

Научная статья

УДК 622.502:681.2.08

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-182-188

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДАТЧИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЙ В КРОВЛЕ

Пудов Евгений Юрьевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Филиал в г. Прокопьевске

* для корреспонденции: pudov_evgen@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

26 сентября 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 января 2026 г.

Принята к публикации:

12 февраля 2026 г.

Опубликована:

19 марта 2026 г.

Ключевые слова:

Программное обеспечение, обработка сигнала, датчик перемещения, кровля, состояние массива, безопасность, определение смещений

Аннотация.

Качественное и быстрое проведение горных выработок предъявляет к проходческой и очистной технике высокие требования по надежности, производительности и ряду других критериев. В свою очередь угольный и породный массивы требуют проведения своевременных обследований и контроля его состояния. Непрерывность и высокая точность контроля за состоянием угольно-породного массива позволят спрогнозировать и избежать опасные последствия, вызванные неожиданными обрушениями кровли.

Эти факторы и все возрастающие объемы очистных работ требуют оптимальных методов диагностики и контроля состояния кровли, которые обладают такими важными свойствами, как высокая достоверность результатов, удобство и оперативность проведения работ, а также минимизация трудовых и экономических затрат для их проведения, безопасность реализации. Одним из вариантов решения подобной задачи является разработка и внедрение датчиков определения смещений в кровле. Команда разработчиков, работающая над проектом, рассматривает несколько различных вариантов допустимого исполнения потенциального датчика определения смещений в кровле. В качестве потенциальных для опытного исследования были приняты в работу несколько вариантов, базирующихся на разных физических эффектах определения смещений, передачи и накопления получаемых данных. В данной статье будут рассмотрены задачи разработки основ программного обеспечения для обработки сигнала, получаемого с экспериментальной модели датчика. Назначение разрабатываемого программного обеспечения (ПО) – автоматизировать процесс сбора и обработки информации об относительных перемещениях горных пород на разных уровнях анкерных креплений с реперных датчиков, расположенных в кровле подземных выработках. Цель создания ПО – автоматизировать процесс сбора информации о динамике деформации пластов в условиях угольной шахты на расстояниях более 1 км, повысить точность собираемой информации, сократить сроки получаемой информации, повысить производительность труда работников и высвободить время для ведения аналитической работы и контроля за процессами

Для цитирования: Пудов Е.Ю. Проектирование системы передачи данных при разработке датчика определения смещений в кровле// Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 1 (173). С. 182-188. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-182-188, EDN: LLA1YL

Введение

Разрабатываемая в рамках данного проекта программная часть в системе передачи данных должна обеспечивать:

1. Сбор информации с датчиков на расстоянии более 1 км.
2. Оперативное получение данных в реальном времени.
3. Ведение учета и хранения полученных данных.
4. Базовые отчеты для анализа полученных данных.

В результате должна получиться четкая схема состояния (данные – отчетность) локального деформационного поля, а также повышение качества учетной информации, повышение оперативности и эффективности работы, усиление контроля за деформациями пластов и, как следствие, повышение безопасности на производстве.

Стадии и этапы создания автоматизированной системы выделяют как части процесса создания по соображениям рационального планирования и организации работ, заканчивающихся заданным результатом.

Таким образом, создание будущей автоматизированной системы управления будет состоять из следующих этапов:

1. Формирование (уточнение) требований к АС. (Функциональное проектирование).
2. Разработка концепции АС.
3. Разработка и утверждение технического задания на создание АС.
4. Разработка индивидуальной аппаратной модели АС.
5. Разработка индивидуального программного обеспечения к аппаратной модели.
6. Разработка документации по системе (Руководство пользователя).
7. Проведение обучения сотрудников работе с созданной АС.
8. Сопровождение созданной АС.

Формирование (уточнение) требований к АС. Требования к АС делятся на следующие виды:

- ✓ Требования к структуре и функционированию системы;
- ✓ Требования к численности и квалификации персонала системы и режиму его работы;
- ✓ Требования к надежности;
- ✓ Требования к безопасности;
- ✓ Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию;
- ✓ Требования к сохранности информации при авариях;
- ✓ Требования к защите от влияния внешних воздействий;
- ✓ Требования по стандартизации и унификации.

Состав АСУ

В качестве базового решения для ведения учета и составления отчетности на данном этапе проекта (с возможностью изменения) предлагается использовать программу «DataSaver».

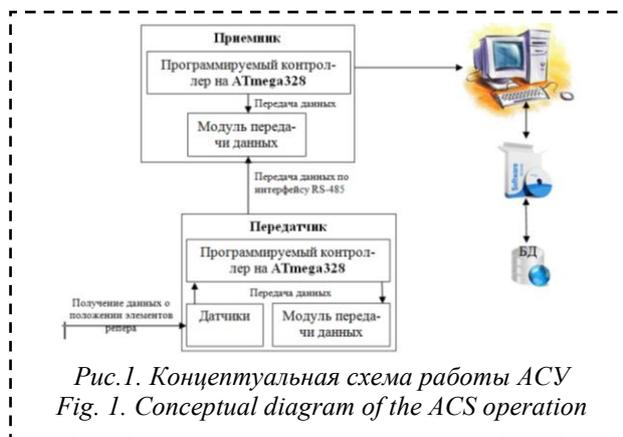
В качестве дополнительного решения для консолидации и получения более детализированных расшифровок отчетности пока предлагается использовать такие программы, как «MatLab», «MatCad» или аналогичные с дополнительной настройкой либо любую другую, позволяющую строить графики и диаграммы на основе полученных данных [1].

Основные функциональные возможности программного продукта «DataSaver»:

«DataSaver» – программный продукт, предназначенный для сбора, централизованного хранения и обработки данных, передаваемых с датчиков реперных станций, установленных в подземных выработках. Разрабатывается в среде программирования Visual Studio 2015, на языке C#. Данные, получаемые с датчиков, передаются в файл базы данных «DATA.MDB».

Методы

Общая схема работы аппаратно-программного комплекса представлена на Рис. 1. В зависимости от протекания процесса создания системы возможны внесения корректировок в структуру и составные компоненты [2]. В связи с этим Рис. 1 принимается как концептуальный, но с возможностью внесения корректировок.



*Рис.1. Концептуальная схема работы АСУ
Fig. 1. Conceptual diagram of the ACS operation*

Основное требование, предъявляемое к ПО и его интерфейсу – это максимальное удобство по доступу к любым пакетам информации, наглядность, информативность и простота [3–8].

Для запуска программы необходимо указать СОМ-порт, к которому присоединен принимающий контроллер, посредством которого будут приниматься данные с передатчиков. Сделать это можно двумя способами:

- ✓ Написав латинскими буквами в поле «Port Name» наименование СОМ-порта;

Если СОМ-порт неизвестен, необходимо зайти в пункт меню «Настройки-Параметры» (Рис. 3), в открывшемся окне (Рис. 4) нажать

кнопку «Сканировать», после сканирования выбрать необходимый COM-порт и закрыть окно, выбранный COM-порт появится в поле Port Name.

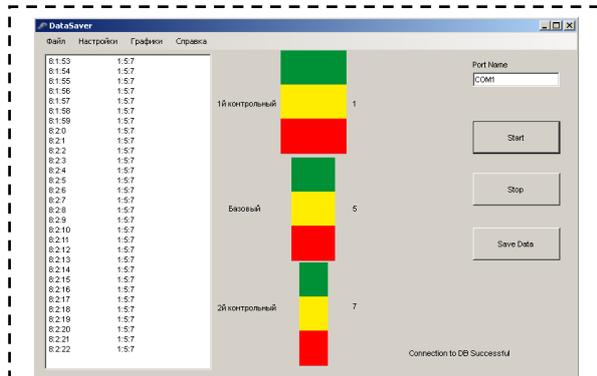


Рис. 2. Базовая концепция формы интерфейса разрабатываемого ПО

Fig. 2. Basic concept of the interface form of the software being developed



Рис. 3. Настройка подключения к контроллеру

Fig. 3. Setting up connection to the controller

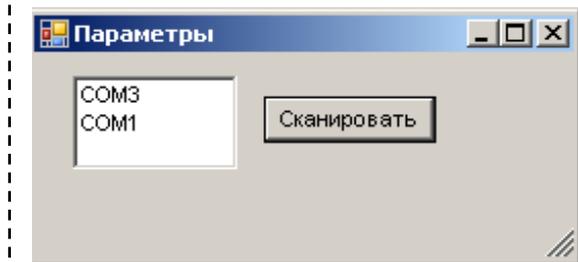


Рис. 4. Параметры подключения

Fig. 4. Connection parameters

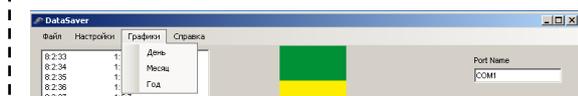


Рис. 5. Выбор периода формирования отчета

Fig. 5. Selecting the report generation period



Рис. 6. Графическое представление динамики перемещений в кровле на сводной диаграмме по двум датчикам за день

Fig. 6. Graphical representation of the dynamics of movements in the roof on a summary diagram for 2 sensors per day

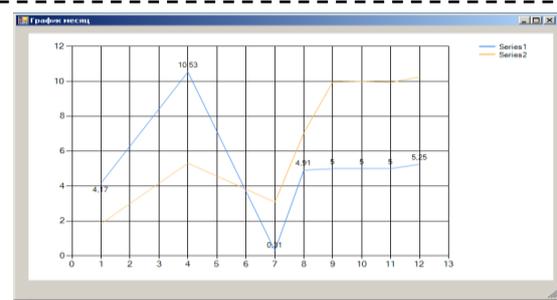


Рис. 7. Графическое представление динамики перемещений в кровле на сводной диаграмме по двум датчикам за месяц

Fig. 7. Graphical representation of the dynamics of movements in the roof on a summary diagram for 2 sensors per month



Рис. 8. Пример экспериментального испытания ультразвукового датчика для определения перемещений

Fig. 8. Example of experimental testing of an ultrasonic sensor for determining displacements

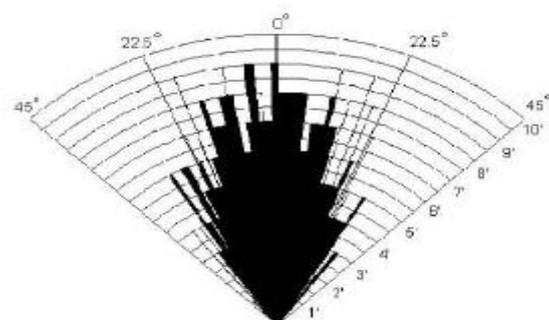


Рис. 9. Влияние углов, под которыми сигнал встречается с поверхностью отражения в случае использования ультразвукового датчика для определения перемещений

Fig. 9. Effect of the angles at which the signal meets the reflecting surface when using an ultrasonic sensor to determine displacements

После выбора COM-порта нажать кнопку «Start», данные с датчиков выводятся на экран главной формы, визуализируются на схематичном рисунке репера и передаются в базу данных.

Для просмотра сохраненных данных с датчиков необходимо зайти в меню «Графики», выбрать период (день, месяц, год) – Рис. 5, за

который необходимо получить данные в графическом представлении (Рис. 6, 7).

Результаты исследований. В ходе выбора возможного к применению датчика был проведен ряд экспериментов по возможности ультразвукового датчика (Рис. 8), были выявлены некоторые ограничения:

1. Размеры датчиков;

2. Поскольку датчики ультразвуковые, то им присущи недостатки, связанные с отражением сигнала от разного рода поверхностей (присутствует некоторая погрешность), если, например, они встречаются неоднородную поверхность, то, соответственно, они начинают путаться в показаниях. К тому же на показания влияют углы, под которыми сигнал встречается с поверхностью отражения (Рис. 9). На картинке видна диаграмма рассеивания сигнала;

3. Возможно влияние угольной пыли на показания, снимаемые с датчиков.

В связи с вышеуказанными недостатками принимаем решение о неприменимости ультразвуковых датчиков в шахтовых условиях и акцентируем последующие действия на следующих положениях:

- Использовать емкостные датчики;

- По окончании опытно-экспериментальных работ уделить большое внимание проработке защитного корпуса и конструктивным особенностям разрабатываемой системы, учитывать все необходимые требования, диктуемые условиями угольной шахты, удобством установки и эксплуатации [9].

Контроллер приемника и передатчика на данном этапе работ построен на базе программируемого контроллера на микросхеме ATmega328 [10-15]. Контроллер поддерживает последовательный интерфейс UART TTL, реализованный через USB интерфейс, программы на стороне компьютера «общаются» с платой через виртуальный COM-порт. Для подключения ПК с операционной системой потребуется файл ArduinoUNO.inf

Контроллер может получать питание через подключение USB или от внешнего источника питания. Источник питания выбирается автоматически. Внешнее питание (не USB) может подаваться через преобразователь напряжения AC/DC (блок питания) или аккумуляторной батареей. Преобразователь напряжения подключается посредством разъема 2.1 мм с центральным положительным полюсом. Платформа может работать при внешнем питании от 6 до 20 В. При напряжении питания ниже 7 В вывод 5 V может выдавать менее 5 В, при этом платформа может работать нестабильно. При использовании напряжения выше 12 В регулятор напряжения может перегреться и повредить плату. Рекомендуемый диапазон – от 7 В до 12 В.

Связь между контроллерами осуществляется посредством модулей преобразователей интерфейса TTL в RS485 на базе микросхемы MAX485. Интерфейс RS-485 описан в стандарте ANSI EIA/TIA-485-A. Интерфейс RS-485 является наиболее распространенным в промышленной автоматизации [10–12]. Основными достоинствами интерфейса являются:

✓ двусторонний обмен данными всего по одной витой паре проводов;

✓ работа с несколькими трансиверами, подключенными к одной и той же линии, т. е. возможность организации сети;

✓ большая длина линии связи; достаточно высокая скорость передачи.

Максимальное количество последовательно соединенных устройств через RS-485 равняется 32. В случае, если требуется соединить устройства на расстоянии более 1200 м или подключить к одной сети более 32 устройств, это можно сделать с помощью повторителей (репитеров, ретрансляторов) интерфейса. Повторитель устанавливается между двумя сегментами линии передачи, принимает сигнал одного сегмента, восстанавливает фронты импульсов и передает его с помощью стандартного передатчика во второй сегмент (Рис. 10).

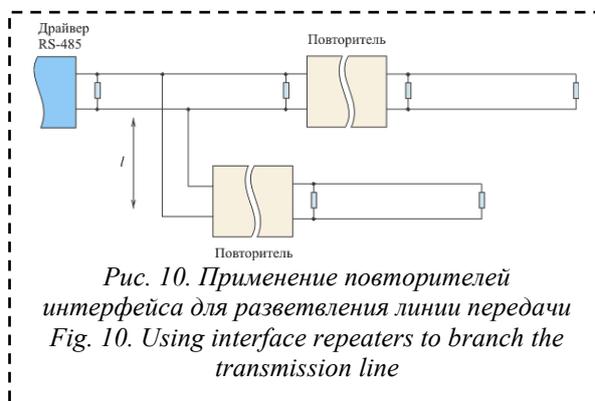


Рис. 10. Применение повторителей интерфейса для разветвления линии передачи
Fig. 10. Using interface repeaters to branch the transmission line

В контроллере встроен самовосстанавливающийся предохранитель (автомат), защищающий порт USB компьютера от токов короткого замыкания и сверхтоков [16-19]. Хотя практически все компьютеры имеют подобную защиту, тем не менее, данный предохранитель обеспечивает дополнительный барьер. Предохранитель срабатывает при прохождении тока более 500 мА через USB порт и размыкает цепь до тех пор, пока нормальные значения токов не будут восстановлены.

Выводы. Данный проект является технически сложным и трудоемким, в силу чего при его реализации допустимы корректировки и изменения в концепции. Это будет зависеть от ряда технологических, технических и производственных особенностей.

Стоит помнить, что основное целевое назначение контрольных наблюдений и измерений в выработке в большинстве случаев заключается в определении фактических характеристик горных пород и крепи и установлении соответствия принятых при проектировании параметров охраны, защиты и крепи, требуемых в конкретных условиях. По состоянию устойчивости пород и деформированию крепи выработки производится оценка фактического влияния различных факторов и воздействий, и своевременно могут быть приняты профилактические меры по недопущению нарушения эксплуатационного состояния выработки. При проектировании выработок в сложных горно-геологических условиях наряду с проведением контрольных наблюдений и измерений рекомендуется также предусматривать в проектах установку специальных замерных станций. Последние позволяют получить более полные и надежные исходные данные, дадут возможность проверить и уточнить принятые при проектировании способы охраны, защиты и крепи и выбрать оптимальные проектные решения, в том числе для других выработок, располагаемых в аналогичных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yuan Z., Zhang X., Gao Q. [et al.] Integrated Real-Time Pneumatic Monitoring System With Triboelectric Linear Displacement Sensor // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2023. Vol. 70. № 6. Pp. 6435–6441. DOI: 10.1109/tie.2022.3192690. EDN ПКВДУ.
2. Фисенко Г. Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М. : Недра, 1976. 272 с.
3. Зубов В. П. Особенности управления горным давлением в лавах на больших глубинах разработки. Л. : Издательство Ленинградского университета, 1990. 224 с.
4. Беликов В. В. О механизме деформирования кровли повторно используемых выемочных выработок // Изв. вузов. Сев.- Кавк. регион. Техн. науки. 2004. Приложение № 7. С. 54–63.
5. Лазерные датчики перемещения, внесены в Госреестр СИ РФ. http://www.sensor-systems.ru/product_205.html (дата обращения 25.12.2025).
6. Компоненты для автоматизации. <http://www.linedrive.ru/catalogue/sensors/linear/lt67.html> (дата обращения 25.12.2025).
7. Кольцевые датчики силы растяжения и сжатия. <http://www.megasensor.com/> (дата обращения 25.12.2025).
8. Заключение Кемеровского филиала АО ВНИМИ № 9 от 04.03.2016 г. «По результатам геофизического обследования оконтуренной лавы № 66-05 по пласту 66 на шахте «Галдинская-Западная-1» с целью выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик кровли пласта и рекомендации по безопасному ведению горных работ в выделенных опасных зонах», 04.03.2016 г., 39 с.
9. Отчет по научно-исследовательской работе филиала КузГТУ в г. Прокопьевске № 13 от 10.12.2016. Определение состояния кровли методом георадиолокации с выделением вероятных зон наличия трещиноватости, зон отслоившейся кровли, влагонасыщенных участков, Прокопьевск : филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2015. 152 с.
10. Гаврилов В. А., Трофимов А. А. Система измерения линейных перемещений // Датчики и системы. 2005. № 9. С. 44–46.
11. Дмитриенко А. Г., Нефедьев Д. И., Трофимов А. А. Электромагнитный датчик линейных перемещений с торцевым сопряжением растров // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2015. № 2 (12). С. 4–10.
12. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. Фрайден Дж.; пер. с англ. Заболотной Ю. А.; под ред. Свинцова Е. Л. М. : Техносфера, 2005. 588 с.
13. Агейкин Д. И., Костин Е. Н., Кузнецова Н. Н. Датчики контроля и регулирования. М. : Машиностроение, 1965. 928 с.
14. Магнестрикционные датчики линейных перемещений «ТрейсЛайн» // Информатизация и системы управления в промышленности. 2024. № 1(109). С. 75–77. EDN ОРНФNV.
15. Коновалов Ю. В., Чупановский М. Г. Моделирование датчика линейных перемещений в электромеханической системе контроля высоковольтных выключателей // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 22–25 апреля 2025 года. Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2025. С. 63–67. EDN VPLAHИ.
16. Горячев В. Я., Шатова Ю. А., Абдирашев О. К. Электрическая схема замещения информационно-измерительных систем линейных перемещений на основе фазового датчика // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 1(27). С. 5–11. DOI: 10.21685/2307-5538-2019-1-1. EDN ZSDBLN.
17. Калмакова А. В., Узинцев О. Е., Головач Д. В. О возможности использования механотронного датчика линейных перемещений в приборе УПМ-2 для кинетического индентирования // Техника, технологии и перспективные материалы : Межвузовский сборник научных трудов / Шляпин А. Д. (отв. ред.). М. : Московский государственный индустриальный университет, 2004. С. 126–130. EDN TYGYNX.
18. Белоновская И. Д., Целовальников И. М., Носикова Т. В. Новые разработки датчиков линейных перемещений больших длин класса абсолют // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : Материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 23–25 января 2019 года. Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2019. С. 694–698. EDN YZBFUD.
19. Gu X., Tang Q., Peng D., Weng D. An Inductive Linear Displacement Sensor With Bilateral Sensing Units // IEEE Sensors Journal. 2021. Vol. 21. № 1. Pp. 296–305. DOI: 10.1109/jsen.2020.3014674. EDN SPVJQE.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Пудов Евгений Юрьевич, директор, филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева» в г. Прокопьевске (653039, Россия, Кемеровская область-Кузбасс, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а), кандидат технических наук, pudov_evgen@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Пудов Евгений Юрьевич – постановка цели и задач исследования, формулировка аннотации и выводов, корректировка текста, формулировка идеи исследования, анализ данных, разработка уточненной аналитической зависимости, проведение вычислительных экспериментов, анализ результатов, редактирование материала.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DESIGNING A DATA TRANSMISSION SYSTEM WHEN DEVELOPING A ROOF DISPLACEMENT SENSOR

Evgeniy Yu. Pudov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Branch in Prokopyevsk

* for correspondence: pudov_evgen@mail.ru



Article info

Received:

26 September 2025

Accepted for publication:

15 January 2026

Accepted:

12 February 2026

Published:

19 March 2026

Keywords: Software, signal processing, displacement sensor, roof, array condition, security, displacement detection

Abstract.

High-quality and rapid development of mine workings places high demands on tunneling and cleaning equipment for reliability, productivity, and a number of other criteria. Coal and rock masses, in turn, require timely inspection and condition monitoring. Continuous and highly accurate monitoring of the coal and rock mass will allow us to predict and prevent hazardous consequences caused by unexpected roof collapses.

These factors, coupled with the ever-increasing volume of mining operations, require optimal methods for roof diagnostics and condition monitoring that offer important properties such as high reliability of results, ease and efficiency of execution, as well as minimized labor and economic costs, and safe implementation. One solution to this problem is the development and implementation of roof displacement sensors. The development team working on the project is considering several different acceptable designs for a potential roof displacement sensor. Several options based on different physical effects for determining displacements, transmitting, and accumulating the obtained data were considered for experimental study. This article will examine the development of software foundations for processing signals received from an experimental sensor model. The purpose of the developed software is to automate the collection and processing of information on relative rock displacements at different anchor levels from reference sensors located in the roof of underground workings. The goal of the software is to automate the collection of information on seam deformation dynamics in coal mines over distances greater than 1 km, improve the accuracy of the collected information, reduce the time it takes to obtain information, enhance worker productivity, and free up time for analytical work and process monitoring.

For citation: Pudov E.Yu. Designing a data transmission system when developing a roof displacement sensor. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 1(173):182-188. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-182-188, EDN: LLAIYL

REFERENCES

1. Yuan Z., Zhang X., Gao Q. [et al.] Integrated Real-Time Pneumatic Monitoring System With Triboelectric Linear Displacement Sensor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2023; 70(6):6435–6441. DOI: 10.1109/tie.2022.3192690. EDN IIKBDY.
2. Fisenko G.L. Limit States of Rocks Around Workings. Moscow: Nedra; 1976. 272 p.
3. Zubov V.P. Features of Rock Pressure Management in Longwalls at Great Depths of Development. Leningrad: Leningrad University Publishing House; 1990. 224 p.
4. Belikov V.V. On the Mechanism of Roof Deformation in Reused Mining Workings. *News of Universities. North-Caucasian Region. Tech. Sciences*. 2004; 7:54–63.
5. Laser motion sensors, included in the State Register of the SI of the Russian Federation. http://www.sensor-systems.ru/product_205.html (date of issue: 12/25/2025).
6. Automation components. <http://www.linedrive.ru/catalogue/sensors/linear/lt67.html> (date of issue: 12/25/2025).
7. Ring tension and compression force sensors. <http://www.megasensor.com/> (date of issue: 12/25/2025).
8. Conclusion of the Kemerovo branch of JSC VNIMI № 9 dated 03/04/2016 "Based on the results of a geophysical survey of the contoured longwall No. 66-05 along seam 66 at the Taldinskaya-Zapadnaya-1 mine in order to identify anomalous tectonic zones and other areas of change in the geomechanical characteristics of the seam roof and recommendations for the safe conduct of mining operations in the identified hazardous areas", 03/04/2016, 39 p.
9. Report on the research work of the KuzSTU branch in Prokopyevsk № 13 dated 10.12.2016. Determination of the roof condition using the ground penetrating radar method with the allocation of probable zones of cracking, zones of peeling roofing, moisture-saturated areas. Prokopyevsk, 2015. 152 p.
10. Gavrilov V.A., Trofimov A.A. System of Measuring Linear Displacements. *Sensors and Systems*. 2005; 9:44–46.
11. Dmitrienko A.G., Nefediev D.I., Trofimov A.A. Electromagnetic Sensor of Linear Displacements with End-to-End Interconnection of Rasters. *Measurements. Monitoring. Control*. 2015; 2(12):4–10.
12. Fryden J. Modern Sensors. Handbook. Fryden J.; translated from English by Zabolotnaya Yu.A.; edited by Svintsov E.L. M. : Tekhnosfera; 2005.
13. Ageikin D.I., Kostin E.N., Kuznetsova N.N. Sensors for Control and Regulation. M.: Mechanical Engineering; 1965. 928 p.
14. TraceLine Magnetostrictive Linear Displacement Sensors. *Informatization and Control Systems in Industry*. 2024; 1(109):75–77. EDN OPHFNV.
15. Kononov Yu.V., Chupanovsky M.G. Modeling of a Linear Displacement Sensor in an Electromechanical Control System for High-Voltage Switches. *Improving the Efficiency of Production and Energy Use in Siberia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. Irkutsk, April 22–25, 2025. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2025. Pp. 63–67. EDN VPLAHI.
16. Goryachev V.Ya., Shatova Yu.A., Abdirashev O.K. Electrical substitution scheme of information and measurement systems of linear displacements based on a phase sensor. *Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2019; 1(27):5–11. DOI: 10.21685/2307-5538-2019-1-1. EDN ZSDBLN.
17. Kalmakova A.V., Uzintsev O.E., Golovach D.V. On the Possibility of Using a Mechanotron Linear Displacement Sensor in the UPM-2 Device for Kinetic Indentation. *Technique, Technologies, and Promising Materials: Interuniversity Collection of Scientific Papers Shlyapin A.D.* (ed.). Moscow: Moscow State Industrial University; 2004. Pp. 126–130. EDN TYGYNX.
18. Belonovskaya I.D., Tselovalnikov I.M., Nosikova T.V. New Developments of Absolute-Class Large-Length Linear Displacement Sensors. *University Complex as a Regional Center of Education, Science, and Culture: Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference*. Orenburg, January 23–25, 2019. Orenburg: Orenburg State University; 2019. Pp. 694–698. EDN YZBFUD.
19. Gu X., Tang Q., Peng D., Weng D. An Inductive Linear Displacement Sensor With Bilateral Sensing Units. *IEEE Sensors Journal*. 2021; 21(1):296–305. DOI: 10.1109/jsen.2020.3014674. EDN SPVJQE.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Evgeny Yu. Pudov, director, branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev" in Prokopyevsk (653039, Russia, Kemerovo Region-Kuzbass, Prokopyevsk, Nogradskaya St., 19a), Candidate of Technical Sciences, pudov_evgen@mail.ru

Contribution of the authors:

Evgeny Yu. Pudov – setting the goals and objectives of the study, formulating annotations and conclusions, correcting the text, formulating the idea of the study, analyzing data, developing a refined analytical relationship, conducting computational experiments, analyzing the results, editing the material.

All authors have read and approved the final manuscript.

