

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-85-90

УДК 624

**ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
МОНИТОРИНГА И УЧЕТА СМЕЩЕНИЙ КРОВЛИ ПОДЗЕМНЫХ
ВЫРАБОТОК С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ
ГОРНЫХ РАБОТ**

**PREREQUISITES FOR CREATION OF THE SYSTEM FOR AUTOMATED
MONITORING AND ACCOUNTING OF ROOF DISPLACEMENT IN
UNDERGROUND WORKINGS FOR THE IMPROVEMENT OF MINING SAFETY**

Абрамович Александр Сергеевич¹,
инженер-исследователь, e-mail: abramovich_sanja@rambler.ru

Abramovich Alexandr S., engineer-researcher

Пудов Евгений Юрьевич¹,

доцент, к.т.н., e-mail: pudov_evgen@mail.ru

Pudov Evgeniy U., associate professor, Ph.D.

Кузин Евгений Геннадьевич¹,

доцент, e-mail: kuzinevgen@gmail.com

Kuzin Evgeny G., Assistant professor

Кавардаков Александр Алексеевич²,

директор шахты Имени В.Д.Ялевского, e-mail: KavardakovAA@suek.ru

Kavardakov Aleksandr A. director of the mine named byVD Yalovsky

Бакин Владимир Александрович³.

начальник технического отдела шахтоуправления "Талдинское-Западное",

e-mail: BakinVA@suek.ru

Bakin Vladimir A. head of the technical department of the mine "Taldinskaya West"

¹Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Филиал в г. Прокопьевске, 653033, Кемеровская обл., г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а

¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopievsk branch, Nogradskaya str. 19a, Prokopievsk, 653039.

²Шахта Имени В.Д.Ялевского, АО "СУЭК-Кузбасс", Прокопьевский район, село Котино, индекс 652207

²Mine named byVD Yalovsky, SUEK-Kuzbass, Prokopyevsky district, Kotino village, index 652207

³ Шахтоуправление "Талдинское Западное", АО "СУЭК-Кузбасс", г. Киселевск, ул. Ленина 28, индекс 652700

³ Mine "Taldinskaya West", "SUEK-Kuzbass", Kiselevsk, Lenina street 28, index 652700

Аннотация. В статье рассматривается необходимость непрерывного контроля за состоянием кровли горных выработок, для повышения безопасности при ведении горных работ. Показывается, что для высоких темпов продвижения очистных работ требуется совершенствование системы контроля за кровлей выработок. Приводится обоснование мониторинга в сложных горно-геологических условиях, а также на участках склонных к горным ударам и внезапным выбросам угля. Повышение эффективности контроля за состоянием горных выработок возможно на основании детального анализа процессов, происходящих с породами оконтуривающими выработки. Описываются существующие способы контроля смещений пород кровли, приводятся их недостатки. Дается представление об автоматизированной системе мониторинга смещений кровли выработок. Рассматриваются этапы создания системы в целом, включая выбор датчика линейных перемещений, платформы для разработки программного обеспечения, языка программирования. Показывается реализация модели программного кода как описание компонентов, реализующих классы граничных объектов и классы сущности. В целях обеспечения интеграции в другие системы и последующего более углубленного анализа результатов, предусматрива-

ется вывод данных в электронные таблицы. Приводятся интерфейсы программы и вывода показаний датчиков на мониторы горного диспетчера.

Abstract. *In the article, the necessity of continuous control over the condition of the roof of mine workings is considered to increase the safety in performing of mining operations. The article provides the rationale for monitoring in complex mining and geological conditions, as well as in areas prone to rock bumps and sudden coal outbursts. The existing methods for controlling the displacement of the roof strata are described, and their shortcomings are given. An idea is given of an automated system for monitoring the roof displacement of the workings. The stages of the system development as a whole are considered, including the selection of a linear displacement sensor, a platform for software development, and a programming language. In order to ensure integration into other systems and subsequent in-depth analysis of the results, it is envisaged to output data to spreadsheets. The interfaces of the program and the output of the sensor readings to the monitors of the mining control room are given.*

Ключевые слова: *кровля выработок, система мониторинга, безопасность горных работ, контрольные реперы, датчики линейных перемещений, базы данных, программное обеспечение.*

Keywords: *roof of mine workings, monitoring system, mine safety, control reference points, linear displacement sensors, databases, software.*

Введение.

Повышение безопасности угольных производств остается актуальной задачей с учетом растущей концентрации оборудования и горных работ. Одним из факторов, возможной аварийности является отработка участков, опасных по горным ударам и внезапным выбросам. При этом ставится задача определения зоны разрушения породного массива в окрестности выработки и целиках. Форма и размеры зоны разрушения зависят от действующих напряжений и прочности пород, от глубины заложения выработки, наличия геологических нарушений.

Внезапные геодинамические проявления в кровле выработок вызывается рядом факторов: геологическими нарушениями горных пород, излишней увлажненностью массива, превышением нагрузки на анкерную крепь, одновременной отработки нескольких пластов и несоответствия крепи данным геологическим условиям, это лишь некоторые из множества этих факторов. Большим шагом к решению этой проблемы является выявление причин обрушения. Иногда причины обрушения кровли не могут быть определены, но исследование падения отслоившихся и разуплотненных пород, анализ состояния окружающей и геотехнической среды может выявить причины обрушения [1].

Возрастающее количество добываемого угля, увеличение глубины выработок требуют совершенствования методов контроля состояния кровли, обладающих высокой достоверностью результатов, оперативностью и непрерывностью контроля.

В положении о безопасном ведении горных работ [2] регламентируется проведение исследований на каждом месторождении, склонном или опасном по горным ударам, по совершенствованию прогнозирования и предотвращения горных ударов. При этом прогноз удароопасности участков массива горных пород должен осуществляться, как по данным систем непрерывного автоматизированного контроля напряженного состояния

массива, так и по изменению величин (скоростей) деформаций и смещений.

Многообразие горно-геологических и горно-технологических факторов продолжает создавать сложность в прогнозировании проявлений горного давления.

Для выявления закономерностей горного давления, своевременного выявления сложных ситуаций по управлению горным давлением и работы крепи, принятия мер по исключению аварийности горных работ, необходимо накопление информации и создание базы данных с результирующими параметрами величины и скорости смещения участков кровли. Эффективная работа возможна с использованием системы непрерывного мониторинга смещений кровли, анализа влияния различных факторов, и выдачи информации об опасных участках выработок, где необходимо принимать меры по усилению крепления.

Теория.

В настоящее время проводятся методы численного моделирования геомеханических процессов, отбираются керны, анализируется строение пород кровли с помощью видеоэндоскопа и методом георадиолокации [3, 4].

Помимо этого, сегодня на предприятиях, добывающих уголь подземным способом, для контроля за смещениями горных пород в выработках используются реперные глубинные станции, которые позволяют при визуальном контакте обнаружить смещение горной массы. Метод визуального контроля при помощи глубинных реперных станций заключается в наблюдении за сдвижением горных пород путем записи показаний при перемещениях реперов, закрепляемых в шпуре кровли на соответствующем расстоянии [5, 6].

На данный момент этот способ устарел и имеет ряд недостатков [7-9]:

1. Для конкретной четкой информации необходимо непрерывно следить за реперами, то есть непосредственно нужно непрерывно фиксировать произошедшие смещения.

2. Неясность точного времени возникновения смещения горной массы, а также отсутствие информации о скорости ее смещения.

Исходя из указанного, становится понятно, что инженерно-технический работник участка, проверяющий состояние реперных глубинных станций в течение смены, при внезапном и значительном смещении горных пород кровли может не успеть предупредить других сотрудников шахты. Как правило, это делает горный мастер раз в смену, и сказать за какое время произошло перемещение, не представляется возможным.

Результаты исследователей [8, 10-12], показывают актуальность создания автоматизированной системы мониторинга, с различными способами реализации.

Таким образом, нашей главной задачей является создание полноценной автоматической системы мониторинга и учета смещений кровли подземных выработок, для повышения безопасности ведения горных работ, которая непосредственно будет включать в себя:

1. Датчики смещения;
2. Передающие устройства;
3. Каналы связи;
4. Программное обеспечение;

Вывод данных на мониторы горного диспетчера.

Непосредственная работа по созданию автоматизированной системы мониторинга будет содержать следующие этапы:

1. Выбор замещающего датчика смещения.
2. Выбор передающего устройства.
3. Определение способа передачи данных (выбор каналов передачи данных).
4. Определение платформы разработки программного обеспечения.
5. Разработка программного обеспечения.

Датчик перемещения - это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта. Следует отметить, что все датчики перемещения можно разделить на две основных категории — датчики линейного перемещения и датчики углового

перемещения (энкодеры). Из всех существующих типов датчиков нам более всего подходят датчики линейного перемещения.

Проведя анализ достоинств и недостатков различных преобразователей, относительно необходимых параметров можно сделать вывод, что наиболее приемлемыми в качестве датчика смещения кровли являются емкостные датчики линейных перемещений с изменяющейся площадью пластин. Основные преимущества емкостных преобразователей - простота устройства, высокая чувствительность, малое потребление энергии, отсутствие подвижных контактов, сравнительная простота изготовления, малые габариты и вес, долгий срок эксплуатации.

На стадии подхода к разработке программного обеспечения мы построили общую схему представления системы в целом, схему (см. рис. 1).

Результаты и обсуждения.

На стадии разработки программного обеспечения в первую очередь была проанализирована предметная область. Наиболее важный момент, на который мы обратили внимание - очень большие объемы информации, а также было принято решение хранить все неповторяющиеся зафиксированные показания смещений горной массы, принятые с каждого датчика смещения.

Архитектура разрабатываемой информационной системы – архитектура клиент-сервера. Данную архитектуру осуществляет система управления базами данных (СУБД) MSSQL Server.

Использование данной СУБД обеспечит следующие функции:

- обеспечивает целостность базы данных (БД);
- обеспечивает быстрое восстановление после различных сбоев (аппаратных и программных);
- обеспечивает резервное копирование;
- обеспечивает высокую надежность работы;
- обеспечивает высокую производительность.

В процессе разработки БД было принято решение создать для каждого датчика свою таблицу и таким образом были выделены следующие информационные объекты:

- Датчик 1
- Датчик 2

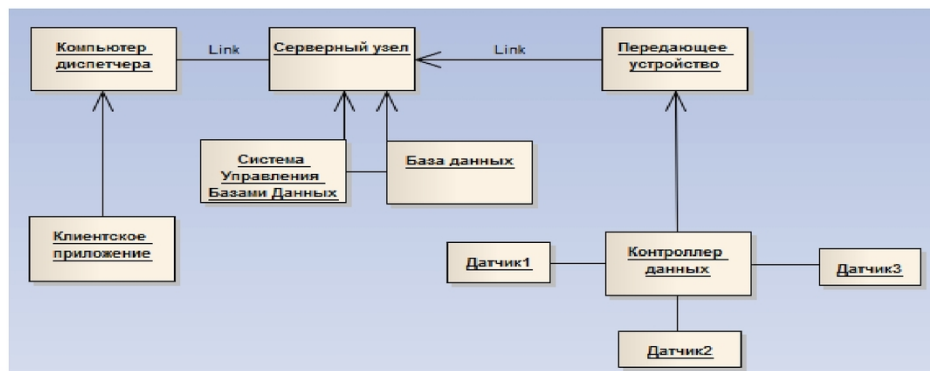


Рис. 1. Схема представления системы

| Датчик1_Таблица | Датчик2_Таблица | ДатчикN_Таблица |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| Уровень1: double | Уровень1: double | Уровень1: double |
| Уровень2: double | Уровень2: double | Уровень2: double |
| Дата_И_Время: datetime | Дата_И_Время: datetime | Дата_И_Время: datetime |

Рис. 2. Результирующая ER – диаграмма (диаграмма сущность – связь) базы данных

- Датчик n

Требование целостности - к содержанию таблиц Датчик 1, Датчик 2, Датчик n обязательно должны относиться Показание уровня 1, Показание уровня 2, дата и время получения показания, для двухуровневых датчиков. В результате получили рациональную базу хранения информации, диаграмму базы данных (см. рис.2.)

После реализации хранилища данных, далее мы перешли к процессу создания непосредственно самой программы.

В качестве технологии взаимодействия пользовательских компонент с данными выбрана технология ADO.NET— основная модель доступа к [данным](#) для приложений, основанных на [Microsoft .NET](#). Выбор технологии основан на выборе операционной системы. В качестве среды программирования выбираем Visual Studio, а в качестве языка C#. Данный язык и среда являются универсальными инструментами программирования, поэтому они подходят для решения поставленной задачи по созданию системы. Разработка модели реализации (программного кода) может быть представлена как описание компонентов,

Модель реализации включает объединенные в подсистемы компоненты, реализующие объекты, выявленные в процессе проектирования. Модель компонентов представлена на рис. 3.

Для каждой формы и закладки на форме определен состав взаимодействий с пользователем, благодаря которым осуществляется процесс приема и учета показаний датчиков, а также уведомление диспетчера о смещениях каждого датчика на конкретном участке.

Для выполнения каждого функционального требования выделим по отдельному сценарию. Сценарий для выполнения функционального требования поиска показаний выбранного датчика за все время с момента внедрения системы и установки датчика:

Диспетчер имеет возможность построить график выбранного датчика за все время, с момента внедрения датчика, а так же за день, неделю, месяц, год.

Для реализации данного сценария, в базе данных, были созданы две хранимые процедуры, которые будут вызываться в программе, созданной на платформе Windows. В составе разрабатываемой

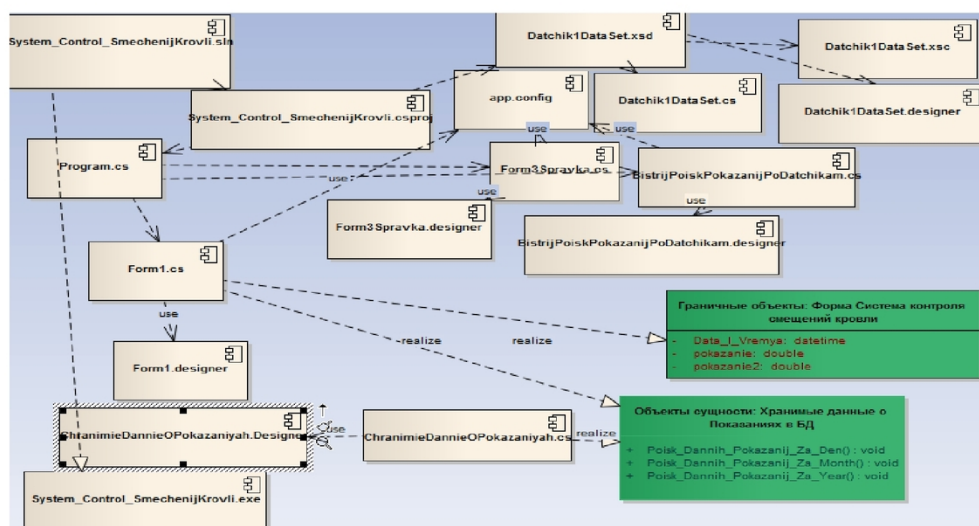


Рис. 3. Модель компонентов

реализующих классы граничных объектов и классы сущности.

мой системы выделяются: клиентская компонента и серверная компонента. В серверной компоненте реализуются сценарии, связанные с доступом к

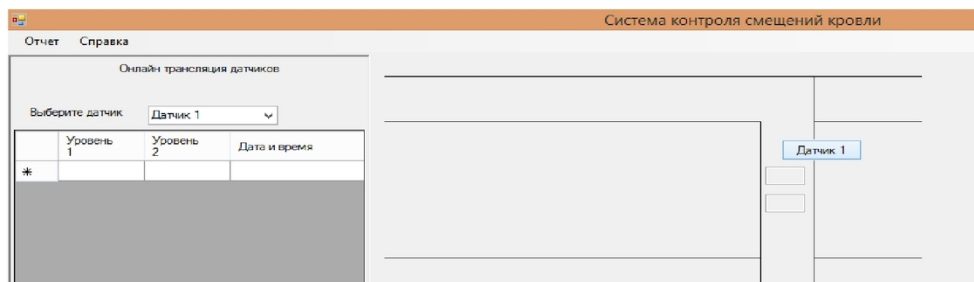


Рис. 4 Интерфейс программы главной страницы

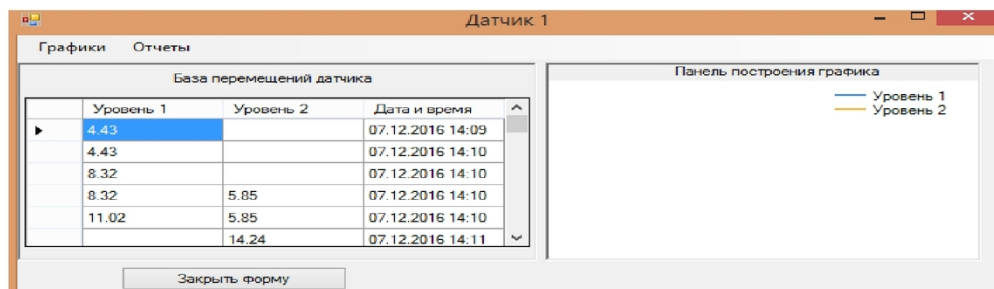


Рис. 5. Интерфейс Датчика 1 в системе контроля смещения кровли горных выработок

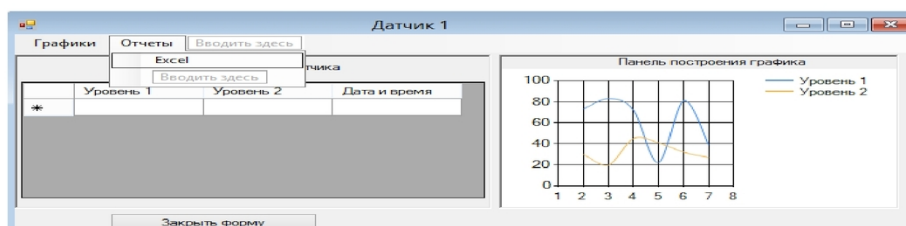


Рис. 6. Интерфейс отчета в электронной таблице

данным и их основной обработкой. В клиентской компоненте реализуется представление данных в удобном для пользователя виде и производится выбор выполняемых действий.

Разработанный интерфейс программы представлен на рис.4.

Так же был разработан интерфейс программы на каждый отдельный датчик. Интерфейс представлен ниже на рис.5.

В связи с возможным возникновением необходимости работы с полученными данными, включая обработку и анализ, было принято решение комплексно экспортировать получаемые данные в документ Microsoft Office Excel.

Для реализации вывода данных в документ Excel на форме была создана кнопка «Отчет Excel».

Выводы.

В результате работы была создана первая версия системы мониторинга и учета показания смещений в кровли горных выработок, которая позволит фиксировать изменения состояния кровли подземных горных выработок в режиме реального времени. На основании накапливаемой информации возможно прогнозирование поведения кровли в подобных горно-геологических условиях, а также проведение анализа причин, предшествующих изменению состояния кровли (смещение, расслоение, разуплотнение).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Molinda G., Mark C. Ground Failures in Coal Mines with Weak Roof. Electron Journal Geotech Engineering 2010 Jan.; 15(F):pp. 547-588.
2. Prikaz Rostekhnadzora ot 02.12.2013 N 576 «Ob utverzhdenii Federalnykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Polozheniye po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram». The order of Rostekhnadzor from 02.12.2013 N 576 «About approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety «Regulations for the safe conduct of mining works on deposits prone and dangerous mountain blows» (Registered in Ministry of justice of Russia 04.04.2014 N 31822).

3. Features of deformation of the enclosing rocks of underground mine workings in the heterogeneous field of geotectonic stresses on the example of the B12 reservoir of the Severnaya mine, Uralugol JSC / G.L. Feofanov [and others] // Coal .- 2017 .- №3.- pp. 18-22.
4. Haijun Zhao, Fengshan Ma, Jiamo Xu, Jie Guo. In situ stress field inversion and its application in mining-induced rock mass movement. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences №53, 2012, pp. 120–128.
5. Alvarez-Fernandez MI, Gonzalez-Nicieza C, Menendez-Diaz A, Alvarez-Vigil. Generalization of the n–k influence function to predict mining subsidence. Eng. Geol. 2005; 80(1–2):1–36.
6. Federalnyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po raschetu i primeniyu ankernoy krepki na ugolnykh shakhtakh». Federal occupational safety standards and regulations «Guidelines for computation and application of coal mines rock support». Series 05. Issue 42. Moscow, JTC NTS Industrial Safety Publ., 2015. 86 p.
6. Chunbin Zhao, Yubao Zhang, Genu Zhang, Janji Li, Shuki Ma. Monitoring deformation of the waste rock to ground control. Sensors (Basel). 2017 may; 17 (5): 1044. Doi: 10.3390 / s17051044.
7. James P. Doherty, Allsize Hasan, Gonzalo Suazo H., Andy Fury. A controlled study of some factors influencing the state of stresses in the backfill cement paste. Canadian Geotechnical Journal, 2015, Vol. 52, No. 12 : pp. 1901-1912. <https://doi.org/10.1139/cgj-2014-0321>. (accessed 13.06.17).
8. Effects of Overburden Characteristics on Dynamic Failure in Underground Coal Mining Heather. E Lawson, Douglas Tesarik, Mark K Larson, Habte Abraham. 35th International Conference on Ground Control in Mining . July 2016
9. A Fiber Bragg Grating-Based Monitoring System for Roof Safety Control in Underground Coal Mining. Yiming Zhao, Nong Zhang, Guangyao Si. Sensors (Basel). 2016 Oct; 16 (10): 1759. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5087543>. (accessed 17.06.17).
10. Zhang Z.Z., Bai J.B., Chen Y., Yan S. An innovative approach for gob-side entry retaining in highly gassy fully-mechanized longwall top-coal caving. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2015; 80:1–10. doi: 10.1016/j.ijrmms.2015.09.001.
11. Catalano A., Bruno F.A., Pisco M., Cutolo A., Cusano A. An intrusion detection system for the protection of railway assets using fiber Bragg grating sensors. Sensors. 2014;14:18268–18285. doi: 10.3390/s141018268.
12. Instruments for monitoring stability of underground openings. Mark K. Larson, Douglas R. Tesarik, J. Brad Seymour, Richard L. Rains. Information Circular 9453. Proceedings: New Technology For Coal Mine Roof Support.

Поступило в редакцию 12.10.2017
Received 12.10.2017