциях (ЗС-1, ЗС-2, ЗС-3)

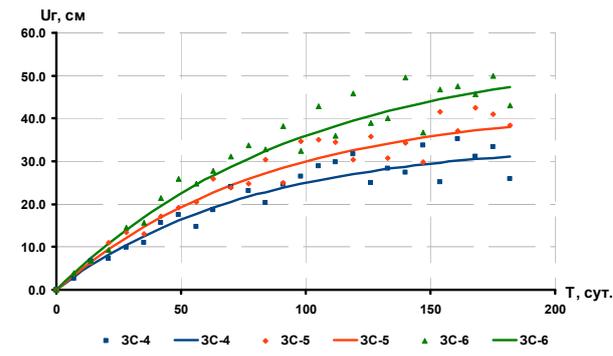


Рис. 5. Горизонтальные смещения, измеренные в ЦВМ на трех замерных станциях (ЗС-4, ЗС-5, ЗС-6)

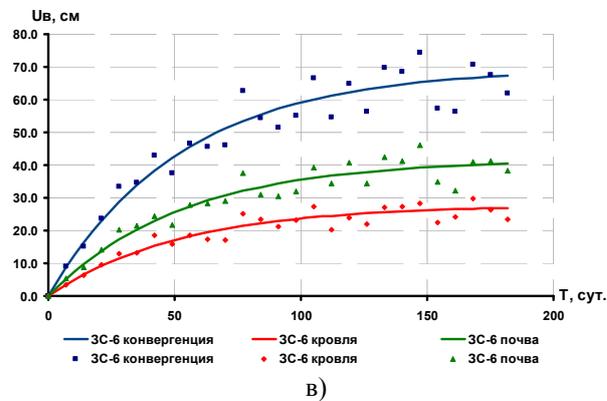
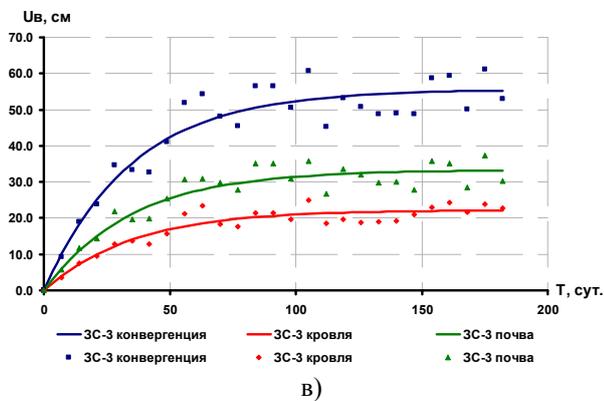
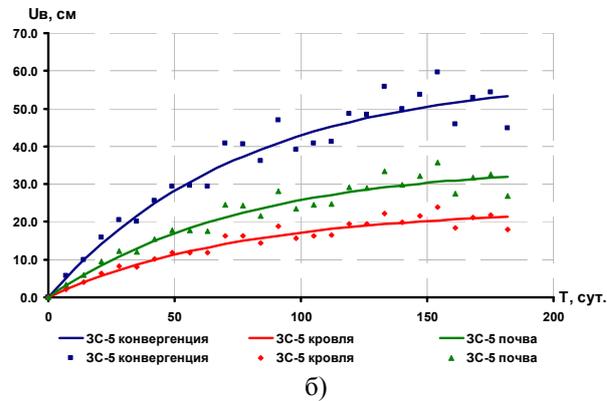
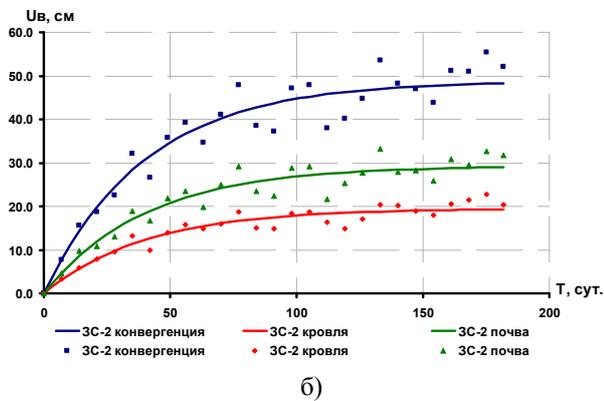
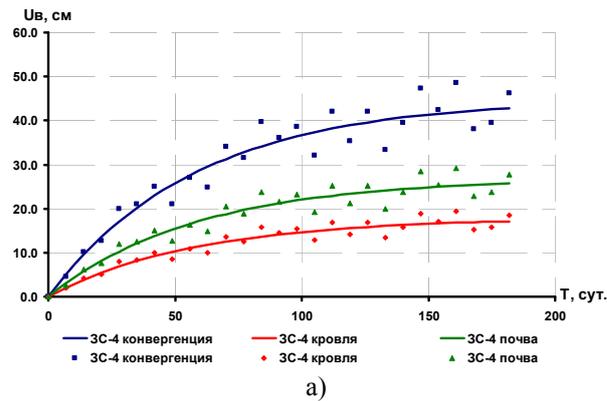
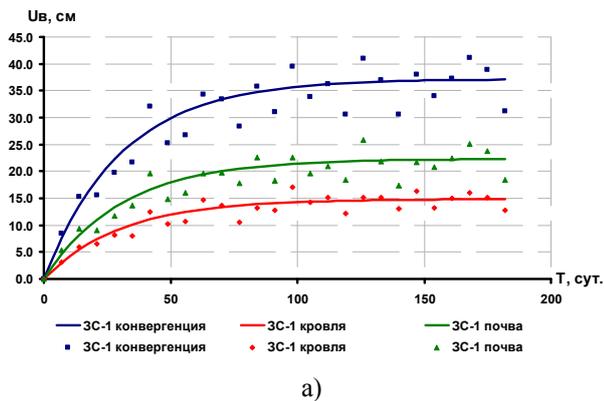


Рис. 4. Вертикальные смещения, измеренные в ЦВУ на замерных станциях: а – ЗС-1; б – ЗС-2; в – ЗС-3

Рис. 6. Вертикальные смещения, измеренные в ЦВМ на замерных станциях: а – ЗС-4; б – ЗС-5; в – ЗС-6

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  различны для каждого из представленных графиков.

Величины вертикальной конвергенции в ЦВУ показывают те же тенденции, что и горизонтальные смещения – с глубиной интенсивность возрастает, после определенного времени наблюдений имеет место тенденция к стабилизации смещений.

Зависимости, представленные на рис. 4, с коэффициентом корреляции 0,94–0,96 также описываются экспоненциальной функцией вида (1).

Максимальные значения, как и для случая горизонтальной конвергенции, имели место на самой глубокой из трех замерных станций – ЗС-3. Здесь значения конвергенции достигают 55,0 см за 182 суток наблюдений (против 37,0 см на ЗС-1). Таким образом, средняя интенсивность смещений за весь период наблюдений составила для ЗС-3 0,3 см/сут. против 0,2 см/сут. для ЗС-1. При этом в первые 84 суток наблюдений были достигнуты от 90 до 94% от максимального значения для разных замерных станций.

Доля смещений со стороны кровли и почвы в общей конвергенции составляет порядка 40 и 60% для всех замерных станций.

Таким образом, в ЦВУ основным видом деформаций контура выработки являются вертикальные смещения, причем основной вклад в общую конвергенцию дают смещения почвы выработки – максимальное значение (для ЗС-3) достигает 33,2 см на 182 сутки наблюдений.

Анализ графиков горизонтальных и вертикальных смещений для ЦВМ (рис. 5, 6) показывает, что в целом интенсивность процессов выше, чем для ЦВУ, характер развития их нельзя назвать затухающим. И для этой выработки увеличение глубины заложения замерных станций подобным же образом влияет на картину геомеханических процессов – она возрастает от замерной станции ЗС-4 к замерной станции ЗС-6.

На 182 сутки наблюдений была достигнута максимальная величина 47,4 см на замерной станции ЗС-6, наиболее глубокой станции для ЦВМ, что на 17% больше, чем для ЦВУ. И это при том, что отметка заложения станции ЗС-6 меньше, чем для станции ЗС-3, наиболее глубокой для ЦВУ. Средняя интенсивность горизонтальной конвергенции для ЗС-6 составила 0,26 против 0,22 см/сут для ЗС-3, т.е. скорость нарастания смещений для обеих выработок отличается незначительно.

Характер развития вертикальной конвергенции также отличается от такового для ЦВУ, хотя тенденция увеличения интенсивности процессов с повышением глубины сохраняется и здесь.

Максимальная величина вертикальной конвергенции составила 67,3 см (станция ЗС-6), минимальная – 42,8 см (станция ЗС-4). Скорость нарастания смещений, средняя за весь период наблюдений, составила от 0,24 до 0,4 см/сут.

На первые 84 сут доля достигнутых смещений составила от 73 до 80% от максимального значения для разных станций. Скорость смещений на указанном промежутке наблюдений достигала от 0,4 см/сут для ЗС-4 до 0,66 см/сут для ЗС-6. При этом за оставшиеся 98 суток скорость несколько снизилась – от 0,09 до 0,12 см/сут, но все же продолжала оставаться значительной, особенно в сравнении со значениями для ЦВУ – от 0,02 до 0,06 см/сут.

Аппроксимация полученных в ходе натурных измерений значений горизонтальной и вертикальной конвергенции по замерным станциям ЗС-4–ЗС-6 хорошо выполняется (с коэффициентом корреляции 0,96–0,97) той же экспоненциальной функцией вида (1).

Доля смещений со стороны почвы также составляет до 60% от общей вертикальной конвергенции и достигает максимального значения 40,4 см для ЗС-6, наименьшее значение для ЦВМ – 25,7 см для ЗС-4.

Таким образом, в ЦВМ основным видом деформаций контура выработки также являются вертикальные смещения, причем основной вклад в общую конвергенцию, как и для ЦВУ, дают смещения почвы выработки – максимальное значение (для ЗС-6) достигает 40,4 см на 182 сутки наблюдений.

## Выводы

Наблюдения на замерных станциях показывают, что в двух в целом похожих выработках – ЦВУ и ЦВМ, находящихся в отличающихся горно-технических условиях, характер проявлений горного давления очень схож – в основном смещения со стороны почвы, а вот их развитие во времени и интенсивность отличаются, делая условия поддержания ЦВУ более благоприятными, несмотря на большую ее протяженность по сравнению с ЦВМ и большую глубину заложения замерной станции ЗС-3.

Полученные результаты будут использованы для обоснования параметров способов обеспечения долговременной устойчивости капитальных наклонных выработок и их сопряжений на шахте им. В.М. Бажанова.

## Список литературы

1. Олексюк А.Б. Результаты натурных наблюдений за состоянием капитальной выработки в условиях шахты им. В.М. Бажанова // Форум гірників – 2009: Матер. міжнар. конф.– Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – С. 187–190.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. А.М. Роєнком 04.02.10*