

УДК 622.837

к.т.н. Ларченко В. Г.,
Куценко О. М.,
Маталкина Ю. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск ЛНР)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ ПОРОД

Разработана конструкция новой автоматизированной станции и методика постоянного мониторинга сдвижений и деформаций подработанных толщ горных пород, земной поверхности или инженерных сооружений.

Ключевые слова: *глубинный и грунтовой реперы, скважина, проволока, блок, шкалы, лазерный указатель направлений, экран, фотокамера, энкодер, магнитная система.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Уголь – единственный энергоноситель и сырье для металлургической промышленности, разведанных запасов которого в Донбассе хватит на несколько столетий. Но около 30% балансовых запасов угля залегают под застроенными территориями, коммуникациями и природными объектами. Для разработки запасов под сооружениями необходимо в каждом случае определять возможность их безопасной подработки и выбирать горные или конструктивные меры охраны с целью обеспечения их безаварийной эксплуатации. Выбор мер охраны производится на основе сопоставления максимальных ожидаемых сдвижений, деформаций земной поверхности и глубины подработки с допустимыми величинами для каждого объекта. Ожидаемые деформации земной поверхности в изученных районах Донбасса с определенной погрешностью можно вычислить по «Правилам подработки...» [1].

При наличии тектонических нарушений, складчатом залегании пластов, в мало изученных районах и при повторных подработках сооружений, деформации земной поверхности определяют натурными наблюдениями. С увеличением глубины горных работ увеличивается область их влияния на земную поверхность, длины

полумульд и общая продолжительность процесса сдвижения, что вызывает увеличение трудоемкости и стоимости маркшейдерских натурных наблюдений.

Для охраны вертикальных стволов, горных выработок, противодействия повышенному горному давлению, для изучения газодинамики и водопритокков в шахту, развитию горной науки необходимо знать конфигурацию и размеры области влияния очистной выработки, зоны сдвижения, стадии деформирования подработанного массива пород и их параметры. Достоверно определить все параметры сдвижений и деформаций подработанной толщи пород можно только комплексными натурными наблюдениями, включающими наблюдения за глубинными реперами, заложенными в горном массиве и маркшейдерские инструментальные наблюдения на земной поверхности. Но ввиду труднодоступности и большой трудоемкости наблюдения в толще пород являются редкими, штучными [2, 3]. Поэтому совершенствование методики натурных наблюдений и их автоматизация являются актуальной практической задачей, которая успешно решается в ДонГТУ.

Постановка задачи.

Задачей исследований является разработка конструкции автоматизированной наблюдательной станции и

методики мониторинга сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности.

Изложение материала и его результаты.

В результате математической и графической обработки выполненных натурных наблюдений установлены максимальные деформации земной поверхности, участки, закономерности и причины их концентрации при пологом залегании свиты угольных пластов [4].

Для мониторинга сдвижений и деформаций подрабатываемого массива горных пород на ожидаемом участке их концентрации рекомендуем заложить современную наблюдательную станцию [5]

(рис. 1), включающую пробуренную с земной поверхности вертикальную скважину до безопасной для очистных работ глубины (в Центральном Донбассе $h_6 \geq 40m$, где m – вынимаемая мощность пласта). В четвертичных отложениях скважина крепится обсадными трубами с бетонированием затрубного пространства. В скважину толкателем (рис. 2.б) устанавливается необходимое количество предложенных и испытанных автором глубинных реперов якорного типа (рис. 2.а) с механической (проволочной) связью. Места установки реперов в скважине выбираются с учетом литологии толщи, результатов гамма-каротажа и кавернометрии.

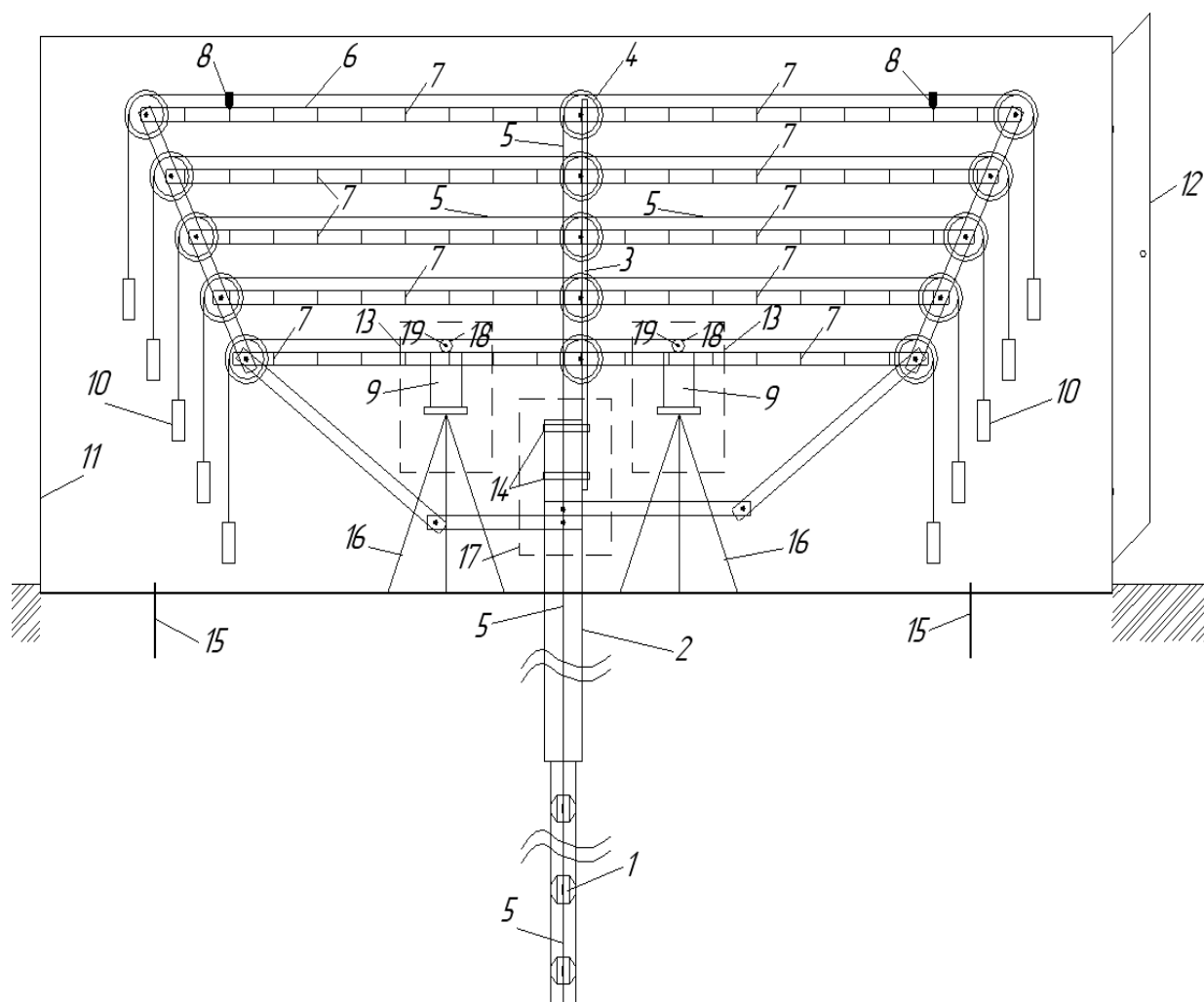


Рисунок 1 – Замерная станция для исследований деформаций подрабатываемой толщи пород

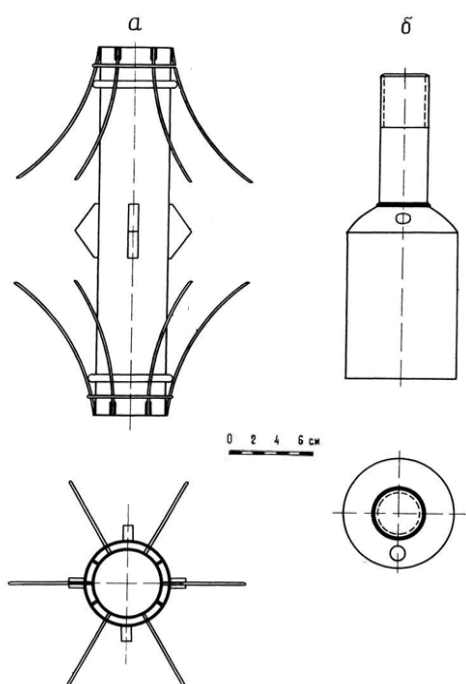


Рисунок 2 - Глубинный репер (а) и толкатель (б) для установки реперов в вертикальные скважины

К обсадной трубе (2) (рис.1) хомутами (14) крепится опорная рама (3) с системой блоков (4) на шарикоподшипниках. Количество блочков на центральной вертикальной опорной раме и на боковых наклонных стойках равно числу глубинных реперов. Наклонные стойки к вертикальной опорной раме крепятся горизонтальными и наклонными планками (уголок из дюрали). Проволоки от глубинных реперов последовательно пропускаются через блочки на вертикальной раме и боковых стойках и натягиваются постоянным грузом 10 (рис. 1). На горизонтальных планках крепятся шкалы с делениями (полотно рулетки), а на проволоках отмечаются устойчивой краской «индекс» или крепится «игла» для отсчитывания по шкалам смещений глубинных реперов. Исходное наблюдение выполняется до начала движения очистного забоя при постоянных и с дополнительным грузом. Постоянство увеличения отсчетов за счет растяжения проволоки от дополнительного груза будет свидетельствовать о свободном положении проволоки в скважине при периодических

наблюдениях. Привязка станции к пунктам государственной геодезической сети выполняется спутниковыми приемниками, а вынос ее с проекта на местность – электронным тахеометром. При подработке станции выполняются периодические наблюдения. В активную стадию интервал между наблюдениями не должен превышать t

$$t = \frac{l_{\text{обр}}}{v}, \text{ сут.}, \quad (1)$$

где: $l_{\text{обр}}$ – шаг обрушения основной кровли, м;
 v – скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

Оседание глубинных реперов на каждую дату наблюдений получим суммированием оседания обсадной трубы скважины и смещением его индексов на проволоках относительно трубы. Отношение разности оседаний глубинных реперов к расстоянию между ними составит значение деформации подработанного массива пород по вертикали (сжатие или растяжение) с относительной погрешностью не более 1/10000 даже при расстоянии между глубинными реперами 5м, что отвечает требованиям «Инструкции...».

Для определения горизонтальных и вертикальных деформаций земной поверхности на участке станции до подработки необходимо заложить по два грунтовых репера(15) (рис. 1), (6) (рис. 3) по линиям падения и простирания пласта и оборудовать их устройствами [6] (рис.3), которые включают инварную проволоку (11) между реперами (6) с прикрепленной шкалой (10). Проволока перекинута через блочок (12) и натянута постоянным грузом (13). На втором репере (6) жестко прикреплен отсчетный индекс (16), между реперами (6) в защитной трубе (1) помещен гибкий шланг (2), заполненный не замерзающей жидкостью (3). На концах шланга герметично одеты стеклянные трубки (4) с вертикальными шкалами (8)

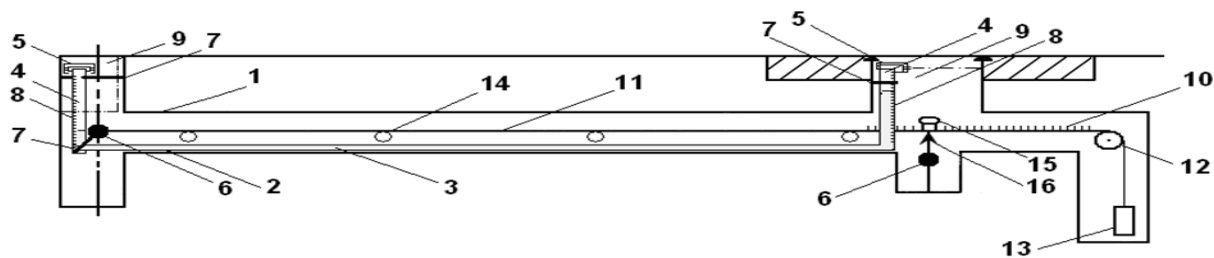


Рисунок 3 – Устройство для измерения горизонтальных и вертикальных деформаций толщи горных пород и сооружений земной поверхности

прикрепленные к грунтовым реперам, закрытые крышками (5) с отверстиями для воздуха. Отношение разности отсчетов любого наблюдения и исходного по горизонтальной шкале к расстоянию между грунтовыми реперами составит значение растяжений или сжатий земной поверхности на конкретную дату, а по вертикальной шкале – наклоны исследуемого участка с относительной погрешностью,

$$\frac{m_0}{l} = \frac{0,5}{20000} = \frac{1}{40000}, \quad (2)$$

где: m_0 – погрешность отсчитывания по шкале, мм; l – расстояние между грунтовыми реперами, м (при глубокой подработке более 300м $l=20$ м). Что значительно меньше допустимой ($\frac{1}{10000}$).

Определение оседаний и горизонтальных сдвижений на наблюдательной станции при подработке выполним предложенным способом [7]. Для чего вне зоны влияния очистной выработки на надежном фундаменте устанавливаем стационарно, неподвижно, лазерный прибор (серийный ЛУН-7 или Плутон-1), а рядом с наблюдательной станцией заложим грунтовый репер с градуированным экраном (рис. 4). В качестве экрана можно использовать защитный корпус 11 замерной станции (рис. 1) или градуированный экран прикрепить к обсадной трубе 17.

При каждом наблюдении по шкалам 8 и 10 (рис. 3) за горизонтальными и вертикальными деформациями включаем лазерный указатель направлений и на экране 2 (рис. 4) отмечаем краской центр пятна лазерного прибора или снимаем его фотокамерой.

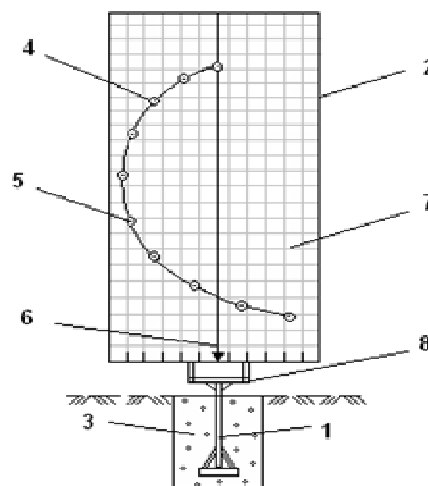


Рисунок 4 – Грунтовый репер с экраном

Совокупность отмеченных на экране точек составит траекторию полного вектора сдвижения грунтового репера, по которой определим оседание и горизонтальные сдвижения репера на каждую дату наблюдений. При всех наблюдениях по результатам маркшейдерских съемок, замеров и положению комбайна в лаве определяем расположение линии очистного забоя относительно наблюдательной станции для определения угловых параметров процесса сдвижения.

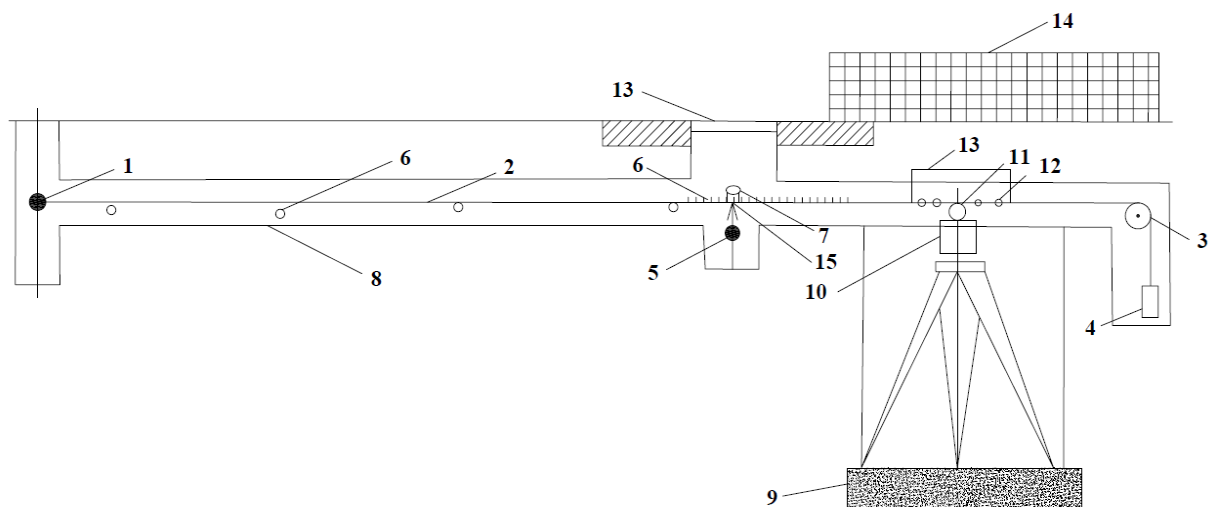


Рисунок 5 – Устройство для повышения точности мониторинга горизонтальных деформаций сооружений

С целью дальнейшей автоматизации наблюдений достаточно перед шкалами 8 и 10 (рис. 3) и экраном 2 (рис.4) установить фотокамеру с часовым механизмом и подсветкой, которая с заданным интервалом времени будет включаться, делать снимок шкал и экрана, а по совокупности снимков определим параметры сдвижений и деформаций подработанной толщи пород и участка земной поверхности без традиционных, трудоемких, линейных измерений и геометрического нивелирования.

Изложенная методика может быть использована для определения параметров сдвижений и деформаций подработываемых зданий, сооружений, коммуникаций и наиболее ответственных, уникальных охраняемых объектов: АЭС, плотин ГЭС, мостов и др.

Точность наблюдений за их деформациями многократно можно повысить дополнительным использованием лазерного прибора и градуированного экрана (рис. 5) [8, 9], (рис. 6). Из подобия двух треугольников между положениями лазерного луча определяем коэффициент увеличения точности измерения деформаций K :

$$K = \frac{S}{l} = \frac{R}{r}, \quad (3)$$

где: l – линейная величина смещения проволоки и объектива лазерного прибора;

S – смещение изображения лазерного луча на экране; r – расстояние от оси вращения лазерного прибора до края объекта; R – расстояние от оси лазерного прибора до экрана, м (у серийного ЛУН-7 $r = 0,33$ м, а максимальная дальность лазерного указателя направлений Плутон-1 $R=800$ м).

$$K = \frac{800}{0,33} = 2424$$

На рисунке 6 показана ось лазерного прибора 1, установленного в створе реперов; 2 – его объектив, к которому прикреплена натянутая постоянным грузом между реперами проволока 3; 4 – градуированный экран. При установленной автором натурными наблюдениями максимальной разности скоростей оседаний нижнего глубинного репера и земной поверхности 41мм/сут. [3], скорость смещения изображения лазерного луча на градуированном экране, расположенном в 800м от станции, составит 69мм/мин. (1,15 мм/сек), что будет видно невооруженным глазом.

Относительная погрешность линейных деформаций составит:

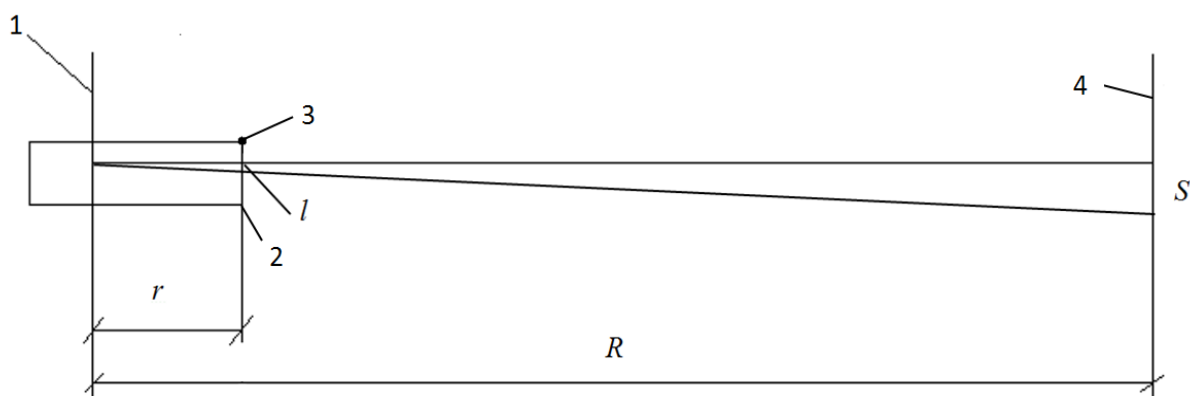


Рисунок 6 – Схема повышения точности линейных деформаций

$$m_0 = \frac{0,5}{L} \times \frac{1}{K} = \frac{1}{97000000}, \quad (4)$$

где: m_0 – погрешность отсчитывания по шкале, мм; L – расстояние между реперами, м.

Повысить точность измерения деформаций также можно с помощью магнитной системы измерений [10], состоящей из магнитной ленты и считывающей магнитной головки с индикаторной панелью версии 571. Для чего к проволоке между реперами на горизонтальном участке (рис. 5) крепится подвижная компактная головка, а к неподвижной планке – гибкая магнитная лента (измерительная шкала).

Принцип работы магнитной измерительной системы заключается в определении местоположения магнитного датчика относительно нулевой отметки магнитной ленты путем измерения направления и величины магнитного поля (ТТК70 – бесконтактный линейный энкодер) [10].

Выводы.

Рекомендуемая конструкция на наблюдательной станции позволит автоматически вести мониторинг сдвижений и деформаций подрабатываемой толщи горных пород, сооружений, коммуникаций, а также неподрабатываемых уникальных объектов (АЭС, ГЭС, плотин, мостов и др.). Методика мониторинга имеет преимущества по сравнению с известными:

- многократно снижает трудоемкость мониторинга и повышает комфортность наблюдений;
- высокую точность (до 1:97000000), которая многократно превышает известную и позволит видеть на экране невооруженным глазом процесс деформирования подработанного массива;
- исключает влияние человеческого фактора на точность измерений;
- расширяет область ее использования;
- доступность серийного оборудования, возможность его повторного использования, простота в изготовлении станции.

Библиографический список

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. Галуzeвый стандарт Украины. — Киев, 2004. — 254 с.
2. Канлыбаева М. М. Метод наблюдения за сдвижением горных пород в толще массива с помощью радиоактивных изотопов / Ж. М. Канлыбаева, Ф. И. Клиновицкий, М. К. Сарсенов. — Алма-Ата: Наука, 1973. — 163 с.
3. Ларченко В. Г. Сдвижение и деформации подработанной толщи горных пород / В. Г. Ларченко // Изв. Вузов.: Горный журнал, 1977. — №10. — С. 36-39.

4. Ларченко В. Г. Результаты исследований параметров процесса сдвижений и деформаций горных пород при отработке свиты пологих угольных пластов / В. Г. Ларченко // Сб. науч. трудов ДонГТУ, 2008. — Вып. 27. — С. 81-91.

5. Пат. 89230 U Украина, МПК G01C 15/02. Замірна станція для досліджень деформацій товщі порід, що підробляється / В. Г. Ларченко, О. М. Куценко; заявитель і патентовласник ДонГТУ. — U 2013 13815; заявл. 28.11.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. №7. — 4 с.

6. Пат. 35377 U Украина, МПК G01C 3/08. Пристрій для вимірів горизонтальних і вертикальних деформацій товщі гірських порід і споруд земної поверхні / В. Г. Ларченко, Н. В. Хоружая; заявитель і патентовласник ДонДТУ. — № U 2008 05642; заявл. 30.04.2008; опубл. 10.09.2008, Бюл. №17. — 4 с.

7. Пат. 25436 U Украина, МПК G01C 15/02. Спосіб визначення осідань і горизонтальних зрушень земної поверхні на важкодоступних ділянках / В. Г. Ларченко, Н. В. Хоружая; заявитель і патентовласник ДонГТУ. — № U 2007 03208; заявл. 26.03. 2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. №12. — 4 с.

8. Пат. 22619 U Украина, МПК G01C 15/02. Спосіб визначення швидкості деформацій підробленої товщі порід / В. Г. Ларченко, Н. В. Хоружая; заявитель і патентовласник ДонГТУ. — № U 23006 12806; заявл. 04.12.2006; опубл. 25.04.2007, Бюл. №5. — 6 с.

9. Пат. 47899 U Украина, МПК G01C 3/08. Спосіб підвищення точності спостережень за горизонтальними деформаціями земної поверхні і споруджень, які підробляються / В. Г. Ларченко, Н. В. Хоружая; заявитель і патентовласник ДонГТУ. — № U 2009 09875; заявл. 28.09. 2009; опубл. 25.02.2010, Бюл. №4. — 4 с.

10. <http://www.sensorica.ru/news87.shtml>.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.,
Главным маркшейдером ш. "им. XIX съезда КПСС" Кияненко Н.А.*

к.т.н. Ларченко В. Г., Куценко О. М., Маталкіна Ю. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ ЛНР)

АВТОМАТИЗОВАНА СПОСТЕРЕЖНА СТАНЦІЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗРУШЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Розроблена конструкція нової автоматизованої станції та методика постійного моніторингу зрушень та деформацій підроблених товщі гірських порід, земної поверхні або інженерних споруд.

Ключові слова: *глибинний та ґрунтовий репер, свердловина, провіолока, блочок, шкали, лазерний указчик напрямку, екран, фотокамера, енкодер, магнітна система.*

PhD Larchenko V.G., Kutsenko O.M., Matalkina Yu.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

AUTOMATIC OBSERVATION STATION FOR ROCK SHIFT AND DEFORMATIONS MONITORING

A design of a new automatic station and method of continuous monitoring for shift and deformations of undermined rock, surface or engineering constructions were developed.

Key words: *depth and ground reference points, well, wire, block, scales, laser direction indicator, screen, camera, encoder, magnetic system.*