

Л. В. Городилов^{1,2✉}, В. Г. Кудрявцев¹, А. И. Першин¹

Испытания оптического датчика для измерения предупредной скорости бойка ударного устройства

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: gor@misd.ru

Аннотация. Разработан датчик измерения линейной скорости твердых тел, который может быть использован для измерения предупредной скорости бойка ударного устройства. Датчик представляет собой две пары свето- и фотодиодов, устанавливаемых в стенках специальной обоймы-кольца таким образом, чтобы лучи светодиодов проходили по диаметру ствола и попадали на фотодиоды. При пересечении бойком лучей, находящихся на расстоянии друг от друга и от плоскости соударения бойка и инструмента, происходит изменение освещенности фотодиодов и соответственно величины сигналов, поступающих от них на регистрирующую аппаратуру. По моментам пересечения лучей бойком и известному расстоянию между ними вычисляется скорость. Приводятся методики определения его параметров и динамических испытаний.

Ключевые слова: датчик, пары свето- и фотодиодов, база, предупредная скорость

L. V. Gorodilov^{1,2✉}, V.G. Kudryavsev¹, A. I. Pershin¹

Testing of an optical sensor for measuring the pre-impact velocity of the impact device

¹Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: gor@misd.ru

Abstract. An optical velocity sensor for measuring the linear velocity of solids has been developed, which can be used to measure the pre-impact velocity of the firing pin of an impact device. The sensor consists of two pairs of light and photodiodes mounted in the walls of a special ring cage in such a way that the LED beams pass through the diameter of the barrel and hit the photodiodes. When the firing pin intersects beams located at a distance from each other and from the plane of impact of the firing pin and the instrument, the illumination of the photodiodes changes and, accordingly, the magnitude of the signals coming from them to the recording equipment. The velocity is calculated based on the points of intersection of the loops and the known distance between them. The methods of determining its parameters and dynamic tests are given.

Keywords: sensor, pairs of light and photodiodes, base, pre-impact velocity

Введение

Создание новых и совершенствование существующих ударных устройств (УУ) для отбойки и разрушения горных пород, бурения скважин [1–9] является актуальной научно-технической задачей.

При разработке новых образцов УУ, оптимизации их параметров необходимы испытания и экспериментальные исследования, которые в данном случае представляют сложную задачу, так как ведутся на устройствах с большими реактивными силами, подверженными высоким виброударным нагрузкам.

Одной из проблем при этом является определение предударной скорости бойка, с использованием которой рассчитывается энергия удара и ударная мощность устройства. Некоторые соображения и методики по измерению предударной скорости и расчету энергии удара можно найти, например, в [10-14].

Для определения предударной скорости бойка достаточно регистрации его движения в момент непосредственно перед взаимодействием с инструментом. В настоящей работе для этой цели разработан оптический датчик скорости, конструкция и некоторые результаты испытаний которого представлены в статье.

Конструкция оптического датчика. Способ установки на УУ

Оптический датчик скорости (ОС), являющийся разработкой лаборатории моделирования импульсных систем ИГД СО РАН, представляет собой две пары элементов «ИК лазерный модуль - фотодиод» (рис. 1а), смонтированных на кольце. Оси лучей лазеров проходят через центр кольца и находятся на расстоянии 3 мм друг от друга вдоль оси кольца. В открытом состоянии лучи лазерных модулей попадают на соответствующие чувствительные элементы фотодиодов.

Датчик при помощи винтов крепится на стволе УУ (рис. 1б), в котором предварительно просверлены отверстия для прохождения лазерных лучей, таким образом, что ближний луч лазера находится на расстоянии 3 мм от плоскости ударного взаимодействия бойка с инструментом.

Электрическая схема ОС представлена на рис. 2. При движении бойка перед ударом по инструменту происходит последовательное перекрытие лучей лазеров, падающих на фотодиоды, вследствие чего изменяется сигнал на выходе Увых. Выходной сигнал подается непосредственно на аналого-цифровой преобразователь.

На рис. 3 представлен скриншот окна программы Power Graph 3.0 с осциллограммой записи сигнала с ОС, на которой 1, 2 - точки пересечения торцом бойка лучей лазеров, Т - время прохождения расстояния между лучами.

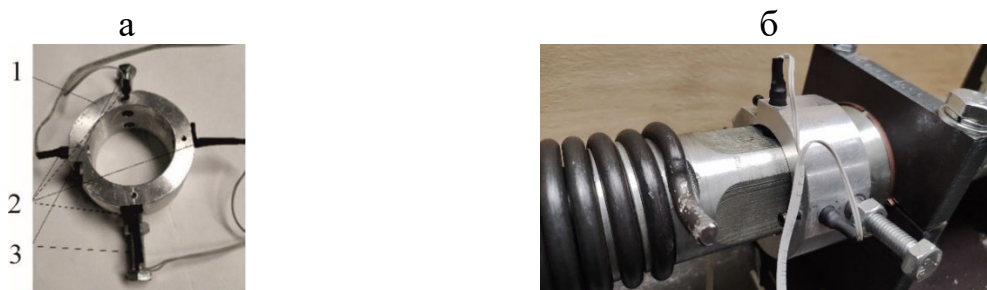


Рис. 1. Конструкция оптического датчика и его установка на стволе ударного устройства

1 – кольцо с соосными отверстиями, 2 – пары «ИК лазерный модуль - фотодиод», 3 – фиксирующие винты

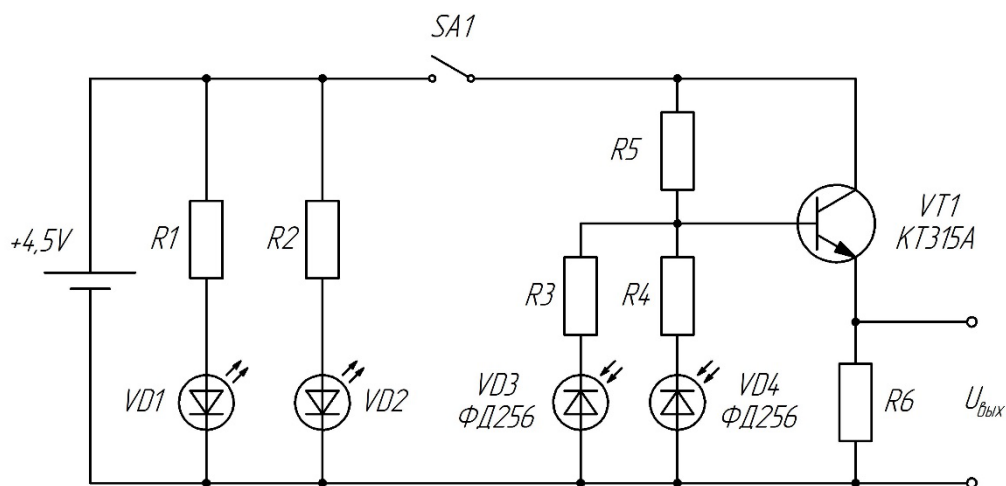


Рис. 2. Электрическая схема ДПЛ: VD1, VD2 и VD3, VD4 соответственно ИК лазерные модули и фотодиоды

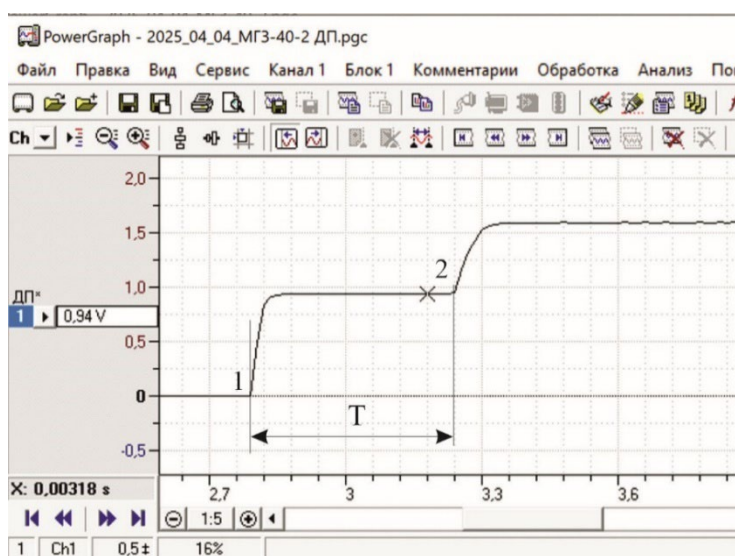


Рис. 3. Осциллограммы сигнала от оптического датчика положения ОС в программе PowerGraph 3.0.

1, 2 – моменты пересечения передним торцом бойка лучей лазерных модулей, T – время прохождения бойком расстояния S=3 мм перед ударом

Предударная скорость бойка определяется по формуле

$$V = L/T, \text{ м/с} \quad (1)$$

где L – расстояние между осями лучей лазерных модулей, L = 3 мм, T – интервал времени прохождения бойком расстояния L в мс.

Методика измерения базы L между лучами датчика

Измерение L датчика ОС-1 производится на токарном станке ТВ320. Датчик 1 устанавливается в кулачки патрона токарного станка, оси станка и датчика совмещаются (рис. 4).

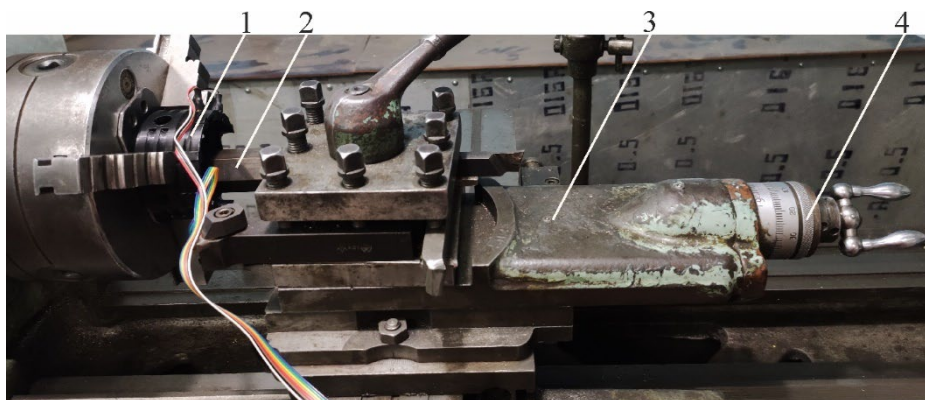


Рис. 4. Фотография токарного станка с датчиком ОС-1

1 – датчик ОС-1, 2 – стержень, 3 – салазки верхние, 4 – лимб отсчета перемещения верхних салазок

В верхние салазки продольного перемещения станка соосно с осью станка закрепляется стержень 2. Электронный блок датчика подключается к аналого-цифровому преобразователю, сигнал с которого подается на АЦП и персональный компьютер. При медленном вращении лимба отсчета перемещения 4 по цене деления 0.02 мм фиксируется его положение, при которых сигнал от датчика изменится на 5 мВ от постоянного значения сначала $U_1 \approx 0$ В, затем $U_2 \approx 0.5$ В. На рис. 5 представлен график изменения сигнала, полученного при испытаниях датчика.

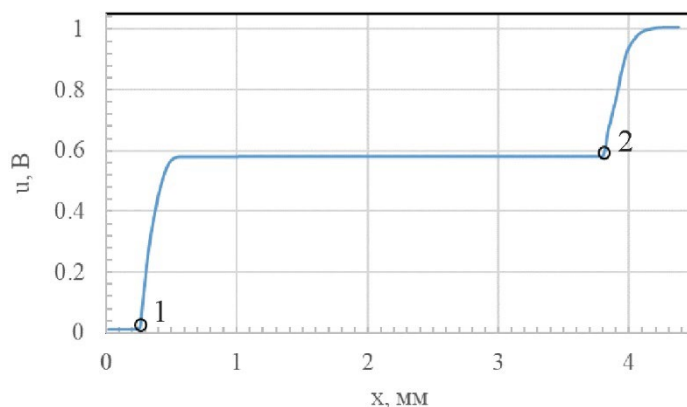


Рис. 5. График изменения сигнала при испытаниях датчика

1, 2 – точки, в которых уровень сигнала от датчика отклонялся на величину более 5 мВ от постоянного значения

Для испытанного датчика координаты x точек 1 и 2, при которых отклонение сигнала от датчика превышало 5 мВ, составляли соответственно $x_1=0.26$ мм и $x_2=3.82$ мм. База L при этом равна:

$$L = x_2 - x_1 = 3.56 \text{ мм}$$

Погрешность такого метода измерения базы определяется шкалой деления лимба верхних салазок, которая составляет $\Delta L = 0.02$ мм.

Динамические испытания датчика

Динамические испытания проводили на стенде определения скорости индуктивных датчиков, который представлял из себя (рис. 6а) обойму с поршнем 1 и тяжелую металлическую плиту 4. Поршень фиксировался пластиной на определенной высоте, после вытаскивания пластины он свободно падал в обойме под собственным весом, в конце падения пересекал лучи оптического датчика.

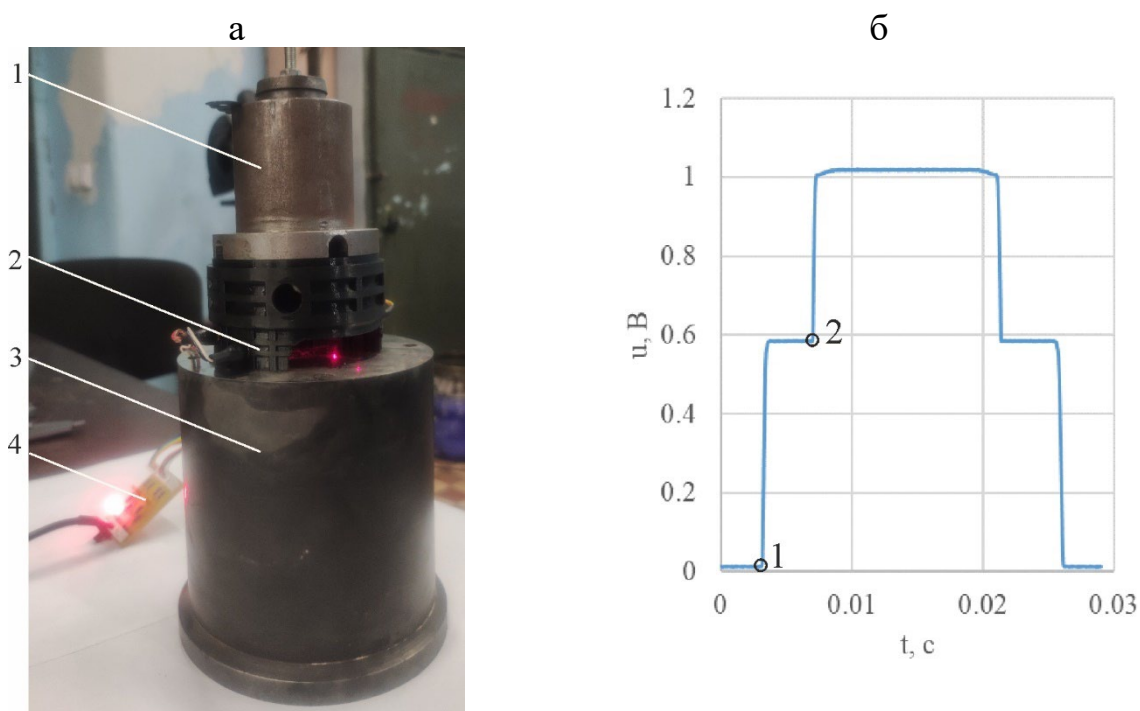


Рис. 6. Фотография стенда динамических испытаний датчика(а) и осциллограмма сигнала (б)

1 – обойма с поршнем, 2 – датчик, 3 – металлическая плита, электронный блок ОС-1

На рис. 6б представлена осциллограмма сигнала с датчика, полученная в результате сброса поршня: первые две ступени повышения напряжения – это падение поршня и перекрытие лучей датчика, следующие две – это движение поршня от плиты в результате отскока и открытие лучей датчика. Скорость вычисляли по формуле (1), L считали равным 3.56 мм, интервал T между точками 1 и 2 определяли по моменту отклонения сигнала u от среднего постоянного значения на 5 мВ.

Результаты испытаний – измерение предупредной скорости падения - поршня сведены в таблицу. Анализ показывает, что ошибка при измерении скорости (отклонение от среднего значения) не превышает 2 %.

Таблица 1. Результаты измерения скорости поршня

№ блока	Время вступления 1-й ступени t_1 , с	Время вступления 1-й ступени t_2 , с	t_2-t_1 , с	Предупредная скорость $vI=L/(t_2-t_1)$, м/с
2	0.01121	0.01499	0.00378	0.941799
3	0.0106	0.01438	0.00378	0.941799
4	0.01203	0.01589	0.00386	0.92228
5	0.01133	0.01515	0.00382	0.931937
6	0.01232	0.01614	0.00382	0.931937
7	0.0117	0.0156	0.0039	0.912821
8	0.0109	0.01473	0.00383	0.929504
9	0.01215	0.01603	0.00388	0.917526
10	0.01156	0.01538	0.00382	0.931937
11	0.01136	0.0152	0.00384	0.927083
12	0.01164	0.01546	0.00382	0.931937
13	0.0114	0.01525	0.00385	0.924675
14	0.01101	0.01483	0.00382	0.931937
15	0.01145	0.01526	0.00381	0.934383
16	0.00723	0.01102	0.00379	0.939314
17	0.01128	0.01513	0.00385	0.924675

Заключение

Разработан датчик скорости, позволяющий измерять предупредную скорость бойка ударного устройства. Конструкция датчика позволяет применить его практически для любого ударного устройства.

Приводятся общий вид и параметры датчика, способ его установки на ударном устройстве, электрическая схема, методика измерения основного параметра – длины базы L , на которой регистрируется скорость, проведены динамические испытания.

Результаты испытаний позволили установить, что отклонение скорости от среднего значения не превышает 2 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алимов О. Д., Басов С. А. Гидравлические виброударные системы. М.: Наука. 1990. 350 с. [Alimov O. D. and Basov S. A. Hydraulic vibration shock systems. Moscow: Nauka, 1990, 350 p. (in Russian).]
2. Сагинов А. С. Теоретические основы создания гидроимпульсных систем ударных органов машин. Алма-Ата: Наука. 1985. 254 с. [Saginov A. S. Theoretical foundations of creation of hydraulic pulse systems of percussion organs of machines. Alma Ata: Nauka, 1985, 254 p. (in Russian).]
3. Горбунов В. Ф., Лазуткин А. Г., Ушаков Л. С. Импульсный гидропривод горных

машин. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. 1986. 195 с. [Gorbunov V. F., Lazutkin A. G., and Ushakov L. S. Pulse hydraulic drive of mining machines. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, 1986. 195 p. (in Russian).]

4. Ушаков Л. С., Котылев Ю. Е., Кравченко В. А. Гидравлические машины ударного действия. М.: Машиностроение. 2000. 416 с. [Ushakov L. S., Kotylev Yu. E., and Kravchenko V. A. Hydraulic impact machines. Moscow: Mashinostroenie, 2000, 416 p. (in Russian).]

5. Городилов Л. В., Кудрявцев В. Г. Анализ способов и схем управления характеристиками гидроударных машин объемного типа // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 1. С. 1–15. [Gorodilov L. V. and Kudryavtsev V. G. Analysis of methods and schemes for controlling the characteristics of volumetric hydraulic impact machines. Journal of Mining Science, 2022, no. 1, pp. 1–15.]

6. Ye X., Miao X., and Cen Y. Modeling and simulation for hydraulic breaker based on screw-in cartridge valves. Applied Mechanics and Materials, 2012, vol. 229–231, pp. 1697–1701.

7. Ding W. S., Wang J. J., and Chen L. N. Electronic control hydraulic impactor based on pressure feed-back. Int. Conf. Mech. Autom. Control Eng. MACE2010. 2010, no. 50775075, pp. 2716–2719.

8. Yang G., Ding C., Liang C., and Wang L. Research on intelligent hydraulic impactor. Proc. 3rd Int. Conf. Meas. Technol. Mechatronics Autom. ICMTMA 2011, 2011, vol. 3, pp. 3–6.

9. Yu H. and Tang J. The Application of fuzzy control in intelligent hydraulic impactor, 2012, vol. 4, no. 22, pp. 1–9.

10. Кашаев В. А., Ямпольский Д. З. Тензометрический метод измерения удара. Российский опыт. Достижения и перспективы // Вестник научно-технического развития. 2017. № 2(114). С. 24–37. [Kashaev V. A. and Yampolsky D. Z. Strain gauge method of impact measurement. The Russian experience. Achievements and prospects. Vestnik of Scientific and Technical Development, 2017, no. (114). pp. 24–37. (in Russian).]

11. Ямпольский Д. З. Энергия удара или энергия ударного импульса: что и как измерять? // Вестник научно-технического развития. 2021. № 160. С. 65–86. [Yampolsky D. Z. Impact energy or impact pulse energy: what should I measure and how? Vestnik of Scientific and Technical Development, 2021, no. 160, pp. 65–86. (in Russian).]

12. Ямпольский Д. З., Ванаев В. С. О методике европейской ассоциации производителей электроинструмента “Измерение энергии единичного удара перфораторов и отбойных молотков” // Вестник научно-технического развития. 2018. № 9(133). С. 20–40. [Yampolsky D. Z. and Vanaev V. S. On the methodology of the European Association of Power Tool Manufacturers “Measuring the energy of a single impact of drills and jackhammers”. Bulletin of Scientific and Technical Development, 2018, no. 9, no. 133, pp. 20–40. (in Russian).]

13. ЕРТА – The European Power Tools Association. Procedure 05 “Measurement of the single impact energy of rotary hammers and breakers. 2016, 23 p.

14. Городилов Л. В., Кудрявцев В. Г., Ефимов В. П. Моделирование процесса взаимодействия системы “боек–инструмент” с горным массивом на стенде // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 4. С. 116–124. [Gorodilov L. V., Kudryavtsev V. G., and Efimov V. P. Modeling of the process of interaction of the “firing pin-tool” system with a mountain range on the stand // Journal of Mining Science, 2013. No. 4. pp. 116–124.]

© Л. В. Городилов, В. Г. Кудрявцев, А. И. Перишин, 2026