

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.8, 622.502, 681.2.08

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-187-198

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА БАЗЕ ДВУХУРОВНЕВОГО ДАТЧИКА СМЕЩЕНИЙ КРОВЛИ

Пудов Евгений Юрьевич¹, Кузин Евгений Геннадьевич^{1,2},
Лупий Михаил Григорьевич¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

² Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

* для корреспонденции: pudov_evgen@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

18 января 2026 г..

Одобрена после
рецензирования:

31 января 2026 г.

Принята к публикации:

12 февраля 2026 г.

Опубликована:

29 июня 2026 г.

Ключевые слова:

горнотехническая система,
система контроля горных
выработок, живучесть,
безопасность, надежность,
подземные выработки,
устойчивость, датчик
смещения кровли

Аннотация.

В настоящей работе предложено концептуальное решение системы управления устойчивостью горнотехнической системы, базирующееся на блоке учета входных параметров и параметров отклика системы. Одной из важных структурных подсистем является система контроля состояния горных выработок. В свою очередь, любая система должна базироваться на ключевых компонентах, обладающих конструктивной простотой изготовления, надежностью эксплуатации и рациональной схемой работы. Таким компонентом для системы контроля состояния подземных горных выработок является датчик смещения кровли, реализующий два уровня контроля. Данное исследование посвящено проработке конструктивных и технологических параметров двухуровневого датчика смещения кровли (ДСК-2). Представлены внешний вид корпуса датчика, компоновка внутренних узлов, принцип работы и варианты крепления к кровле. Разработаны первичные преобразователи емкостного типа, обладающие наибольшим ресурсом и помехозащищенностью, что особенно актуально для угольных шахт. Рассмотрены преобразователи уровня сигнала и разработана электрическая принципиальная схема преобразователей уровня и общая структурная схема контроллера. Внедрение датчиков смещения кровли в комплексную многофункциональную систему безопасности горного производства в рамках подсистемы контроля состояния горных выработок позволит полнее понимать процессы, происходящие с массивом горных пород. Представлены результаты георадарного обследования кровли с характерными картинками выявленных и прогнозируемых нарушений. Места установки датчиков смещения кровли определяются в том числе и по результатам георадарного обследования и выявления потенциально опасных зон. Дальнейшее направление исследований посвящено разработке программного обеспечения для непрерывного накопления данных и увязки сети подобных датчиков по всей шахте.

Для цитирования: Пудов Е.Ю., Кузин Е.Г., Лупий М.Г. Система контроля состояния горных выработок на базе двухуровневого датчика смещений кровли // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 2 (174). С. 187-198. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-187-198, EDN: JRQANQ

Введение

Вопросы безопасности подземных горных работ рассматриваются с начала использования

человечеством полезных ископаемых. Именно использование недр планеты позволяет развиваться ее населению. Для разработки угля

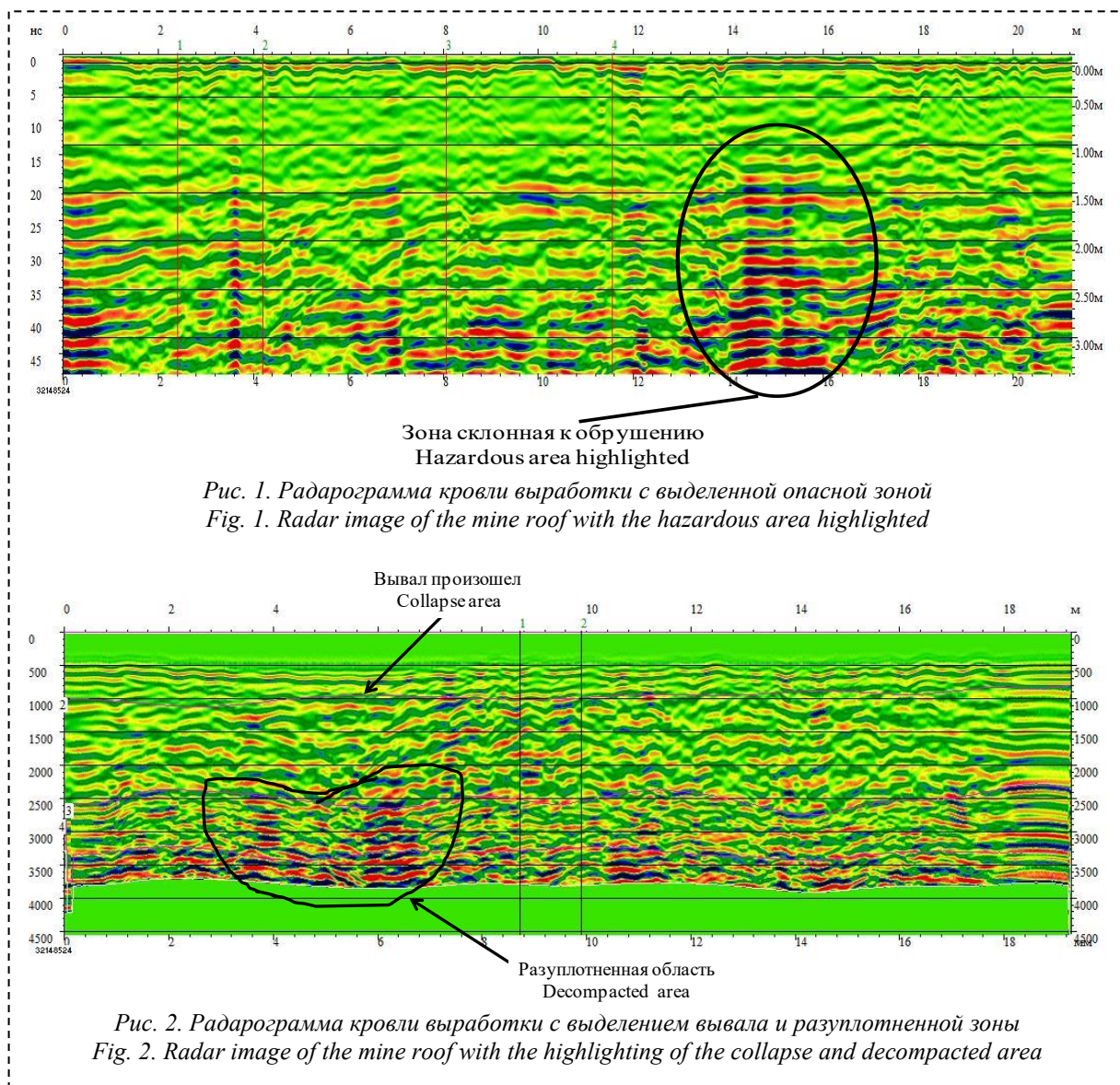
на современных шахтах используется достаточно совершенная технология, базирующаяся на надежных и эффективных горных машинах. При этом вопросы поддержания горных выработок и управления горным давлением представляют большой пласт исследований, постоянно остающийся актуальным.

В работе [1] отмечено, что недостаточно изученными остаются закономерности поведения горных пород в подземных выработках горнодобывающих предприятий. Влияние различных горно-геологических и горнотехнических условий, распространение напряжений и релаксаций, принимаемые гипотезы дают довольно условную сходимость прогнозного поведения вмещающих и приконтурных пород. Безремонтное поддержание выработок в течение запланированного срока эксплуатации практически недостижимо [2].

По мере продвижения вглубь земной коры

существенно меняются процессы, происходящие в массиве горных пород, поэтому наилучшего понимания и описания этих процессов следует добиваться комбинированием аналитических и эмпирических методов. Выявление закономерностей различных геодинамических, газодинамических и гидродинамических проявлений позволяет управлять напряженно-динамическим состоянием и обеспечивать устойчивость и живучесть горнотехнической системы. На глубине, превышающей 400–500 метров, особенно в прочных породах, высокое напряжение приводит к внезапным обрушениям. При этом анализ серьезных аварий на газовых шахтах показывает, что катастрофическое развитие событий происходит из-за неправильной работы аэрологических систем [3], где предпосылкой является уменьшение сечения горных выработок за счет конвергенции и обрушений.

В работах [4, 5] отмечается, что в скальных



породах высокие напряжения приводят к горным ударам, тогда как в мягких породах наблюдается значительная деформация.

Ряд исследователей уделяет внимание образованию и раскрытию системы трещин [6–8], предлагая учитывать явления для повышения устойчивости выработок и прогнозирования метановыделения.

Однако для управления процессами поведения массива следует обладать знаниями на основе измеряемых параметров. Предлагаем рассмотреть вопросы измерения смещений горных выработок и сопутствующих параметров при использовании системного подхода и подробно рассмотрим реализацию ключевого компонента системы – датчика линейных перемещений кровли.

Материалы и методы

Предпосылки исследования поведения массива и его внешних проявлений представлены в ряде научных работ. Так, авторами работ [9–11] выполнен ряд исследований изменений внутреннего состояния кровли горных выработок методом георадиолокации. Примеры радарограмм и оценка состояния горных выработок представлены на Рис. 1, 2.

Так, на Рис. 1 показана радарограмма кровли конвейерного штрека с характерной опасной зоной, склонной к обрушению. Отмеченная зона характеризуется высокими амплитудами отраженного радиосигнала.

На Рис. 2 показана радарограмма и выделена область, на которой вывал уже произошел и

имеется склонность к дальнейшему обрушению до 3-3,5 метров.

Использование системного подхода проиллюстрировано структурной схемой горнотехнической системы как объекта управления ее устойчивостью, надежностью, живучестью и безопасностью (см. Рис. 3).

Для эффективной работы блока анализа и принятия решений предлагается сформировать систему контроля состояния горных выработок на базе ключевого компонента – датчика смещений кровли ДСК-2. Исследования работ по рациональным физическим принципам работы датчиков линейных перемещений [12–16] показали эффективную работу на принципе измерения изменяющейся при перемещении емкости.

В работе [17] рассмотрены вопросы реализации наблюдения за состоянием горных выработок с использованием датчиков линейных перемещений.

Проведенный анализ позволил сформировать следующие конструктивные решения по реализации двухуровневого датчика линейного смещения кровли ДСК-2.

Датчик смещения кровли ДСК-2 содержит два чувствительных элемента на основе емкостных преобразователей. Основные преимущества емкостных преобразователей были выявлены по аналитическому обзору ряда работ: простота устройства, высокая чувствительность, малое потребление энергии, отсутствие подвижных контактов, сравнительная простота изготовления, малые габариты и вес,

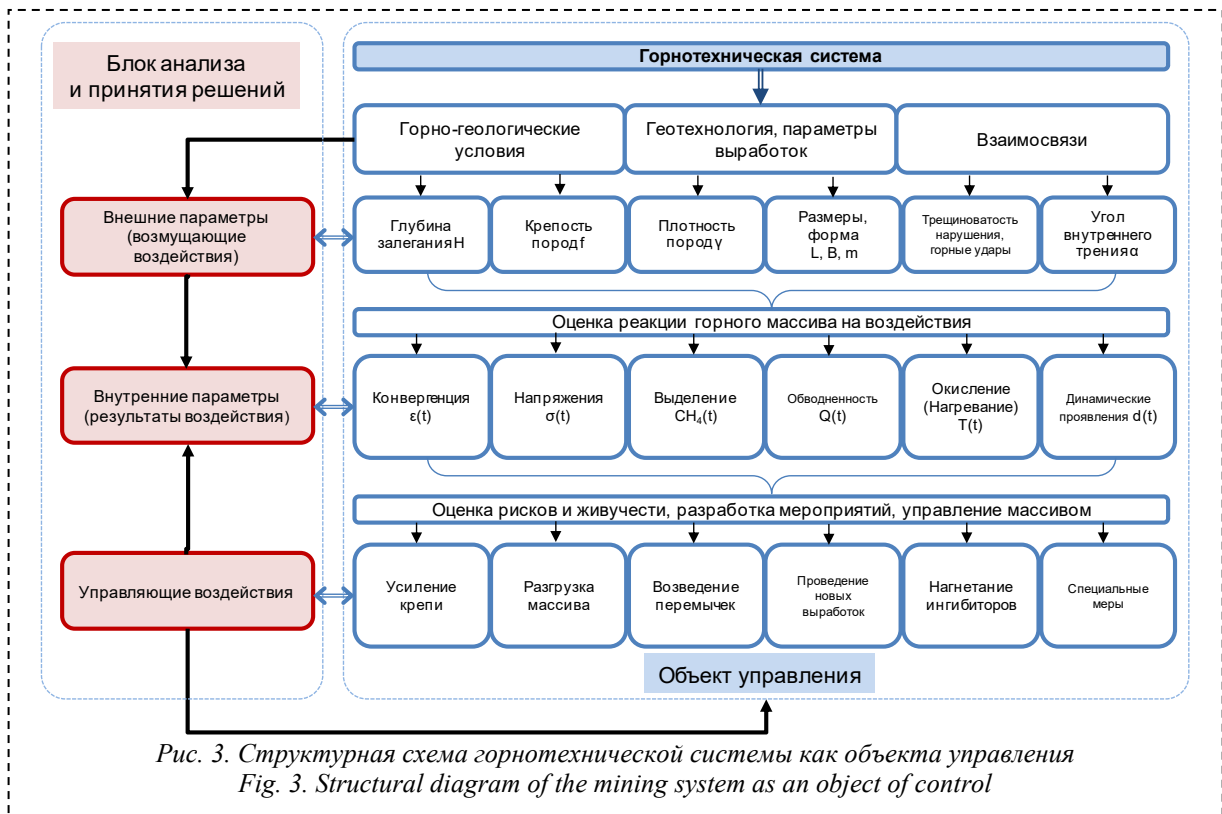


Рис. 3. Структурная схема горнотехнической системы как объекта управления
 Fig. 3. Structural diagram of the mining system as an object of control

долгий срок эксплуатации [18–20]. Применительно к подземным выработкам угольных шахт особое место занимают вопросы помехозащищенности и отсутствие искрящих контактов [21–23]. Опыт эксплуатации, достоинства и ограничения датчиков линейных перемещений подробно рассмотрены в работах [24–27] и окончательно подвели нас к использованию емкостного принципа преобразования.

Внешний вид датчика представлен на Рис. 4 (выводы кабелей питания и связи условно не показаны).

На Рис. 5 представлен вид датчика со снятой крышкой. Внешние рычаги 1, 2 соединены

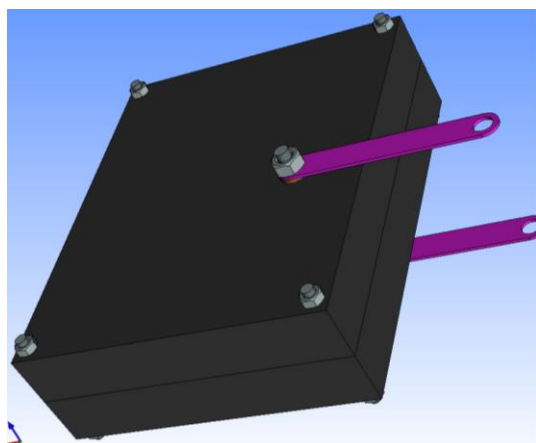


Рис. 4. Внешний вид корпуса двухуровневого датчика с выходными рычагами

Fig. 4. Exterior view of a two-level sensor housing with output levers

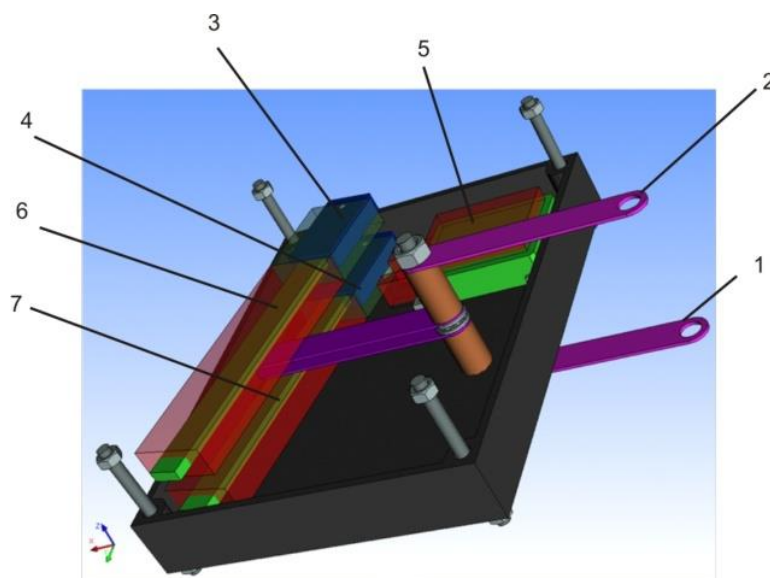


Рис. 5. Вид датчика со снятой верхней крышкой: 1, 2 – рычаги; 3, 4 – роторы чувствительных элементов датчика; 5 – микроконтроллер; 6, 7 – статоры чувствительных элементов датчика

Fig. 5. Sensor type with the top cover removed: 1, 2 – levers; 3, 4 – rotors of sensor sensing elements; 5 – microcontroller; 6, 7 – stators of sensor sensing elements

посредством втулок и тяг с подвижными элементами (роторами) 3, 4 соответственно. Концы рычагов закрепляются к тросовым тягам, ведущим к пружинным зажимам, закрепленным в шпуре. Линейные перемещения кровли приведут к повороту рычагов относительно оси вала и перемещению роторов относительно статоров – неподвижных емкостных пластин (см. Рис. 6.)

Емкостный чувствительный элемент содержит набор пластин для формирования емкостного массива, который обладает высокой чувствительностью к перемещениям. Шаблон емкостных пластин, залитых эпоксидной смолой, наносится на неподвижную часть датчика (статор) (см. Рис. 6). Подвижная часть датчика (ротор) также содержит шаблон емкостей, разделенный на синусную и косинусную пластины. Таким образом, образуются два конденсатора, которые включаются последовательно, при этом верхняя пластина работает как общий электрод. Это помогает точно чувствовать все перемещения датчика.

На Рис. 7 показан вид на датчик сверху, при этом рычаги двух подвижных чувствительных элементов работают независимо друг от друга.

Принцип работы датчика смещения кровли

Принцип работы чувствительных элементов (емкостных преобразователей) представлен на Рис. 8. При смещении кровли выработки ниже места установки якорного крепления 2 тяги 3, жестко закрепленного в шпуре 1, происходит движение тяги 3 вверх. При этом передающая тяга датчика поворачивается против часовой стрелки в направлении 6. Емкостный преобразователь перемещается в направлении 7.

Принцип работы двухуровневого датчика представлен на Рис. 9. При смещении нижних слоев 5 перемещается тяга 3. Датчик 4 жестко закреплен в устье шпура и перемещается с нижними слоями. При перемещении средних слоев кровли 6, расположенных выше уровня заложения анкеров первого уровня (выше жесткого крепления 2), происходит

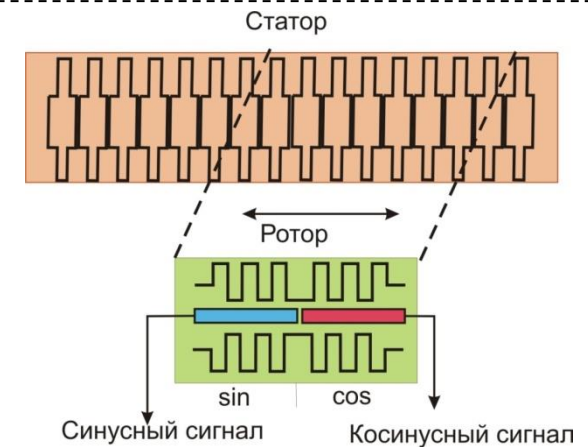


Рис. 6. Шаблоны емкостных пластин для датчика
 Fig. 6. Templates of capacitive plates for the sensor

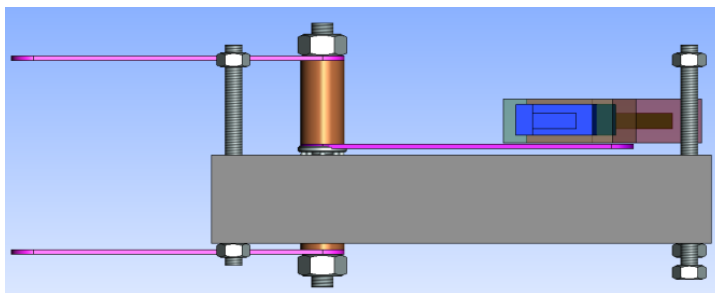


Рис. 7. Вид на датчик со снятой крышкой сверху (контроллер условно не показан)
 Fig. 7. View of the sensor with the lid removed from above (the controller is conditionally not shown)

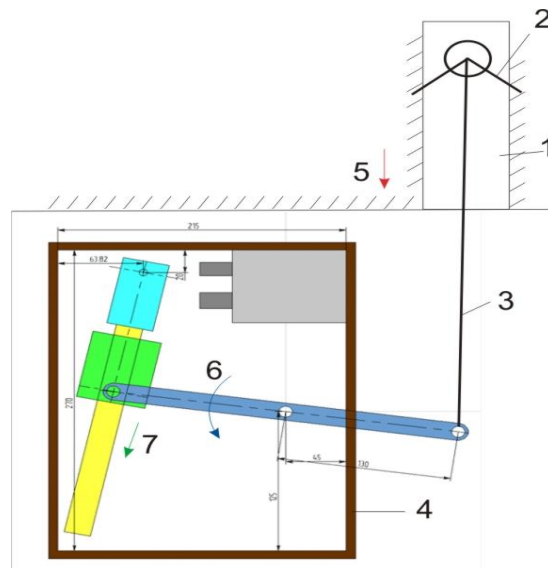


Рис. 8. Принцип работы чувствительных элементов датчика: 1 – шпур, 2 – жесткое крепление тяги, 3 – тяга, 4 – датчик смещения кровли, 5 – направление смещения кровли, 6 – движение передающей тяги, 7 – направление движения чувствительного элемента датчика
 Fig. 8. The principle of operation of the sensor's sensing elements: 1 – spur, 2 – rigid rod attachment, 3 – rod, 4 – roof displacement sensor, 5 – direction of roof displacement, 6 – movement of the transmitting rod, 7 – direction of movement of the sensor's sensing element

перемещение тяги 8 и соответствующего рычага, соединенного с ротором второго чувствительного элемента. Сигналы с каждого чувствительного элемента считываются и передаются на микроконтроллер независимо друг от друга.

Результаты исследований. Реализация опытного образца датчика

В спроектированном корпусе (Рис. 5) был размещен блок регистрации. Блок регистрации предназначен для приема информации от датчиков линейных перемещений, обработки полученных данных и отправки на удаленный компьютер или коммутатор сигналов.

Устройство блока регистрации данных. Блок состоит из следующих функциональных узлов:

- датчик линейных перемещений (ДЛП);
- преобразователь уровня сигнала (ПУ);
- микроконтроллерный блок управления (МК);
- преобразователь интерфейсов USART – RS-485 (ПИ).

Конвертер интерфейса RS-485 – USART TTL (converter) выполнен в промышленном исполнении платы, для работы линии «RS-485» в суровых горно-шахтных условиях или в условиях промышленных помех и имеет элементы для защиты от перенапряжений и аппаратный автоматический контроль потока (Automatic Flow Control).

Конвертер имеет защиту интерфейса – на плате установлены три двунаправленных TVS диода (Transient Voltage Suppression Diode – полупроводниковый ограничитель напряжения или супрессор) и два самовосстанавливающихся предохранителя.

Структурная схема блока регистрации данных приведена на Рис. 10.

Электрический сигнал, полученный с датчиков

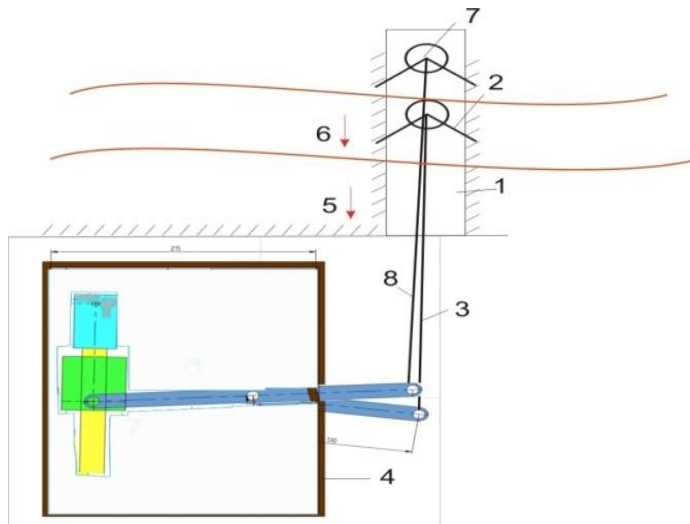


Рис. 9. Принцип работы двухуровневого датчика смещения кровли: 1 – шпур, 2 – жесткое крепление тяги первого чувствительного элемента, 3 – тяга первого чувствительного элемента, 4 – датчик смещения кровли, 5 – направление смещения нижних слоев кровли, 6 – направление смещения слоев кровли выше крепления репера первого уровня, но ниже второго жесткого крепления передающей тяги второго чувствительного элемента, 7 – жесткое крепление тяги второго чувствительного элемента, 8 – тяга второго чувствительного элемента

Fig. 9. The principle of operation of a two-level roof displacement sensor: 1 – a hole, 2 – rigid attachment of the thrust of the first sensitive element, 3 – thrust of the first sensitive element, 4 – roof displacement sensor, 5 – direction of displacement of the lower layers of the roof, 6 – direction of displacement of the roof layers above the mounting of the reference point of the first level, but below the second rigid attachment of the transmitting rod of the second sensitive element, 7 – rigid attachment of the thrust of the second sensitive element, 8 – thrust of the second sensitive element

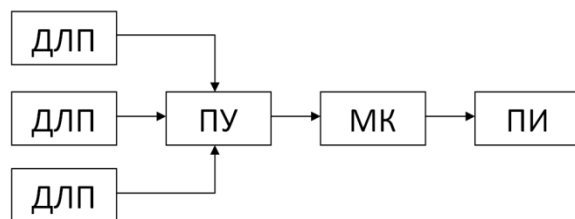


Рис. 10. Структурная схема блока регистрации: ДЛП – датчик линейного перемещения, ПУ – преобразователь уровня сигнала, МК – микроконтроллерный блок управления, ПИ – преобразователь интерфейса USART в RS-485

Fig. 10. Structural diagram of the registration block: ДЛП – linear Motion sensor (DLP), ПУ – signal level converter (PU), МК – microcontroller control unit (MC), ПИ – USART – RS-485 Interface Converter (PI)

перемещений, подается на порт микроконтроллера, обрабатывается в соответствии с заданным алгоритмом работы устройства и через порт Rx микроконтроллера поступает на вход преобразователя интерфейсов для последующей передачи обработанной информации по линии связи до коммутатора

сигналов.

Особенностью применяемых датчиков линейных перемещений является то, что выходной сигнал этих датчиков представляет собой прямоугольные импульсы амплитудой 1,5 В. Такие импульсы не могут быть обработаны микроконтроллером непосредственно, так как распознаются как уровень логического нуля и для корректной обработки в микроконтроллере требуется преобразование данного сигнала.

Преобразователь уровня сигнала предназначен для согласования по напряжению выходного сигнала датчика линейных перемещений и входа микроконтроллера. Сигнал, поступающий от датчиков, представляет собой последовательность двоичных импульсов, уровню логической единицы которых соответствует напряжение 1,5 В, уровню логического нуля – напряжением, равным 0 В. Так как вход микроконтроллера воспринимает подобный уровень логической единицы как логический ноль, то необходима схема согласования уровней. Реализация указанной схемы выполнена на биполярных транзисторах n-p-n типа BC548 (Рис. 11).

Работает схема следующим образом: в момент поступления импульса логической единицы от датчика транзистор VT1 открывается, и напряжение на коллекторе транзистора уменьшается до уровня логического нуля. В момент, когда напряжение на линии соответствует уровню логического нуля, транзистор закрыт, напряжение на коллекторе соответствует уровню логической единицы микроконтроллера (5 В). Таким образом, на выходе каскада формируется импульсное напряжение, соответствующее уровню напряжений микроконтроллера. Сигнал на выходе подобного каскада получается инвертированный по отношению к исходному сигналу, что необходимо учитывать при написании программного обеспечения (ПО) для

микроконтроллера. Каскад на транзисторе VT2 предназначен для преобразования уровней напряжения тактового генератора датчика.

кабеля – примерно 10 метров). Так как датчик может располагаться в местах со значительным удалением от коммутатора сигналов, то для

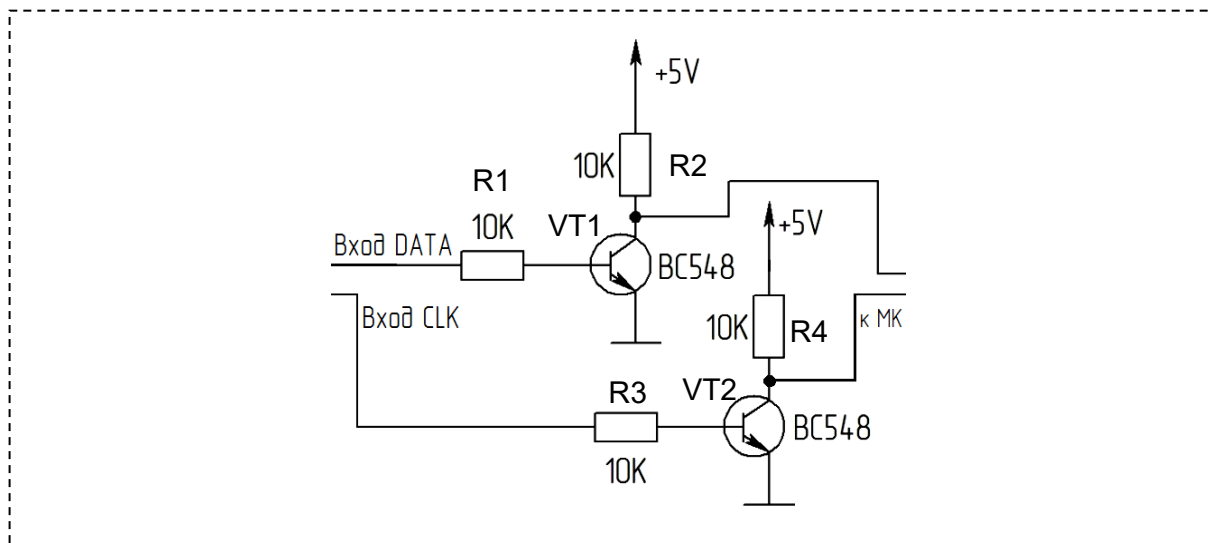


Рис. 11. Принципиальная электрическая схема преобразователя уровней
 Fig. 11. Schematic electrical diagram of the level converter

Таблица 1. Расчет потребляемой мощности блока измерения
 Table 1. Calculation of the power consumption of the measuring unit

Наименование элемента	Напряжение, В	Ток, А	Потребляемая мощность, Вт	Кол-во	Суммарная мощность, Вт
Датчик перемещения	1,5	0,05	0,075	3	0,225
Преобразователь уровня сигнала	5	0,10	0,50	6	3
Микроконтроллерный блок	5	0,05	0,075	1	0,075
Итого	–	–	–	–	3,3

Микроконтроллерный блок управления. Предназначен для приема данных, полученных от датчиков, первичной обработки, формирования блоков данных для отправки на удаленный компьютер. В качестве передатчика данных используется интерфейс USART микроконтроллера. Согласно техническому заданию, на вход микроконтроллера поступают сигналы от трех датчиков, для чего в микроконтроллере использованы три порта ввода-вывода. Полученные сигналы обрабатываются и декодируются микроконтроллером, после чего передаются в преобразователь интерфейсов. Для реализации считывания и декодирования показаний с датчиков микроконтроллер был запрограммирован следующим образом:

Создан метод считывания показаний с датчиков;

Создан метод декодирования показаний.

Преобразователь интерфейсов. В используемом микроконтроллере аппаратно реализован интерфейс USART, который не предназначен для передачи данных на значительные расстояния (ограничение по длине

передачи данных целесообразно использовать интерфейс RS-485. Поскольку в микроконтроллере не предусмотрен данный интерфейс, то для его использования необходим преобразователь интерфейса USART в интерфейс RS-485 для последующей отправки на сервер горного диспетчера.

Питание блока. Питание для блока целесообразнее всего завести от аппарата пускового шахтного АПШ – 127 В, также питание можно завести от питания наиболее близко расположенного светильника – 127 В.

Питание блока осуществляется от внешнего источника вторичного электропитания с выходным напряжением 9 ... 12 В постоянного тока. В целях снижения массогабаритных показателей блока целесообразно использовать импульсный источник.

Для работы устройства блок питания должен обеспечивать выходное напряжение 5 В. При использовании источника электропитания напряжением 9 ... 12 В для питания схемы используется стабилизатор напряжения, смонтированный на печатной плате блока.

Суммарная потребляемая мощность блока

измерения приведена в Таблице 1.

Требования к источнику вторичного электропитания:

Тип – импульсный;

Входное напряжение – 127 В переменного тока;

Выпрямленное напряжение – 9 ... 12 В постоянного тока;

Номинальная мощность: 15 Вт;

Источник питания устанавливается в корпус блока регистрации.

Конструкция блока регистрации. Конструктивно блок регистрации выполнен на печатной плате из односторонне фольгированного текстолита типа FR-4 с элементами электронного монтажа.

Выводы

Разработку управляющих состоянием горнотехнической системы блоков следует начинать с разработки системы управления кровлей горных выработок. В данном исследовании предложена концептуальная модель управления состоянием и живучестью горнотехнической системы. Ключевыми компонентами системы должны становиться первичные преобразователи сигналов измеряемых параметров. От надежности, простоты и доступности базовых компонентов зависит точность и воспроизводимость результатов измерения. Подробно рассмотрена актуальность применения датчиков смещения кровли. Места установки датчиков смещения кровли дополнительно к требованиям нормативных документов рекомендуется дополнять результатами георадарного исследования. Анализ информации, поступающей от датчиков смещений кровли, позволит яснее понимать процессы, происходящие в приконтурном массиве горных пород в режиме реального времени.

Реализация двухуровневого датчика смещения кровли ДСК-2 подробно описана, включая разработку и изготовление корпуса, платы управления, емкостных сенсоров. Проработаны конструктивные решения по монтажу датчика в условиях эксплуатации на угольных шахтах.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание программного обеспечения и промышленную апробацию прототипа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пудов Е. Ю. Выбор рациональных решений при разработке датчика определения смещений в кровле // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 5(171). С. 185–192. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-185-192. EDN FEYQDB.

2. Казанин О. И., Евсюкова А. А. Подготовка выемочных участков тонких пластов с оставлением

породы от проходки в шахте // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2024. № 6. С. 29–37. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-6-29-37. EDN AMNZIK.

3. Кузин Е. Г. Живучесть горнотехнических и транспортных систем // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 5(171). С. 172–184. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-172-184. EDN XDLKDU.

4. Насыров Р. Ш., Третьяк А. В., Неугомонов С. С., Мажитов А. М. Технологические решения адаптации системы разработки с блочным самообрушением для условий рудных тел Донского ГОКа // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2024. № 4. С. 60–68. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-60-68. EDN PZVYLJ.

5. Qingmiao Li., Jianjun Zh., Jianle Yu. [et al.] Experimental study on the evolution law of mining-induced fractures and deformation rock mass structure of gently inclined layered slope // Energy Science & Engineering. 2022. Vol. 10. № 9. Pp. 3667–3688. DOI: 10.1002/ese3.1216. EDN CBCBKM.

6. Liu T., Li M., Lin B. [et al.] Evolution of Coal Fractures and Its Influence on Permeability during Progressive Failure Based on In Situ CT Scanning // Energy and Fuels. 2024. Vol. 38. № 15. Pp. 14119–14135. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c02404. EDN QBPLLI.

7. Wang G., Chen X., Wang Sh., Chen H. Influence of fracture connectivity and shape on water seepage of low-rank coal based on CT 3D reconstruction // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2022. Vol. 102. Pp. 104584. DOI: 10.1016/j.jngse.2022.104584. EDN IHRJWX.

8. Wu M., Li H., Wang L. [et al.] μ CT quantitative assessment of the pore-fracture structures and permeability behaviors of long-flame coal treated by infrared rapid heating // Energy. 2023. Vol. 274. P. 127308. DOI: 10.1016/j.energy.2023.127308. EDN LGZHSM.

9. Pudov E., Kuzin E., Efremkov A. Estimation of impact of rock conditions on the conveyor workings geometry by means of geophysical methods // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIE'2020. Vol. 939. Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2020. P. 012063. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012063. EDN FWVJTS.

10. Бакин В. А., Пудов Е. Ю., Кузин Е. Г., Ремпель К. К. Анализ обследований состояния горных выработок, закрепленных анкерной крепью, с применением георадара // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 10. С. 172–178. EDN UQFPZN.

11. Бакин В. А., Кузин Е. Г., Пудов Е. Ю. Анализ состояния кровли подготовительных горных выработок методом георадиолокации с учетом влияния высоких темпов работы очистного забоя //

Взрывное дело. 2017. № 117–74. С. 288–298. EDN YHPCSH.

12. Компоненты для автоматизации. Режим доступа:

<http://www.linedrive.ru/catalogue/sensors/linear/lt67.html> (дата обращения 25.12.2025)

13. Кольцевые датчики силы растяжения и сжатия. Режим доступа: <http://www.megasensor.com/> (дата обращения 25.12.2025).

14. Гаврилов В. А., Трофимов А. А. Система измерения линейных перемещений // Датчики и системы. 2005. № 9. С. 44–46.

15. 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.

16. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Фрайден Дж.; пер. с англ. Заболотной Ю. А.; под ред. Свинцова Е. Л. М. : Техносфера, 2005. 588 с.

17. 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 IKBDY.

18. 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.

19. Дмитриенко А. Г., Трофимов А. Н., Трофимов А. А., Кирьянов В. Л. Математическая модель, расчет и оптимизация взаимоиндуктивных датчиков линейных перемещений // Датчики и системы. 2012. № 9. С. 16–19.

20. Koskov M. A., Somov S. A., Krylasova O. S., Ivanov A. S. Inertial Ferrofluidic Sensor for Vibration, Displacement and Impulse Measurement with a Linear Output Signal // Problems of the Regional Energetics. 2024. № 4(64). Pp. 80–89. DOI: 10.52254/1857-0070.2024.4-64.07. EDN HJWWHV.

21. Neshina Ye., Yugay V., Alkina A. [et al.] Hardware and Software Complex for Identification of Displacement Based on a Fiber-optic Sensor // Труды

университета. 2024. № 3(96). Pp. 445–451. DOI: 10.52209/1609-1825_2024_3_445. EDN FDFMTMB.

22. Магнитострикционные датчики линейных перемещений «ТрейсЛайн» // Информатизация и системы управления в промышленности. 2024. № 1(109). С. 75–77. EDN OPHFNV.

23. 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 VPLANI.

24. 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.

25. Калмакова А. В., Узинцев О. Е., Головач Д. В. О возможности использования механотронного датчика линейных перемещений в приборе УПИМ-2 для кинетического индентирования // Техника, технологии и перспективные материалы : Межвузовский сборник научных трудов / Шляпин А. Д. (отв. ред.). Москва : Московский государственный индустриальный университет, 2004. С. 126–130. EDN TYGYNX.

26. 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 : Оренбургский государственный университет, 2019. С. 694–698. EDN YZBFUD.

27. 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.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Пудов Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, Россия, г. Прокопьевск, Кемеровская область, 653039, ул. Ноградская, 19а, e-mail: pudov_evgen@mail.ru

Кузин Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, Россия, г. Прокопьевск, Кемеровская область, 653039, ул. Ноградская, 19а, Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук
e-mail: kuzinevgen@gmail.com

Лупий Михаил Григорьевич, кандидат технических наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, Россия, г. Прокопьевск, Кемеровская область, 653039, ул. Ноградская, 19а

Заявленный вклад авторов:

Пудов Евгений Юрьевич – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, разработка методологии, проведение исследования, выводы, написание текста.

Кузин Евгений Геннадьевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, формулировка терминов, разработка методологии, выводы, написание текста.

Лупий Михаил Григорьевич – научный менеджмент, концептуализация исследования, формулировка терминов, разработка методологии, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

MINING CONDITION MONITORING SYSTEM BASED ON A TWO-LEVEL ROOF DISPLACEMENT SENSOR

Evgeny Yu. Pudov¹, Evgeny G. Kuzin^{1,2},
Mikhail G. Lupiy¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

* for correspondence: pudov_evgen@mail.ru



Article info

Received:

18 January 2026

Accepted for publication:

31 January 2026

Accepted:

12 February 2026

Published:

29 June 2026

Keywords: mining engineering system, mining control system, survivability, safety, reliability, underground workings, stability, roof displacement sensor

Abstract.

In this paper, a conceptual solution for the stability management system of a mining engineering system is proposed based on a block of accounting for input parameters and system response parameters. One of the important structural subsystems is the mining condition monitoring system. In turn, any system should be based on key components that have constructive ease of manufacture, reliable operation and a rational operating scheme. Such a component for the underground mining condition monitoring system is the roof displacement sensor, which implements two levels of control. This study is devoted to the study of the design and technological parameters of a two-level roof displacement sensor (DSC-2). The appearance of the sensor housing, the layout of the internal components, the principle of operation and mounting options to the roof are presented. Primary capacitive type converters have been developed, which have the highest resource and noise immunity, which is especially important for coal mines. Signal level converters are considered and an electrical schematic diagram of the level converters and a general block diagram of the controller are developed. The introduction of roof displacement sensors into a comprehensive multifunctional mining safety system, within the framework of the subsystem for monitoring the condition of mining workings, will allow for a better understanding of the processes occurring with the rock mass. The results of the GPR inspection of the roof with characteristic patterns of detected and predicted violations are presented. The installation locations of roof displacement sensors are determined, among other things, by the results of a ground-penetrating radar survey and the identification of potentially dangerous areas. A further area of research is devoted to the development of software for continuous data accumulation and linking a network of similar sensors throughout the mine.

For citation: Pudov E.Yu., Kuzin E.G., Lupiy M.G. Mining condition monitoring system based on a two-level roof displacement sensor. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 2(174):187-198. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-187-198, EDN: JRQANQ

REFERENCES

1. Pudov E.Y. The choice of rational solutions in the development of a sensor for detecting displacements in the roof. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2025; 5(171):185–192. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-185-192. EDN FEYQDB.
2. Kazanin O.I., Evsyukova A.A. Preparation of excavation sites of thin layers with the abandonment of rock from the passage in the mine. *News of higher educational institutions. Mining Journal*. 2024; 6:29–37. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-6-29-37. EDN AMHZIK.
3. Kuzin E.G. Survivability of mining and transport systems. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2025; 5(171):172–184. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-172-184. EDN XDLKDU.
4. Nasyrov R.Sh., Tretyak A.V., Neugomonov S.S., Mazhitov A.M. Technological solutions for adapting a block self-destruction mining system for the conditions of ore bodies of the Donskoy Mining and Processing Plant. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mining Journal*. 2024; 4:60–68. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-60-68. EDN PZVYLJ.
5. Qingmiao Li., Jianjun Zh., Jianle Yu. [et al.] Experimental study on the evolution law of mining-induced fractures and deformation rock mass structure of gently inclined layered slope. *Energy Science & Engineering*. 2022; 10(9)3667–3688. DOI: 10.1002/ese3.1216. EDN CBCBKM.
6. Liu T., Li M., Lin B. [et al.] Evolution of Coal Fractures and Its Influence on Permeability during Progressive Failure Based on In Situ CT Scanning. *Energy and Fuels*. 2024; 38(15):14119–14135. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c02404. EDN QBPLLI.
7. Wang G., Chen X., Wang Sh., Chen H. Influence of fracture connectivity and shape on water seepage of low-rank coal based on CT 3D re-construction. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2022; 102:104584. DOI: 10.1016/j.jngse.2022.104584. EDN IHRJWX.
8. Wu M., Li H., Wang L. [et al.] μ CT quantitative assessment of the pore-fracture structures and permeability behaviors of long-flame coal treated by infrared rapid heating. *Energy*. 2023; 274:127308. DOI: 10.1016/j.energy.2023.127308. EDN LGZHSM.
9. Pudov E., Kuzin E., Efremenkov A. Estimation of impact of rock conditions on the conveyor workings geometry by means of geophysical methods. *IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020*. Vol. 939. Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd; 2020. P. 012063. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012063. EDN FWVJTS.
10. Bakin V.A., Pudov E.Yu., Kuzin E.G., Rempel K.K. Analysis of surveys of the state of mine workings fixed with an anchor with the use of georadar. *Mining information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 10:172–178. EDN UQFPZN.
11. Bakin V.A., Kuzin E.G., Pudov E.Y. Analysis of the roof condition of preparatory mine workings by the geolocation method, taking into account the influence of high work rates of the cleaning face. *Explosive business*. 2017; 117–74:288–298. EDN YHPYCH.
12. Components for automation. Access mode: <http://www.linedrive.ru/catalogue/sensors/linear/lt67.html> (date of issue 12/25/2025)
13. Ring tension and compression force sensors. Access mode: <http://www.megasensor.com/> (date of request 12/25/2025).
14. Gavrilov V.A., Trofimov A.A. A system for measuring linear displacements. *Sensors and systems*. 2005; 9:44–46.
15. Dmitrienko A.G., Nefediev D.I., Trofimov A.A. Electromagnetic sensor of linear displacements with an end joint of rasters. *Measurements. Monitoring. Management. Control*. 2015; 2(12):4–10.
16. Frieden J. Modern sensors. Handbook / translated from English by Zabolotny Yu.A.; edited by Svintsov E.L. Moscow: Technosphere; 2005. 588 p.
17. 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.
18. Report on the research work of the KuzSTU branch in Prokopyevsk No. 13 dated 10.12.2016. Determination of the roof condition by georadiolocation with the identification of probable areas of fracturing, areas of detached roof, moisture-saturated areas. Prokopyevsk: branch of KuzSTU in Prokopyevsk; 2015. 152 p.
19. Dmitrienko A.G., Trofimov A.N., Trofimov A.A., Kiryanov V.L. Mathematical model, calculation and optimization of mutually inductive linear displacement sensors. *Sensors and systems*. 2012; 9:16–19.
20. Koskov M.A., Somov S.A., Krylasova O.S., Ivanov A.S. Inertial Ferrofluidic Sensor for Vibration, Displacement and Impulse Measurement with a Linear Output Signal. *Problems of the Regional Energyics*. 2024; 4(64):80–89. DOI: 10.52254/1857-0070.2024.4-64.07. EDN HJWWHV.
21. Neshina Ye., Yugay V., Alkina A. [et al.] Hardware and Software Complex for Identification of Displacement Based on a Fiber-optic Sensor. *Proceedings of the University*. 2024; 3(96):445–451. DOI: 10.52209/1609-1825_2024_3_445. EDN FDFTMB.

22. Magnetostrictive sensors of linear displacements "TraceLine". *Informatization and control systems in industry*. 2024; 1(109):75–77. EDN OPHFNV.

23. Kononov Yu.V., Chupanovsky M.G. Modeling a linear displacement sensor in an electromechanical control system for high-voltage switches. *Improving the efficiency of energy production and use in Siberia : Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2025. Pp. 63–67. EDN VPLAHI.

24. Goryachev V.Ya., Shatova Yu.A., Abdirashev O.K. Electrical replacement scheme for linear displacement information and measurement systems based on a phase sensor. *Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2019; 1(27):5–11. DOI: 10.21685/2307-5538-2019-1-1. EDN ZSDBLN.

25. Kalmakova A.V., Uzintsev O.E., Golovach D.V. On the possibility of using a mechanotronic linear

motion sensor in the UPM-2 device for kinetic indentation. Engineering, technologies and promising materials : Interuniversity collection of scientific papers. Shlyapin A.D. (ed.). Moscow: Moscow State Industrial University; 2004. Pp. 126–130. EDN TYGYNX.

26. Belonovskaya I.D., Tselovalnikov I.M., Nosikova T.V. New developments of sensors of linear displacements of large lengths of the absolute class. *The University complex as a regional center of education, science and culture : Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference*. Orenburg: Orenburg State University; 2019. Pp. 694–698. EDN YZBFUD.

27. 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.

© 2026 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, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, branch in Prokopyevsk, Russia, Prokopyevsk, Kemerovo region, 653039, Nogradskaya str., 19a, e-mail: pudov_evgen@mail.ru

Evgeny G. Kuzin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, branch in Prokopyevsk, Russia, Prokopyevsk, Kemerovo region, 653039, Nogradskaya str., 19a, Institute of Coal of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
e-mail: kuzinevgen@gmail.com

Mikhail G. Lupiy, Candidate of Technical Sciences, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, branch in Prokopyevsk, Russia, Prokopyevsk, Kemerovo region, 653039, Nogradskaya str., 19a

Contribution of the authors:

Evgeny Yu. Pudov – setting a research task, reviewing relevant literature, developing a methodology, conducting research, conclusions, writing a text.

Evgeny G. Kuzin – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, formulation of terms, development of methodology, conclusions, writing the text.

Mikhail G. Lupiy – scientific management, conceptualization of research, formalization of terms, development of methodology, conclusions, writing the text

All authors have read and approved the final manuscript.

