

УДК 621.7.014

Роганов М. Л.  
Абрамова Л. Н.  
Грановский А. Е.  
Роганов Л. Л.

## ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ УДАРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА УДАРНОЕ НАГРУЖЕНИЕ

Многие приборы, устройства и изделия машиностроения, работая в реальных условиях эксплуатации, могут подвергаться ударным воздействиям со стороны окружающих предметов. Поскольку в результате ударного воздействия на объект могут произойти нарушения его механической прочности или появиться функциональные отклонения от его эксплуатационных характеристик, то виды ударных испытаний в основном определяются двумя факторами – ударопрочностью и удароустойчивостью.

Различают следующие виды ударных испытаний [1, 2]: на ударную устойчивость при многократном воздействии; на ударную прочность при многократном воздействии; на воздействие одиночных ударов большой интенсивности; на прочность при транспортировании и падении.

Целью данной статьи является обоснование новых конструкций ударных стендов, разработанных в Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА). Эти стенды характеризуются большой грузоподъемностью, хорошей управляемостью, что обеспечивает их перестройку на испытание изделий машиностроения в большом диапазоне условий испытаний параметров, приближенных к реальным.

Испытания на ударную устойчивость при многократном воздействии служат для определения способности объекта выполнять свои функции под действием ударных нагрузок.

На ударную прочность при многократном воздействии испытывают изделия с целью проверки его способности противостоять разрушающему воздействию ударной нагрузки и сохранять свои характеристики в заданных пределах после ее воздействия.

При испытаниях на воздействия одиночных ударов большой интенсивности проверяют способность объекта противостоять их разрушающему воздействию и выполнять свои функции в процессе ударного воздействия и после него.

Испытания на прочность при транспортировании и падении служат для проверки способности объекта противостоять разрушению под действием ударных нагрузок, имеющих место при транспортировании и падении.

Кроме перечисленных видов ударных испытаний в лабораторных условиях могут быть проведены модельные испытания объектов, если их габариты и вес практически не позволяют спроектировать необходимый ударный стенд.

Методика проведения испытаний разрабатывается на основании требований к работоспособности испытуемого объекта или прочности его элементов с учетом возможности реализации методов испытаний на имеющемся испытательном оборудовании и их экономичности. При испытаниях изделий ударные воздействия имитируют таким образом, чтобы они достаточно точно соответствовали ударным воздействиям, имеющим место в условиях реальной эксплуатации. Методы ударных испытаний предусматривают воспроизведение ударных воздействий, представляющих собой сложные затухающие переходные процессы, отрезки синусоид с быстро или медленно изменяющейся частотой наложенных колебаний, короткие отрезки случайных процессов, комплексных ударных воздействий, а также реальных ударных процессов [2, 3].

При проведении испытаний стремятся к тому, чтобы условия были максимально приближены к условиям натурального ударного воздействия на объект. Поэтому перед испытанием проводится анализ условий ударного нагружения изделия в реальных условиях эксплуатации. Для этого определяют вид, форму, длительность ударного воздействия, максимальное

ударное ускорение, направление ударного нагружения, число ударов, действующих на объект при эксплуатации, а также характеристики испытуемого объекта (габаритные размеры, масса, место приложения ударного воздействия, условия работы изделия) [2].

Согласно классификации [4] внешних воздействий на испытуемый объект ударное нагружение может осуществляться: отдельными ударами; серией ударов; заданным изменением ударного импульса; виброударное.

При испытании отдельными ударами необходимо между ударами выдерживать интервалы времени такими, чтобы все амплитуды колебаний конструктивных элементов изделия уменьшались до определенной величины. Это достигается выбором соответствующего закона изменения ударного импульса.

Таким образом, при проведении определенного вида ударных испытаний одним из описанных выше методов решается основная задача ударных испытаний, которая заключается в проверке способности изделия выполнять свои функции во время ударного воздействия (и после него) в пределах, предусмотренных паспортными данными изделия.

Обзор существующих ударных стендов, их анализ и классификация.

В зависимости от вида воспроизводимого ударного нагружения стенды разделяют на четыре группы [5]: стенды для воспроизведения одиночных ударных импульсов; стенды для воспроизведения многократных ударных нагрузок; стенды для воспроизведения сложных видов ударного нагружения; стенды для воспроизведения специфических условий соударения.

Ударный стенд в общем виде включает следующие устройства [2]: ударную установку, которая в зависимости от назначения имеет различное исполнение; систему управления в виде выносного пульта или отдельной стойки управления; систему питания; контрольно измерительную аппаратуру; вспомогательные устройства, дополняющие и расширяющие функциональные возможности ударного стенда и состоящие из соединительных кабелей, переходных устройств, элементов крепежа и т. п.

Ударные установки классифицируют [2, 3, 4] в зависимости от принципа создания ударного нагружения, месторасположения испытуемого объекта, способов получения требуемой скорости соударения и крепления наковальни.

В зависимости от принципа создания ударного нагружения на испытуемое изделие ударные установки делятся на два вида: ударные установки, действие которых основано на принципе торможения; ударные установки, действие которых основано на принципе разгона.

В установках первого вида ударное нагружение создается при соударении подвижной и неподвижной частей установки через тормозное устройство. При этом передний фронт ударного импульса создается при торможении подвижной части установки за счет деформирования тормозного устройства, а задний фронт – за счет его восстанавливающих свойств.

В зависимости от расположения испытуемого объекта установки, основанные на принципе торможения, разделяют на установки с размещением испытуемого объекта на подвижных и неподвижных частях. В процессе предварительного разгона испытуемого объекта на подвижной платформе ударной установки на него действует в процессе предварительного разгона ударная перегрузка, которая может достигать значительной величины. Обычно она не превышает 10 % от максимальной воспроизводимой ударной нагрузки [1].

Ударные установки, реализующие принцип торможения, обязательно содержат, кроме платформы, служащей для установки и закрепления на ней испытуемого изделия, тормозное устройство и ударную наковальню. Ударная наковальня воспринимает удар предварительно разгоняемой подвижной платформы через тормозное устройство. Ударные установки различают по способу крепления ударной наковальни (рис. 1 а, б) и с упругой подвеской (рис. 2, а). При использовании упругой подвески отпадает необходимость в массивном фундаменте [6].

При размещении испытуемого объекта на неподвижной, до удара, платформе, его перемещение в процессе удара незначительно по сравнению с установками, в которых объект предварительно разгоняется вместе с подвижной платформой, и не вносит существенных искажений в работу измерительной аппаратуры. В таких установках (рис. 2, б) ударник предварительно разгоняется до требуемой скорости и через тормозное устройство наносит удар по неподвижной платформе с испытуемым изделием.

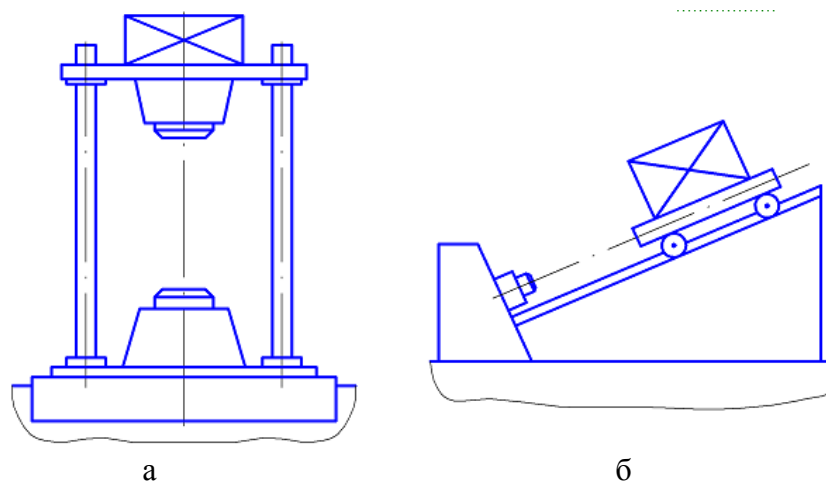


Рис. 1. Ударные установки по способу крепления ударной наковальни:  
а – установка со свободно падающей платформой; б – установка с платформой, разгоняющейся вдоль наклонной плоскости

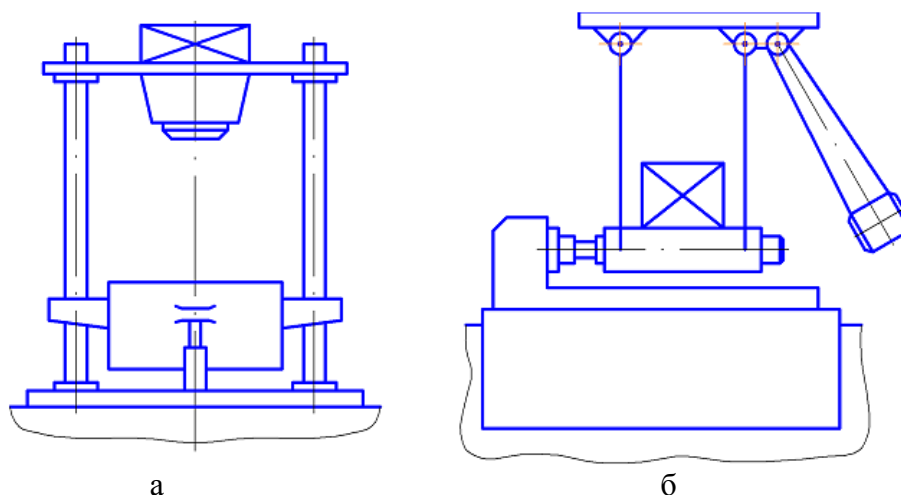


Рис. 2. Ударные установки с упругой подвеской :  
а – установка с упругой подвеской наковальни; б – установка с неподвижной до удара платформой

В зависимости от способа получения требуемой скорости соударения ударные установки, работающие на принципе торможения, делятся на установки со свободным падением подвижной части (рис. 1, 2) и установки с принудительным разгоном подвижной части (рис. 3) [6].

Обладая такими преимуществами, как простота конструкции, постоянная величина перегрузки, ударные установки со свободным падением подвижной части не позволяют получать больших скоростей соударений.

При принудительном разгоне подвижной части различают ударные установки по принципу действия устройства ускоренного разгона на установки механического, электромеханического, пневматического, гидropневматического типа.

Несмотря на то, что эти установки позволяют получать большие скорости соударения, они обладают тем недостатком, что при размещении объекта испытаний на подвижной платформе в процессе предварительного разгона он испытывает значительные перегрузки. Кроме того, необходимо знать закон изменения начальной скорости соударения в зависимости от массы подвижной части.

В установках, действующих на принципе разгона, ударное нагружение создается за счет импульсного приложения нагрузки по заданному закону к подвижной ударной платформе.

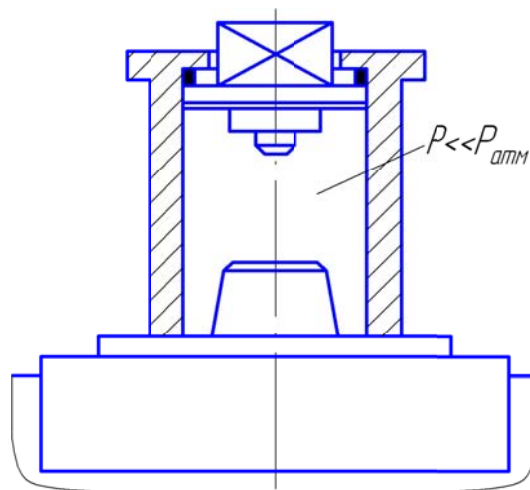


Рис. 3. Ударная установка с принудительным разгоном платформы

Начинает свое движение платформа с объектом испытаний из состояния покоя. Формирование ударного нагружения происходит при передаче платформе аккумулированной в установке энергии по требуемому закону. К концу ударного воздействия платформа приобретает скорость, которая затем гасится демпфирующими устройствами.

Основными узлами этих установок являются: устройство ударного нагружения, включающее в свой состав аккумулятор энергии, устройство формирования ударного импульса и ударная платформа.

В зависимости от принципа действия устройства нагружения различают: электродинамические, пневматические, пневмогидравлические и гидравлические установки. На рис. 4 показана принципиальная схема пневмогидравлической ударной установки, действие которой основано на принципе разгона [1]. Устройство ударного нагружения выполнено в виде цилиндра, разделенного поршнем толкающего штока на две камеры. Давление рабочего газа в нижней камере больше, чем в верхней, однако до срабатывания установки платформа находится в состоянии покоя за счет разности площадей верхней и нижней частей разделительного поршня. При пуске установки давление в нижней камере увеличивается, разгерметизируется кольцевое уплотнение и происходит резкое увеличение рабочей площади поршня. Ударное нагружение передается в вертикальном направлении – поршень со штоком разгоняются.

Также большое внимание ударным стендам уделяется зарубежными фирмами. К ведущим мировым производителям ударных стендов относятся Швейцария (Elstar), США (Lansmont Corporation), Китай (STI), Япония и Россия. Далее приведен краткий анализ некоторых ударных стендов данных фирм.

ELSTAR Elektronik AG (Швейцария) – один из ведущих мировых производителей ударных стендов [7]. Ударные стенды этой фирмы отличаются мобильностью и высокой скоростью, спроектированы специально для современных отраслей промышленности.

Основные преимущества ударных стендов следующие: до 60 точных ударов в минуту; грузоподъемность до 200 кг; максимальное ускорение до 2000 g; стенд не передает колебания на пол; закрытое управление циклом, сбор данных.

Все ударные стенды работают по принципу «свободного падения» стола с установленным на нем изделием на наковальню с прокладками, которые определяют форму, длительность удара.

Контроль и измерение осуществляется с использованием ПО IMPALA – закрытый программный цикл с визуальным наблюдением, постоянный контроль ответного сигнала от испытываемого образца. Любое изменение амплитуды будет сразу же корректироваться для обеспечения постоянных повторяющихся хорошо регулированных ударов. Основные технические характеристики ударных стендов и модельный ряд производства фирмы Elstar приведены в табл. 1.

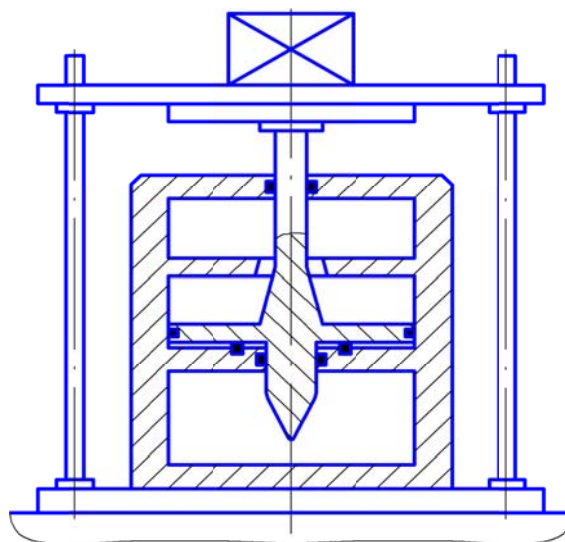


Рис. 4. Пневмогидравлическая ударная установка

Таблица 1

## Технические характеристики ударных стендов и модельный ряд

| Модель ударного стенда             | STM 5                       | STM 10 P           | STM 10             | STM 50             | STM 100             | STM 200             |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Нагрузка, кг                       | 5                           | 10                 |                    | 50                 | 100                 | 200                 |
| Количество ударов                  | 1–60                        |                    |                    |                    |                     |                     |
| Длительность ударного импульса, мс | 0,3–12                      | 0,5–12             | 0,8–20             | 1–30               |                     | 2–20                |
| Максимальное ускорение, g          | 2000                        | 1400               | 300                | 600                | 620                 | 300                 |
| Размер стола, мм                   | Куб 150×150×150             | 320×250            |                    | 450×500            | 500×450             | 600×800             |
| Габариты стенда (Ш×Д×В), мм        | 350×1250<br>×1070           | 420×350<br>×850    | 420×350<br>×530    | 450×500<br>×1000   | 450×500<br>×1350    | 600×800<br>×1375    |
| Вес, кг                            | 120                         | 510                | 340                | 980                | 1250                | 2500                |
| Питание                            | 1/N/PE AC 220В ± 10 % 50 Гц |                    |                    |                    |                     |                     |
| Сжатый воздух                      | 6 бар<br>260 л/мин          | 6 бар<br>600 л/мин | 6 бар<br>300 л/мин | 6 бар<br>600 л/мин | 6 бар<br>1250 л/мин | 6 бар<br>2050 л/мин |

Компания Lansmont Corporation (США) [8] представляет широкий модельный ряд типовых (более 30 моделей) и изготавливаемых на заказ ударных стендов, которые предназначены для решения стандартных и уникальных задач по испытанию продукции военного и гражданского назначения. Модельный ряд ударных стендов Lansmont приведен в табл. 2. Компания Lansmont предлагает мощный комплекс аппаратных и программных средств, предназначенных для регистрации и анализа данных. Каждое решение компании объединяет в себе скорость и удобство.

Компания Lansmont предлагает мощный комплекс аппаратных и программных средств, предназначенных для регистрации и анализа данных.

Компания «STI» является крупнейшим в Азии производителем испытательного оборудования для тестирования и испытания материалов и изделий для различных отраслей промышленности: авиастроения, микроэлектроники, машиностроения и многих других [9]. В настоящее время оборудование фирмы «STI» успешно эксплуатируется на таких предприятиях в Китае, как Siemens, Panasonic, Motorola, Philips и др.

Ударные стенды одиночного действия фирмы STI (Китай). Данные ударные стенды работают по принципу «свободного падения» стола с установленным на нем изделием на наковальню с прокладками, которые определяют форму и длительность удара. Ударные стенды точно воспроизводят реальные условия ударного воздействия и не нуждаются в дополнительном фундаменте для установки, не передают колебания окружающей среде.

Таблица 2

## Модельный ряд ударных стендов Lansmont

| Серия         | Модель              | Размер стола, см          | Максимальная масса образца, кг | Максимальное ускорение (стол без нагрузки) |
|---------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| Standard      | 15D                 | 15,2×15,2                 | 18                             | 2000g                                      |
|               | 23                  | 23×23                     | 36                             | 5000g                                      |
|               | 23D                 | 23×23                     | 18                             | 2000g                                      |
|               | 65/81               | 65×81                     | 227                            | 600g                                       |
|               | 65/81D              | 65×81                     | 227                            | 600g                                       |
|               | 95/115              | 95×115                    | 1134                           | 600g                                       |
|               | 95/115D             | 95×115                    | 1134                           | 600g                                       |
|               | 122                 | 122×122                   | 1134                           | 500g                                       |
|               | 152                 | 152×152                   | 794                            | 400g                                       |
| Performance   | От P15 до P30       | от 15×10 до 30×40         | 50                             | 2000g-5000g                                |
|               | От P30M до P60M     | от 30,5×30,5 до 60,9×60,9 | 68                             | 1500g                                      |
|               | P65/81L             | 65×81                     | 680                            | 1000g                                      |
|               | P95/115L            | 95×115                    | 1134                           | 1000g                                      |
|               | P122L               | 122×122                   | 1134                           | 1000g                                      |
| High Speed    | От HS15 до HS30     | от 15×15 до 30×30         | 113                            | 5000g–10 000g                              |
| eXtreme Speed | От HS×15 до HS×30   | от 15×15 до 30×30         | 113                            | 10 000g                                    |
|               | От HS×30M до HS×60M | от 30×30 до 60×60         | 907                            | 1500g–7500g                                |

Ударные стенды находят свое применение для испытаний изделий авиационной, аэрокосмической, кораблестроительной, оружейной, электронной и автомобилестроительной промышленности [9].

В ДГМА разработана принципиально новая конструкция ударных стендов, работающих на принципе использования энергии упругой деформации сжатой жидкости и ее оболочки. Такие стенды стоят в ряду лучших зарубежных стендов и позволяют повысить их универсальность, управляемость, точность ударных испытательных параметров. Энергия удара таких стендов определяется величиной:

$$W_y = P_p^2 * \frac{Q_{жс}}{2E_{жс}}, \quad (1)$$

где  $W_y$  – энергия удара;  $P_p^2$  – рабочее давление, Н/м<sup>2</sup>;  $Q_{жс}$  – объем жидкости, м<sup>3</sup>;  $E_{жс}$  – модуль упругости жидкости, Н/м<sup>2</sup>.

Величина давления жидкости контролируется манометром или другим подобным прибором.

Точность воспроизведения ударного импульса на стендах, разработанных в ДГМА, отличается точностью приборов, которыми измеряется давление жидкости и составляет обычно менее 1 % от максимального давления. Также важно определять объем жидкости  $Q_{жс}$  и модуль упругости жидкости  $E_{жс}$ . Характеристики некоторых ударных стендов конструкции ДГМА приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Характеристики некоторых ударных стендов конструкции ДГМА

| Серия, модель | Размер стола, мм | Максимальная масса образца, кг | Максимальное ускорение, g |
|---------------|------------------|--------------------------------|---------------------------|
| СУ-500        | 1000×1000        | 500                            | 500                       |
| СУ-2000       | 1500×1500        | 2000                           | 2000                      |

Подобные стенды были внедрены в производство и показали свою эффективность.

### ВЫВОДЫ

В статье приведены некоторые конструктивные характеристики ударных стендов, предлагаемых к продажам некоторыми зарубежными фирмами. Описаны также ударные стенды, разработанные в ДГМА, работающие на принципе использования энергии упругости сжатой жидкости и ее оболочки и позволяющие повысить точность испытаний.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев В. В. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара. Кн. 2. / В. В. Ключев. – М. : Машиностроение, 1978. – 439 с.
2. Гарф М. Э. Машины и приборы для программных испытаний на усталость / М. Э. Гарф. – Киев : Наук. думка, 1970. – 196 с.
3. Бураго А. Н. Стенды для испытаний изделий на ударные воздействия / А. Н. Бураго. – Л. : ЛДНТП, 1979. – 240 с.
4. Бегларян В. Х. Механические испытания приборов и аппаратов / В. Х. Бегларян. – М. : Машиностроение, 1980. – 223 с.
5. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В. А. Крат. – Киев : Техника, 1982. – 208 с.
6. Клочко В. А. Особенности воспроизведения и формирования заданных ударных перегрузок / В. А. Клочко // Измерительная техника. – 1979. – № 2. – С. 32–33.
7. Назилин С. В. Ударные стенды многократного действия производства фирмы Elstar [Электронный ресурс] / С. В. Назилин. – Режим доступа к журналу : [http://www.tech-e.ru/2008\\_5\\_74.php](http://www.tech-e.ru/2008_5_74.php).
8. Ударные стенды производства США и Японии [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://assemrus.ru/oborudovanie/ispitatelnoe-oborudovanie/udarnye-stendy/>.
9. Ударные стенды производства Китая [Электронный ресурс] – Режим доступа : [http://www.sovtest.ru/ru/type\\_eq/ispytaniya/mekhanicheskie-ispytaniya/udarn](http://www.sovtest.ru/ru/type_eq/ispytaniya/mekhanicheskie-ispytaniya/udarn).

### REFERENCES

1. Klyuyev V. V. Pribory i sistemy dlya izmereniya vibratsii, shuma i udara. Kn. 2. / V. V. Klyuyev. – M. : Mashinostroyeniye, 1978. – 439 s.
2. Garf M. E. Mashiny i pribory dlya programnykh ispytaniy na ustalost / M. E. Garf. – Kiyev : Nauk. dumka, 1970. – 196 s.
3. Burago A. N. Stendy dlya ispytaniy izdeliy na udarnyye vozdeystviya / A. N. Burago. – L. : LDNTP, 1979. – 240 s.
4. Beglaryan V. Kh. Mekhanicheskiye ispytaniya priborov i apparatov / V. Kh. Beglaryan. – M. : Mashinostroyeniye, 1980. – 223 s.
5. Iskovich-Lototskiy R. D. Mashiny vibratsionnogo i vibroudarnogo deystviya / R. D. Iskovich-Lototskiy, I. B. Matveyev, V. A. Krat. – Kiyev : Tekhnika, 1982. – 208 s.
6. Klochko V. A. Osobennosti vosproizvedeniya i formirovaniya zadannykh udarnykh peregruzok / V. A. Klochko // Izmeritelnaya tekhnika. – 1979. – № 2. – S. 32–33.
7. Nazilin S. V. Udarnyye stendy mnogokratnogo deystviya proizvodstva firmy Elstar [Elektronnyy resurs] / S. V. Nazilin. – Rezhim dostupa k zhurnalu : [http://www.tech-e.ru/2008\\_5\\_74.php](http://www.tech-e.ru/2008_5_74.php).
8. Udarnyye stendy proizvodstva SShA i Yaponii [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa : <http://assemrus.ru/oborudovanie/ispitatelnoe-oborudovanie/udarnye-stendy/>.
9. Udarnyye stendy proizvodstva Kitay [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa : <http://assemrus.ru/oborudovanie/ispitatelnoe-oborudovanie/udarnye-stendy/>.

Роганов М. Л. – канд. техн. наук, директор, доц. Института ПКПК  
Абрамова Л. Н. – канд. техн. наук, доц. ДГМА  
Грановский А. Е. – магистр ДГМА  
Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф. ДГМА

Институт ПКПК – Институт Повышения квалификации профессиональных кадров, г. Краматорск.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E – mail: [kafedra\\_mto@dgma.donetsk.ru](mailto:kafedra_mto@dgma.donetsk.ru)