

УДК 681.178.1

**Леуткин Александр Аркадьевич**

инженер,  
отдел горной и строительной геотехники,  
Институт горного дела СО РАН,  
630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54  
e-mail: [leutkin-alexandr@rambler.ru](mailto:leutkin-alexandr@rambler.ru)

**Симонов Борис Феррапонтович**

доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
отдел горной и строительной геотехники,  
Институт горного дела СО РАН

**Кордубайло Алексей Олегович**

кандидат технических наук, научный сотрудник,  
отдел горной и строительной геотехники,  
Институт горного дела СО РАН

**Барсуков Василий Романович**

техник, отдел горной  
и строительной геотехники,  
Институт горного дела СО РАН

#### **ДАТЧИК КООРДИНАТЫ БОЙКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОЛОТА**

*Аннотация:*

Электромагнитные молоты нашли широкое применение в промышленности, строительстве и горном деле. Для ведения исследований в области ударной энергии, частоты, производительности и энергоэффективности молотов необходимо создание систем определения координаты и скорости бойка. Зачастую конструкция и условия работы молота не позволяют использовать оптические, резистивные и контактные датчики координаты. В статье рассмотрена конструкция системы определения координаты бойка электромагнитного молота с двумя силовыми катушками, позволяющей рассчитывать скорость и кинетическую энергию бойка. Система разработана на базе датчика положения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Установлено, что для корректной работы системы определения координаты необходимо нарезать канавки на поверхности бойка. Испытания разработанной системы производились на физической модели молота. В статье определены оптимальные ширина и глубина канавок, составляющие по 1,5 – 2 мм. Торец датчика должен располагаться на расстоянии 1–2 мм от поверхности бойка. Установлено, что расстояние между канавками должно составлять не менее 20 мм для корректного определения координаты и упрощения математической обработки сигнала с датчика. В ходе испытаний исследовано движение бойка с нулевой начальной скоростью под действием силы тяжести. По осциллограмме сигнала, снятого с датчика, построены графики зависимости скорости и перемещения бойка от времени. Форма графиков соответствует равноускоренному движению. Кроме того, анализ графиков позволил определить ускорение бойка, которое отличается от ускорения свободного падения вследствие влияния компрессионно-вакуумного сопротивления и силы трения. Это подтверждает корректную работу созданной системы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2026.01.077

**Leutkin Alexander A.**

Engineer,  
Department of mining and construction geotechnics,  
Institute of Mining, Siberian Branch of RAS,  
54 Krasny Prospekt, Novosibirsk 630091,  
e-mail: [leutkin-alexandr@rambler.ru](mailto:leutkin-alexandr@rambler.ru)

**Simonov Boris F.**

Doctor of Technical Sciences,  
Leading Researcher,  
Department of mining and construction geotechnics,  
Institute of Mining, Siberian Branch of RAS

**Kordubailo Alexey O.**

Candidate of Technical Sciences, Researcher,  
Department of mining and construction geotechnics,  
Institute of Mining, Siberian Branch of RAS

**Barsukov Vasily R.**

Technician,  
Department of mining and construction geotechnics,  
Institute of Mining, Siberian Branch of RAS

#### **ELECTROMAGNETIC HAMMER STRIKER'S COORDINATE SENSOR**

*Abstract:*

Electromagnetic hammers are widely used in industry, construction, and mining. Research into hammer impact energy, frequency, productivity, and energy efficiency requires the development of systems for determining the striker's position and velocity. Hammer design and operating conditions often preclude the use of optical, resistive, and contact position sensors. This article examines the design of position detection system of the electromagnetic hammer striker with two power coils, which allows for calculating the striker's velocity and kinetic energy. The system is based on an internal combustion engine crankshaft position sensor. It was established that, for the position detection system to function correctly, grooves must be cut into the striker's surface. Tests of the developed system were conducted on a physical model of the hammer. The article determines the optimal groove width and depth, which are 1.5-2 mm each. The sensor end should be located 1-2 mm from the striker's surface. It was determined that the distance between the grooves should be at least 20 mm to accurately determine the coordinate and simplify the mathematical processing of the sensor signal. During testing, the striker's motion with zero initial velocity under the influence of gravity was studied. Using the oscillogram of the signal collected from the sensor, graphs were constructed showing the striker's velocity and displacement as a function of time. The shape of the graphs corresponds to uniformly accelerated motion. Furthermore, analysis of the graphs allowed us to determine the striker's acceleration, which differs from the gravity acceleration due to the influence of compression and vacuum resistance and friction. This confirms the correct operation of the developed system.

*Ключевые слова:* электромагнитный молот, индуктивный датчик, математическая обработка, немагнитный зазор, канавки, ферромагнитные материалы, датчик координаты.

*Key words:* electromagnetic hammer, inductive sensor, mathematical processing, non-magnetic gap, grooves, ferromagnetic materials, coordinate sensor.

### Введение

В строительстве, промышленности и горном деле широко применяются ударные машины как часть буровых и копровых установок [1, 2], а также для разрушения обломков породы в карьерах [3] и роботизированной добычи полезных ископаемых в шахтах [4]. Значительная часть этих машин имеет гравитационные, пневматические, гидравлические приводы. По сравнению с ними электромагнитный привод имеет ряд преимуществ: способность работы в любом положении, относительную простоту изготовления, возможность управления энергией и частотой ударов без внесения изменений в конструкцию, устойчивую работу в условиях низких температур, экологическую безопасность в применении [5, 6].

Электромагнитная ударная машина (рис. 1) с двумя силовыми катушками состоит из диамагнитной направляющей 2, верхней 4 и нижней 8 силовых катушек. Боек 11 изготавливается из ферромагнитного материала и перемещается внутри направляющей. Для снижения влияния компрессионно-вакуумного сопротивления по оси бойка просверлено отверстие. Корпус 5, полюсы 3, 6, 7 и 9 катушек изготовлены из магнитной стали, что предотвращает рассеяние магнитного поля катушек за пределы конструкции молота и обеспечивает замыкание силовых линий магнитного поля через боек. В пространстве 12, не занятом катушками, размещается дополнительное оборудование, например, в нем можно установить датчик координаты бойка. Движение бойка происходит под действием электромагнитных сил катушек. Боек совершает возвратно-поступательное движение и наносит удары по инструменту 10, смонтированному в подшипнике скольжения 13. Применение упругого демпфера 1 позволяет снизить габариты молота и повысить частоту ударов.

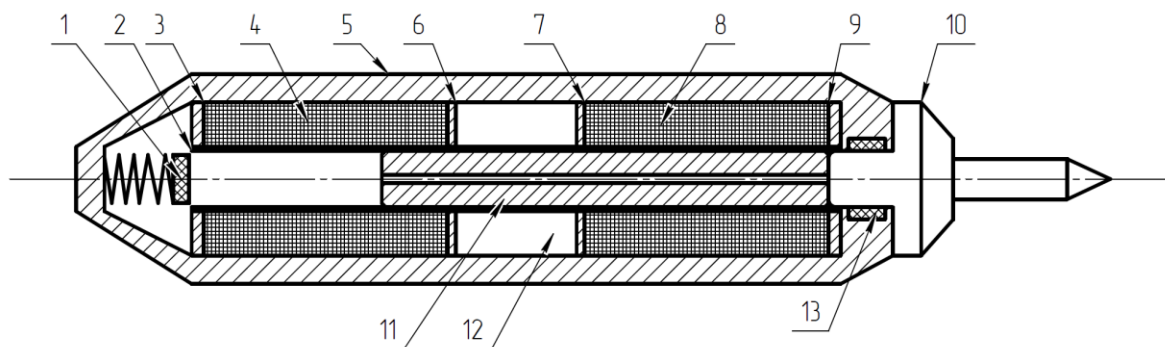


Рис. 1. Конструкция электромагнитного молота

В состав современных промышленных конструкций электромагнитных молотов входит система управления, отслеживающая только крайние положения бойка, так как этой информации достаточно для своевременной коммутации катушек. Для ведения более гибкого управления молотом в течение рабочего цикла с целью регулирования ударной энергии и частоты ударов, а также исследований в области энергоэффективности, необходимо отслеживать координату и скорость бойка на всех этапах движения. Наиболее простым решением этой задачи является математическое [7] и имитационное моделирование рабочих процессов электромагнитного молота [8, 9]. Однако в модели невозможно учесть абсолютно все особенности молота, которых достаточно много: характеристики материалов, динамические силы трения и сопротивления, вихревые токи, нагрев, магнитные поля рассеяния.

Решению этой проблемы посвящены работы [10, 11], в которых описаны системы отслеживания координаты бойка на базе герконовых или индуктивных датчиков. Такие системы имеют следующие недостатки: смещение центра тяжести бойка, необходимость создания дополнительных отверстий или прорезей в направляющей, высокая стоимость всей системы.

Цель исследования – разработка датчика, позволяющего определять координату и скорость бойка на всем пути его перемещения.

#### *Материалы и методы исследований*

В работе предлагается отслеживание фиксированных точек на поверхности бойка с помощью индуктивного датчика положения. В качестве прототипа может быть рассмотрен датчик положения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. В состав конструкции созданного датчика (рис. 2) входит немагнитный корпус 1, внутри которого размещена катушка индуктивности 3. Катушка имеет ферромагнитный сердечник 5, соединенный с мощным постоянным магнитом 2. Силовые линии 4 магнитного поля замыкаются благодаря ферромагнитному бойку 6. Датчик работает так: при перемещении бойка канавки 7, нарезанные на его поверхности, перемещаются вблизи сердечника, что приводит к изменению ширины немагнитного зазора между бойком и сердечником. Возникает изменение магнитного поля, и в обмотке датчика наводится ЭДС индукции. Полученный сигнал по кабелю выводится к осциллографу.

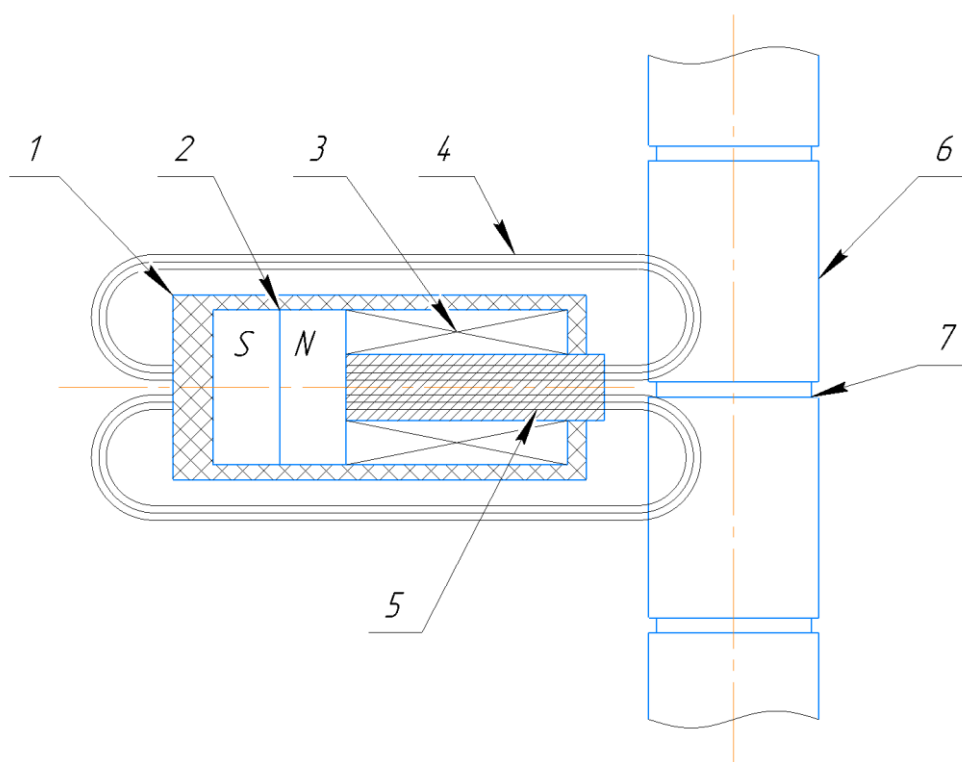


Рис. 2. Схема датчика положения бойка

В ходе предварительных исследований установлено, что расстояние между торцом датчика и поверхностью бойка влияет на амплитуду сигнала. Размещение датчика на расстоянии менее 1 мм позволяет обеспечить величину сигнала датчика до 0,5 В, чего хватает для обработки микроконтроллером без использования усилительных устройств. В то же время существует вероятность физического контакта между сердечником датчика и бойком, что может привести к повреждению сердечника или крепления датчика. Удаление датчика на расстояние более 2 мм от поверхности бойка снижает амплитуду сигнала и увеличивает влияние помех в сигнальной линии. Таким образом, оптимально

размещать датчик на расстоянии 1 – 2 мм от поверхности бойка.

Для снижения влияния помех на сигнал целесообразно выполнять канавки шириной 1,5 – 2 мм.

Расстояние между канавками должно составлять не менее 20 мм, так как сигнал от одной канавки накладывается на другой. Это усложняет обработку результатов экспериментов при больших перемещениях бойка. Поэтому желательно иметь участок нулевого сигнала, который соответствует гладкой цилиндрической поверхности бойка. Большое расстояние может снизить точность измерений. Оптимальный шаг канавок составляет 20 – 30 мм.

С учетом результатов экспериментов изготовлен стенд (рис. 3), содержащий индуктивный датчик и обеспечивающий движение бойка под действием силы тяжести (свободное падение) при нулевой начальной скорости бойка. Стенд состоит из двух одинаковых модулей, имеющих стальные корпуса 15 и 18 и диаманитные направляющие 14 и 17. Боек 13 с канавками шириной 2 мм и глубиной 1,5 мм фиксируется в верхней части стенда за узел подвеса 11 с помощью монтажного пальца 12. Шаг канавок составляет 25 мм. Между модулями размещен датчик 16 координаты бойка. Под стендом располагается жесткая наковальня 19, ограничивающая ход бойка. Для удобства обработки осциллограмм канавки на схеме пронумерованы.

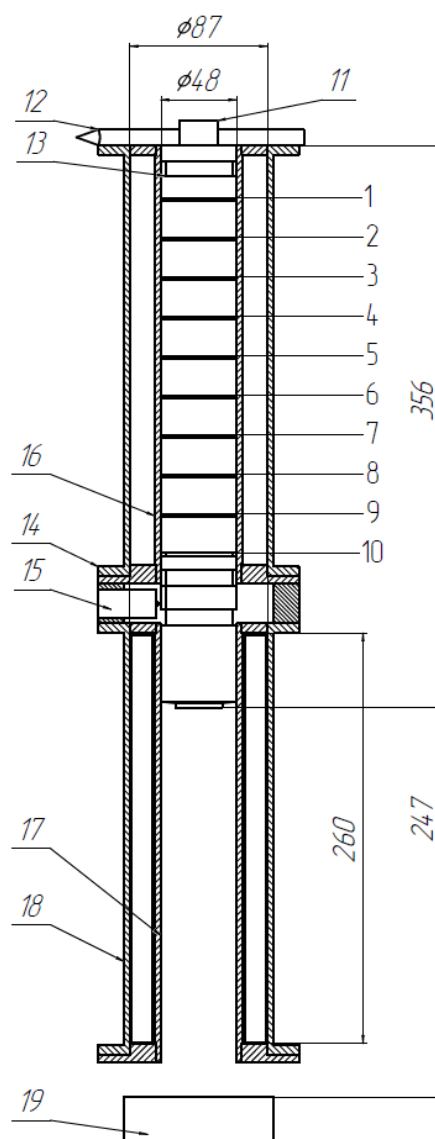


Рис. 3. Схема стенда

Эксперимент проходит следующим образом. При резком извлечении монтажного пальца предварительно закрепленный боек начинает движение с нулевой начальной скоростью под действием ускорения свободного падения. Сигнал с датчика регистрируется осциллографом и выводится на персональный компьютер. Осциллограмма сигнала с датчика координаты бойка представлена на рис. 4. Номера отметок соответствуют номерам канавок на рис. 3. Первой мимо датчика проходит широкая канавка, предназначенная для размещения подшипника скольжения. Это происходит с низкой скоростью, поэтому сигнал с датчика незначительный.

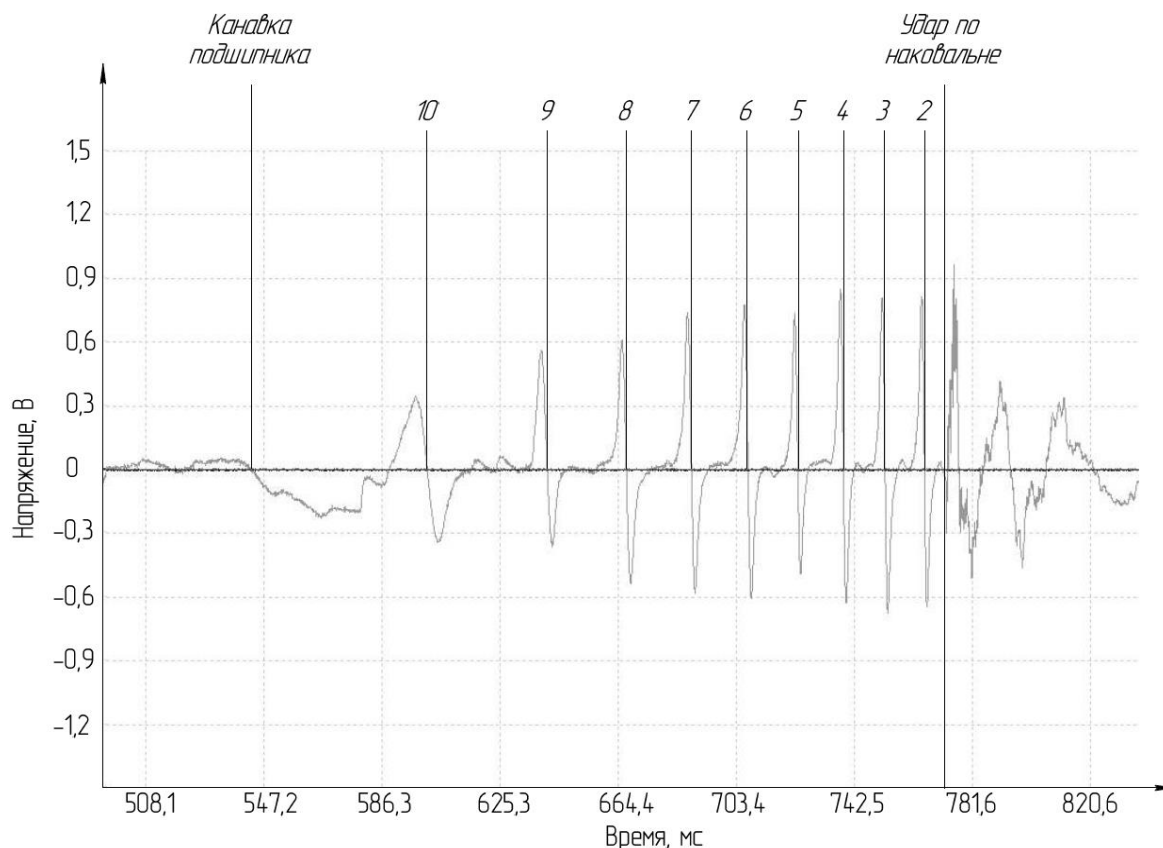


Рис. 4. Осциллограмма сигнала с датчика координаты бойка

Измерение временных промежутков между импульсами ( $t_{ki}$ ) на осциллограмме позволяет производить вычисление скорости, координаты и кинетической энергии бойка.

#### *Результаты исследований и их обсуждение*

Скорость бойка на каждом участке между канавками вычисляется по формуле (1):

$$V_i = \frac{B}{t_{ki}}, \quad (1)$$

где  $B=25$  мм – расстояние между канавками;  $t_{ki}$  – длительность движения бойка на  $i$ -м участке.

По положению бойка на конец каждого участка движения, совпадающему по времени с импульсами на осциллограмме, вычисляется перемещение. Таким образом определяется характер зависимости перемещения бойка от времени. Интервалы времени  $t_{ki}$  определялись по вершинам положительных полуволн сигнала датчика из условия, что за этот интервал боек перемещается на расстояние, равное шагу канавок.

График скорости представлен на рис. 5.

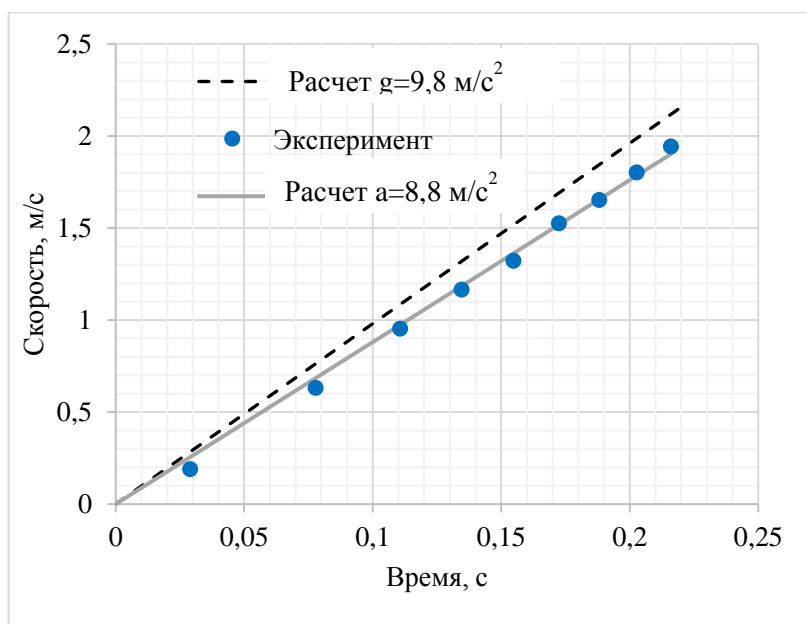


Рис. 5. Графики расчетной и экспериментальной зависимостей скорости бойка от времени при движении под действием силы тяжести

Зависимость скорости от времени описывается прямой линией. Реальная скорость движения бойка меньше расчетной, что может свидетельствовать о действии сил трения и компрессионно-вакуумного сопротивления. Экспериментальные данные аппроксимируются прямой, соответствующей зависимости скорости от времени при ускорении  $8,8 \text{ м/с}^2$ , что показано на рис. 5.

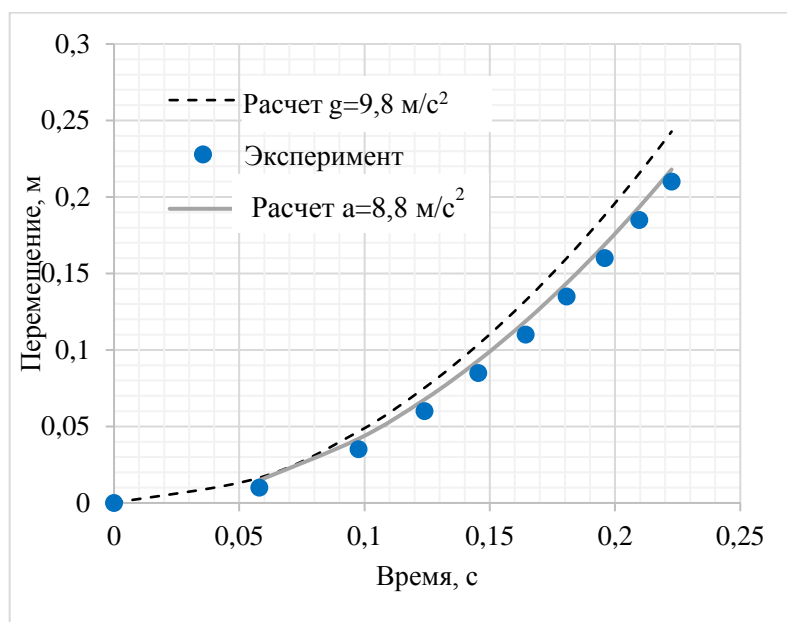


Рис. 6. График расчетной и экспериментальной зависимостей координаты бойка от времени при движении под действием силы тяжести

График экспериментальной зависимости перемещения бойка от времени (рис. 6) параболический. Перемещение бойка, измеренное экспериментально, меньше расчетного. Это хорошо согласуется с графиком на рис. 5. Кроме того, график зависимости перемещения от времени, рассчитанной для ускорения  $8,8 \text{ м/с}^2$ , соответствует результатам эксперимента.

Форма графиков соответствует равноускоренному движению, что подтверждает применимость разработанной системы для отслеживания координаты и скорости бойка. Импульс напряжения с датчика не имеет крутых фронтов и спадов. Это позволяет сделать предположение о том, что можно создать систему измерения, которая будет рассчитывать координату бойка, используя сигналы индуктивного датчика.

### Заключение

Анализ результатов экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

1. Система отслеживания координаты и скорости бойка электромагнитного молота может быть создана на основе индуктивного датчика положения.
2. Для реализации этой идеи необходимо нарезать на поверхности бойка канавки шириной 1,5 – 2 мм и глубиной до 1,5 мм. Более широкие и глубокие канавки выполнять нерационально. При уменьшении глубины падает амплитуда сигнала с датчика, что может потребовать применения усилителей.
3. Между канавками должен быть участок нулевого сигнала длиной не менее 20 мм, облегчающий обработку осциллограмм. Длина участка более 30 мм ухудшит точность. Поэтому оптимальный шаг канавок на бойке составляет 20 – 30 мм.
4. Оптимальное расстояние между торцом датчика и поверхностью бойка составляет 1 – 2 мм. Расстояние менее 1 мм создает опасность контакта между бойком и датчиком. Удаление торца датчика от поверхности бойка более 2 мм уменьшает амплитуду полезного сигнала.
5. Графики зависимостей скорости и перемещения бойка от времени при движении с нулевой начальной скоростью под действием силы тяжести соответствуют равноускоренному движению, что свидетельствует о корректной работе разработанной системы.

### Список литературы

1. Городилов Л.В., Кудрявцев В.Г., Пашина О.А., 2014. Разработка и создание гидромолотов для исполнительных органов горных и строительных машин. *Интерэкспо Гео-Сибирь*, № 4.
2. Тищенко И.В., 2024. Использование пневмоударной техники для сооружения опор легких мостовых переходов. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*, Т. 1, № 1, С. 102-108.
3. G. Wang, X. Liu, Y. Chang, L. Song, C. Zhou, and Z. Wang, 2023. Analysis on rockburst failure energy evolution of model specimen under stress gradient. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 56, No. 10, pp. 7255–7268.
4. Плохих В.В., 2022. Создание пневматической ударной машины для реализации адаптивных технологических процессов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 7, С. 91–103.
5. Симонов Б.Ф., Погарский Ю.В., Кадышев А.И., Вовк В.С., 2019. Электромагнитные молоты для морского нефтегазопромыслового строительства. *PRO Нефть*, № 2, С. 59-65.
6. Wróblewski A., Krot P., Zimroz R., Mayer T. and Peltola J., 2023. Review of linear electric motor hammers – an energy-saving and eco-friendly solution in industry. *Energies*, Vol. 16, No. 2, p. 959.
7. Repetto M., Dimauro L. and Bonisoli E., 2023. Multicriteria design of an electromagnetic hammer. *2023 14th International Symposium on Linear Drivers for Industry Applications (LDIA), Hannover, Germany*, pp. 1-5.
8. Jawdat S. Alkasassbeh, Vlademer E. Pavlov, Khalaf Y. Al-Zyoud, Tareq A. Al-Awneh, Osamah Alkasassbeh, Ayman Y. Al-Rawashdeh, 2024. Design and performance analysis of a long-stroke electromagnetic double-reel hammer. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 36, No. 1, pp. 137-152.

9. Ayman Y. Al-Rawashdeh, Vlademer E. Pavlov, 2024. Study of operating modes of electromagnetic hammer with adjustable impact energy and blow frequency. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, Vol. 15, No. 1, pp. 64-73.

10. Vassin K., Yedygenov Y., Aldiyarov N., Voronin V., 2018. Development of an electronic control module and research of dynamic and power characteristics of an electromagnetic hammer for destruction of boulders. *E3S Web of Conferences*. URL:[https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1772531575&tld=ru&lang=en&name=e3sconf\\_pcdg2018](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1772531575&tld=ru&lang=en&name=e3sconf_pcdg2018) (дата обращения 3.03.2026)

11. Vassin K., Yedygenov Y., Aldiyarov N., Voronin V., 2020. Development and bench tests of a programmable logic controller "Simens Logo" based control system of an electro-magnetic hammer for destruction of boulders. *E3S Web of Conferences*. URL: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=MOSjhp8AAAAJ&citation\\_for\\_view](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=MOSjhp8AAAAJ&citation_for_view) (дата обращения 3.03.2026)

### References

1. Gorodilov L.V., Kudryavtsev V.G., Pashina O.A., 2014. Razrabotka i sozдание gidromolotov dlya ispolnitel'nykh organov gornyx i stroitel'nykh mashin [Development and creation of hydraulic hammers for executive bodies of mining and construction machines]. *Interesko Geo-Sibir'*, № 4.

2. Tishchenko I.V., 2024. Ispol'zovanie pnevmoudarnoi tekhniki dlya sooruzheniya opor legkikh mostovykh perekhodov [Use of pneumatic impact equipment for the construction of supports for light bridge crossings]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyx nauk*, Vol. 1, № 1, P. 102-108.

3. G. Wang, X. Liu, Y. Chang, L. Song, C. Zhou, and Z. Wang, 2023. Analysis on rockburst failure energy evolution of model specimen under stress gradient. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 56, No. 10, pp. 7255–7268.

4. Plokhikh V.V., 2022. Sozдание pnevmaticheskoi udarnoi mashiny dlya realizatsii adaptivnykh tekhnologicheskikh protsessov [Development of a pneumatic impact machine for the implementation of adaptive technological processes.]. *Gorni informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 7, P. 91–103.

5. Simonov B.F., Pogarskii Iu.V., Kadyshev A.I., Vovk V.S., 2019. Elektromagnitnye moloty dlya morskogo neftegazopromyslovogo stroitel'stva [Electromagnetic hammers for offshore oil and gas field construction]. *PRO Neft'*, № 2, P. 59-65.

6. Wróblewski A., Krot P., Zimroz R., Mayer T. and Peltola J., 2023. Review of linear electric motor hammers – an energy-saving and eco-friendly solution in industry. *Energies*, Vol. 16, No. 2, p. 959.

7. Repetto M., Dimauro L. and Bonisoli E., 2023. Multicriteria design of an electromagnetic hammer. *2023 14th International Symposium on Linear Drivers for Industry Applications (LDIA), Hannover, Germany*, pp. 1-5.

8. Jawdat S. Alkasassbeh, Vlademer E. Pavlov, Khalaf Y. Al-Zyoud, Tareq A. Al-Awneh, Osamah Alkasassbeh, Ayman Y. Al-Rawashdeh, 2024. Design and performance analysis of a long-stroke electromagnetic double-reel hammer. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 36, No. 1, pp. 137-152.

9. Ayman Y. Al-Rawashdeh, Vlademer E. Pavlov, 2024. Study of operating modes of electromagnetic hammer with adjustable impact energy and blow frequency. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, Vol. 15, No. 1, pp. 64-73.

10. Vassin K., Yedygenov Y., Aldiyarov N., Voronin V., 2018. Development of an electronic control module and research of dynamic and power characteristics of an electromagnetic hammer for destruction of boulders. *E3S Web of Conferences*. URL:[https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1772531575&tld=ru&lang=en&name=e3sconf\\_pcdg2018](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1772531575&tld=ru&lang=en&name=e3sconf_pcdg2018) (data obrashcheniya 3.03.2026)



---

11. Vassin K., Yedygenov Y., Aldiyarov N., Voronin V., 2020. Development and bench tests of a programmable logic controller "Simens Logo" based control system of an electromagnetic hammer for destruction of boulders. *E3S Web of Conferences*. URL: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=MOSjhp8AAAAJ&citation\\_for\\_view](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=MOSjhp8AAAAJ&citation_for_view) (data obrashcheniya 3.03.2026)