

УДК (UDC) 621.7.075

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СОЕДИНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ
РУЧНЫМИ УДАРНЫМИ МАШИНАМИRESEARCH PROCESS OF CONNECTING BUILDING REINFORCEMENT BY HAND
OPERATED PERCUSSION MACHINESАбрамов А.Д., Ижбулдин Е.А..
Abramov A.D., Izhbuldin E.A..Сибирский государственный университет путей сообщения (Новосибирск, Россия)
Siberian transport university (Novosibirsk, Russian Federation)

Аннотация. В статье обосновывается применение ручных ударных машин с линейным электромагнитным приводом для соединения строительной арматуры в стальных цилиндрических втулках. Произведен выбор наиболее подходящей энергии удара для соединения арматуры диаметром 10...14 мм как наиболее часто используемой в плитах перекрытия и фундаментах зданий. Сравнив усилие на разрыв обжимного и сварного соединения, установлено, что качество таких соединений сопоставимо. С помощью модели системы «оператор – машина – обрабатываемое изделие» выявлены наиболее виброопасные фазы рабочего цикла ударной машины, а с помощью модели машины как колебательной системы установлены частоты, в которых необходимо производить замеры виброускорения. Экспериментально установлено, что уровень вибронгрузки при опрессовке арматуры находится в пределах допустимых значений, однако существует необходимость снижения вибронгрузки на корпус устройства. Результаты исследования показывают, что с помощью ручных ударных машин с энергией удара 50 Дж возможно соединять строительную арматуру диаметром 10...14 мм. При этом необходимо усовершенствование конструкции известных машин для обеспечения вибробезопасности.

Ключевые слова: соединение арматуры, ручные ударные машины, вибробезопасность инструмента, ударные технологии.

Дата принятия к публикации: 23.12.2019
Дата публикации: 25.03.2020

Сведения об авторах:

Абрамов Андрей Дмитриевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатации машин», проректор по научной работе Сибирского государственного университета путей сообщения, e-mail: abramov@stu.ru.

Abstract. This article justifies the use of hand operated percussion machines with a linear electromagnetic drive for connecting building reinforcement in steel cylindrical bushings. The most suitable percussion energy was selected for connecting reinforcement with a diameter of 10-14 mm, which is most often used in floor slabs and building foundations. Having compared the crimp and welded joint tensile strength, it was found that the quality of such joints is comparable. With the help of the “operator - machine - workpiece” model system, the most vibrational phases of the shock cycle of the percussion machine were identified, and using the machine model as an oscillating system, frequencies were determined at which vibration acceleration measurements should be performed. It has been experimentally established that the level of vibration load during pressing reinforcement is within acceptable values, however, there is a need to reduce vibration load on the device body. The results of the research show that with the help of hand operated percussion machines with a percussion energy of 50 J, it is possible to connect building reinforcement Ø10-14 mm. At the same time, it is necessary to improve the design of known machines to ensure vibration safety.

Keywords: armature connection, hand-held percussion machines, vibration safety of tools, shock technologies.

Date of acceptance for publication: 23.12.2019
Date of publication: 25.03.2020

Authors' information:

Andrey D. Abramov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Technology of transport engineering and operation of machines”, Vice-Rector for scientific work of Siberian Transport University e-mail: abramov@stu.ru.

Ижбулдин Евгений Александрович – ведущий инженер, преподаватель кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатации машин» Сибирского государственного университета путей сообщения, e-mail: izhbuldinea@mail.ru.

Evgeniy A. Izhbuldin – Lead Engineer, teacher of the Department “Technology of transport engineering and operation of machines”, Siberian Transport University, e-mail: izhbuldinea@mail.ru.

1. Введение

Строительство зданий неразрывно связано с созданием армирующих конструкций. Для увеличения темпов строительства и возможности выполнения работ персоналом с низкой квалификацией широкое распространение за рубежом получили соединения несущей арматуры различными специальными втулками или муфтами. Данный способ соединения особенно удобен при соединении вертикальных стержней арматуры, так как присоединяемый стержень вставляется во втулку, уже опрессованную на конце арматурного монолитного стержня, и может выполняться одним рабочим. В России данная технология широко применяется только в мостостроении при возведении вертикальных и наклонных опор мостов, а в гражданском строительстве, имеющем гораздо большие объемы, пока не нашла применения. По данным проектных организаций г. Новосибирска в железобетонных конструкциях фундаментов и перекрытий наиболее часто применяется стальная арматура с диаметрами 10...16 мм. Соединение стержней происходит, как правило, за счет сварки или вязки внахлест в зависимости от испытываемых конструкций нагрузок. Такие соединения имеют существенные недостатки, связанные либо с высокой трудоемкостью производства работ, либо с низким качеством скрепления.

Соединения арматурных стержней встык с помощью различных муфт лишены данных недостатков. Основными типами таких соединений можно назвать обжимные, резьбовые, болтовые и комбинированные. Резьбовая технология предполагает нарезку на концах соединяемых стержней прямой или конусной резьбы с последующим соединением их с помощью резьбовой втулки. Несмотря на высокую скорость стыковки таким способом, подготовка концов стержней трудозатратна. Болтовые муфты предполагают зажатие обоих концов внутри себя посредством

затяжки болтов, расположенных перпендикулярно стержням. К недостаткам такой технологии можно отнести высокую стоимость муфт. Наиболее технологичным способом стыковки арматуры являются муфты, обжимаемые на концах соединяемых стержней с помощью различных ручных и переносных прессов. Такой метод позволяет получить высокое качество соединения, не требует подготовки концов соединяемых стержней, позволяет изготавливать муфты из отрезков трубы непосредственно в месте проведения работ, может использоваться в бытовом строительстве, поскольку не требует высокой квалификации производящего работу.

2. Материалы и методы

В предыдущих исследованиях [1, 2] было отмечено, что в настоящее время для опрессовки втулок на арматурных стержнях в основном используется гидравлическое прессовое оборудование. Однако с точки зрения реализуемой энергии наиболее предпочтительным для соединения арматуры в условиях строительной площадки, компактности и условий работы являются ручные машины с линейным электромагнитным приводом, оказывающие ударное воздействие на обрабатываемое изделие. Были проведены экспериментальные исследования, позволяющие определить диапазон типоразмеров арматуры и установить энергию единичного удара, необходимую для создания качественного соединения с помощью ручных ударных машин; оценить качество полученного соединения, с точки зрения усилия на разрыв. Выявлены ручные электрические машины, имеющие массу менее 6 кг при энергии единичного удара 40 Дж – опрессователь контактных соединений ОЭМ-1 и 50 Дж – устройство для забивки дюбелей в строительные основания УИМ-03, которые можно рассматривать как прототип для синтеза машин ударного действия

для соединения арматуры в стальных втулках. Принципиальная конструктивная схема таких машин приведена на рис. 1.

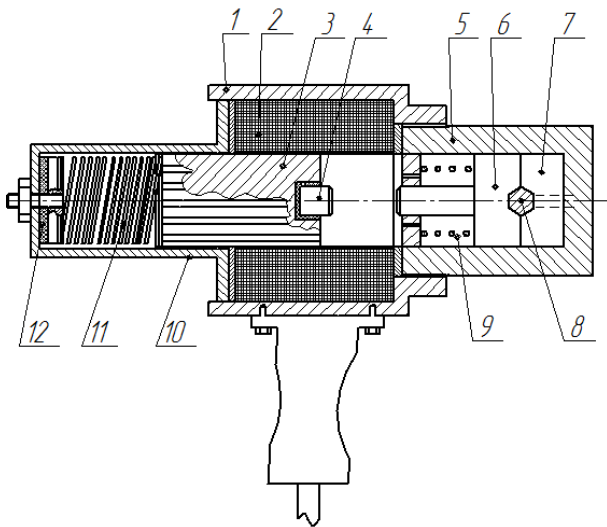


Рис. 1. Схема низкочастотной ручной ударной машины с энергией удара 40-50 Дж: 1 – корпус; 2 – электромагнитная катушка; 3 – боек; 4 – ударник; 5 – матрицедержатель; 6 – пуансон; 7 – матрица; 8 – обрабатываемое изделие; 9 – поджимающая пружина; 10 – корпус возвратного механизма; 11 – возвратная пружина; 12 – вибродемпфер

Ранее было доказано [3, 4], что степень деформации тела за несколько последовательных циклов нагружения можно рассчитать с помощью статической нагрузочной характеристики. Такая характеристика дает возможность определить условную жесткость в пластической зоне деформации C_2 . Для составного тела «строительная арматура 12 мм – стальная цилиндрическая втулка» диаграмма нагружения на лабораторном прессе представлена на рис. 2.

На приведенном графике видно усилие начала процесса деформирования F_T , H , и условная жесткость среды c_2 , полученная путем аппроксимации графиков линией регрессии. Указанные значения можно получить и аналитическим путем:

$$F_T = \frac{\sum F_{Tn}}{n} = 9 \cdot 10^3. \quad (1)$$

Значение коэффициента c_2 определяется с помощью выражения:

$$c_2 = \frac{2T_{y0}}{h_k^2} + \frac{2F_T}{h_k} = \frac{2 \cdot 50}{0,007^2} + \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^3}{0,007} = 4,6 \cdot 10^6. \quad (2)$$

Значение энергии единичного удара T_{y0} получено из уравнения осадки образца, предложенного в источниках [5, 6]:

$$h_k = \sqrt{\left(\frac{F_T}{c_2}\right)^2 + \frac{T_{y0}}{c_2} - \frac{F_T}{c_2}}. \quad (3)$$

3. Результаты

Полученные коэффициенты дают возможность расчета зависимости количества ударов от энергии единичного удара, развиваемой машиной. В работах А.Д. Абрамова [7, 8] приведен расчет размерного ряда ударных машин с электромагнитным приводом, показывающий зависимость массы машины от развиваемой ей энергии единичного удара. Сопоставив эти величины, имеется возможность выбора машины с оптимальной энергией единичного удара. Зная частоту ударов, можно сравнить количество выполняемых операций соединения арматуры с помощью сварки за единицу времени с соединением арматуры ударным обжатием. Ниже приведены зависимости массы машины, количества ударов, необходимых для совершения операции, количества операций за единицу времени, от энергии единичного удара. Линия 1 на рис. 3, а обозначает количество ударов, линия 2 – массу ударной машины. На рис. 3, б линия 1 обозначает количество ударов, необходимых для совершения операции, линия 2 – количество соединений в час, получаемых с помощью сварки, линия 3 – количество соединений в час.

Приведенные зависимости дают возможность сделать вывод, что с помощью машин, обладающих энергией единичного удара более 30 Дж и частотой до 2 Гц, можно произвести больше соединений за единицу времени, чем сваркой. Максимальная мощность

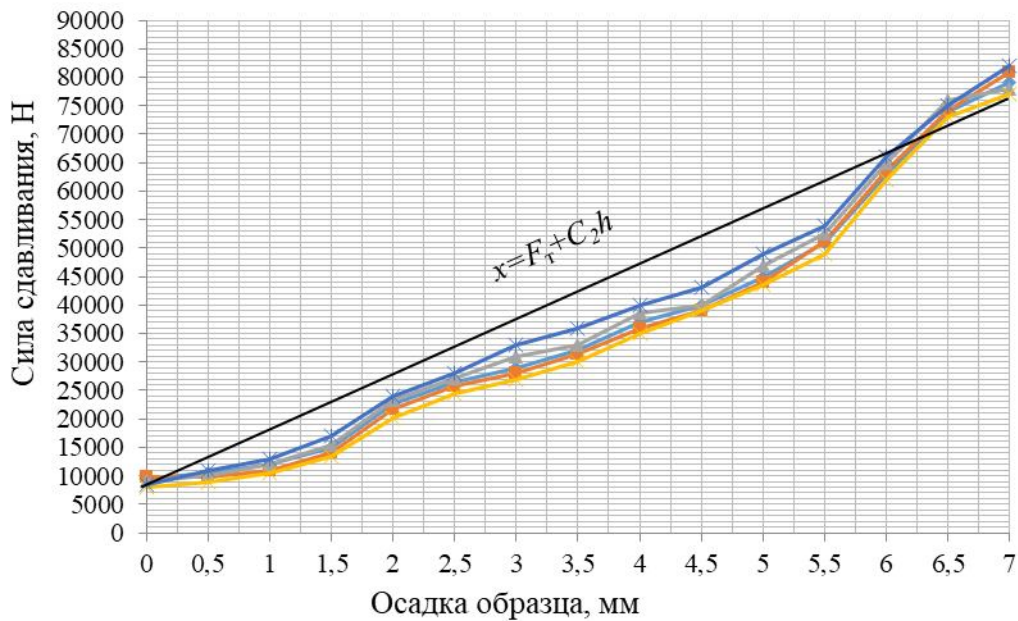


Рис. 2. Статическая нагрузочная характеристика операции опрессовки цилиндрической втулки на арматурном стержне

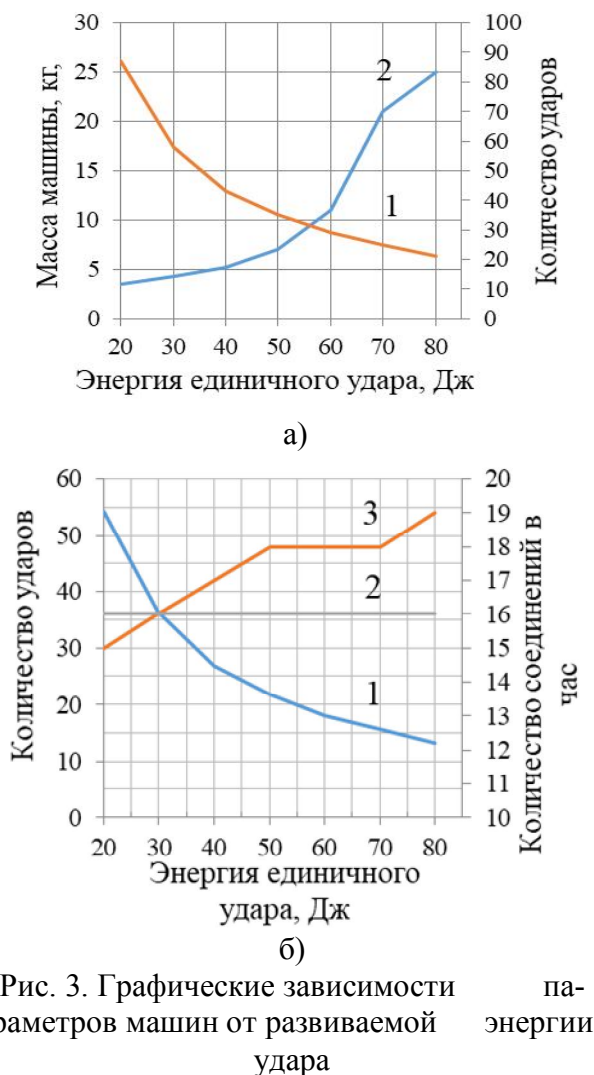


Рис. 3. Графические зависимости параметров машин от развиваемой энергии удара

ударной машины для соединения арматуры, которую можно считать ручной, составляет 55 Дж. Оптимальная ударная мощность составляет 50 Дж, так как дальнейшее увеличение энергии единичного удара на 10% ведет к возрастанию массы устройства более чем в 1,5 раза (с 6 до 10 кг), что подтверждает выводы В.А. Каргина [9] о предельном уровне ударной энергии 50 Дж. Стоит отметить, что при увеличении мощности время операции существенно не снижается. Проведенные опыты показывают, что ручные машины с линейным электромагнитным приводом с энергией единичного удара 50 Дж могут эффективно использоваться для соединения строительной арматуры $\varnothing 10 \dots 14$ мм.

Поскольку рассматриваемая технология предполагает импульсное силовое воздействие инструмента на обрабатываемое изделие, то неизбежна передача ударной и вибрационной нагрузки на корпус самой машины, а, соответственно, и на руки оператора. Для исследования этих процессов была создана модель системы «оператор – машина – обрабатываемое изделие», особенностью которой является рассмотрение рабочего цикла ударной машины в виде 6 фаз. Такими фазами являются:

1. Разгон бойка из состояния равновесия под действием электромагнитной силы.
2. Прямой удар бойка о пуансон.
3. Ударная упругопластическая деформация обрабатываемого изделия, установленного между пуансоном и матрицей.
4. Передача прямого удара от обрабатываемого изделия корпусу машины через контактные соединения матрицы с матрицедержателем и через резьбовое соединение матрицедержателя с корпусом.
5. Обратный разгон бойка с помощью пружины возвратного действия.
6. Обратный удар бойка о корпус через резиновую прокладку.

Установлено, что передача вибрационной нагрузки на корпус машины происходит в фазах 4 и 6 [10]. Расчетная схема такой модели представлена на рис. 4.

Для данных фаз необходимо более подробное исследование характеристик вибрационной нагрузки в соответствии с нормативными значениями, указанными в санитарных нормах [11].

Для оценки вибрации в процессе обработки изделий необходимо определить собственные частоты колебаний, происходящих в фазах 4 и 6 цикла работы ударных машин. На рис. 5 представлена принципиальная схема колебательной системы, в соответствии с которой произведены дальнейшие расчеты.

Для составления дифференциальных уравнений свободных колебаний ручной ударной машины использованы уравнения Лагранжа II рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dq_1} \right) - \frac{dT}{dq_1} + \frac{d\Pi}{dq_1} = 0. \quad (4)$$

Уравнение кинетической энергии системы, элементы которой совершают прямолинейные свободные колебания, выглядит следующим образом:

$$T = \frac{m_1 x_1^2}{2} + \frac{m_2 x_2^2}{2} + \frac{m_3 x_3^2}{2}. \quad (5)$$

Потенциальной энергии:

$$\Pi = \frac{(c_p + c_\delta)(x_1 - x_2)^2}{2} + \frac{(c_n + c_{ou})(x_1 - x_3)^2}{2}. \quad (6)$$

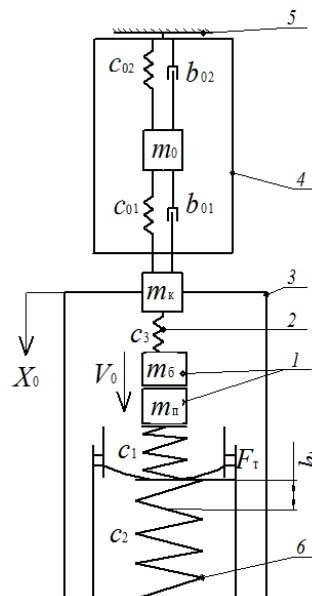


Рис. 4. Модель системы оператор – машина – обрабатываемое изделие:

- 1- ударный узел; 2 – виброизолятор;
- 3 – корпус – рукоятка; 4 – модель руки оператора; 5 – ограничитель; 6 – модель обрабатываемого тела (c_1 – жесткость среды в упругой зоне; F_T – сопротивление среды началу внедрения; c_2 – условная жесткость среды в пластической зоне; V_0 – предударная скорость бойка; h_k – осадка образца)

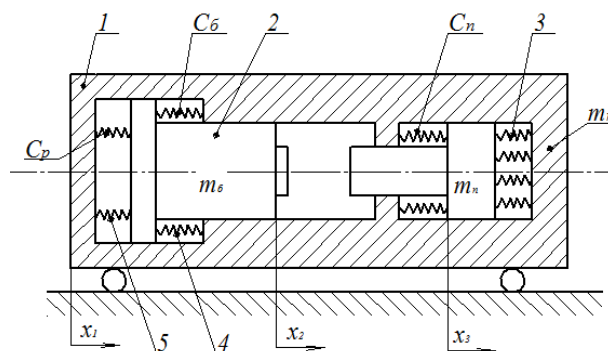


Рис. 5. Принципиальная схема машины как колебательной системы:

- 1- корпус машины; 2- боек; 3 – жесткость обрабатываемой детали C_{ou} ; 4 – пружина системы возврата; 5 - резиновый виброизолятор; C_δ – жесткость возвратной пружины; C_p – жесткость виброизолятора; C_n – жесткость поджимающей пружины; m_k – масса корпуса; m_n – масса пуансона; m_δ – масса бойка

Координаты x_1 , x_2 , x_3 отсчитываются от положения равновесия корпуса.

Подставив T и II в уравнение (4), получим дифференциальные уравнения свободных колебаний системы:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_2(x_1 - x_2) + c_3(x_1 - x_3) = 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2(x_1 - x_2) = 0; \\ m_3 \ddot{x}_3 + c_2(x_1 - x_3) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Принято, что упругие элементы в расчетной схеме линейны. В таком случае колебания элементов m_1 , m_2 , m_3 можно считать гармоническими:

$$x_i = A_i \sin \omega t, \dot{x}_i = A_i \cos \omega t, \ddot{x}_i = -A_i \omega^2 \cos \omega t.$$

$$\begin{cases} -m_1 A_1 \omega^2 + (c_2 + c_3) A_1 - c_2 A_2 - c_3 A_3 = 0; \\ -m_2 A_2 \omega^2 + c_2 A_2 - c_2 A_1 = 0; \\ -m_3 A_3 \omega^2 + c_3 A_3 - c_3 A_1 = 0. \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{vmatrix} (c_2 + c_3 - m_1 \omega^2) & -c_2 & -c_3 \\ c_2 & (c_2 - m_2 \omega^2) & 0 \\ c_3 & 0 & (c_3 - m_3 \omega^2) \end{vmatrix} = 0.$$

$$c_2 = c_p + c_6; \quad c_3 = c_n + c_{ou}, \quad (9)$$

где c_p – жесткость вибродемпфера; c_6 – жесткость пружины возвратного механизма; c_n – сила упругости пуансона; c_{ou} – жесткость обрабатываемого изделия.

Подставив значения условных жесткостей и масс элементов, получим кубическое уравнение вида:

$$(7 \cdot 10^8 - 5\omega^2)(322 \cdot 10^4 - \omega^2)(7 \cdot 10^8 - 0,3\omega^2) = 0. \quad (10)$$

Решением уравнения (10) методом Виета–Кардано получены следующие значения частот: $f_1=278$ Гц, $f_2=1928$ Гц, $f_3=7431$ Гц, уровни виброускорения в которых значительно выше, чем в соседних частотах. Поскольку локальная вибрация нормируется в диапазон частот от 1 до 1000 Гц, экспериментальная проверка уровня виброускорения необходима при частоте 278 Гц.

Для оценки вибрации нормативными документами предусмотрено эквивалентное корректированное виброускорение за рабочую смену $a_{w,8h}$, м/с², которое определяется с помощью выражения:

$$a_{w,8h} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_{w,T_i}^2 T_i}{T_0}}, \quad (11)$$

где T_0 – нормативная продолжительность рабочей смены (8 ч); T_i – продолжительность i -го интервала воздействия вибрации, ч; a_{w,T_i} – эквивалентное (среднеквадратичное) значение корректированного виброускорения, измеренное на i -м интервале воздействия вибрации, м/с².

Корпус машины должен удерживаться в руках оператора. С учетом того, что машина оснащена ручкой пистолетной конструкции, стандартом разрешается проверка виброускорения с установкой на корпус только одного датчика – по направлению оси движения бойка.

Был проведен эксперимент, в результате которого получена зависимость виброускорения от времени. На рис. 6 представлены записи восьми последовательных рабочих циклов ударной машины в процессе обжатия стальной втулки на стержне арматуры Ø12 мм. Для исследования использовался датчик «Bruel&Kjaer №4333» и усилитель сигнала «Bruel& Kjaer charge amplifier type 2635». Для получения графического изображения зависимости и обработки данных был применен программный комплекс «ACTest».

Для определения значения эквивалентного корректированного значения виброускорения полученный массив данных был обработан с помощью предусмотренной стандартом частотной коррекции w_h . В результате получено значение $a_{w,8h} = 6,4$ м/с². Нормативом установлено максимальное превышение установленного значения 2 м/с² не более, чем в 4 раза. Исходя из этого, можно сделать вывод, что значения виброускорения исследуемой машины превышают в 3,2 раза нормативное значение. Это свидетельствует о необходимости снижения уровня вибрации, передаваемой на руку оператора, с помощью применения новых конструктивных решений.

4. Обсуждение и заключение

Установлено, что с помощью ручных ударных машин с линейным электромагнитным приводом с энергией единичного удара

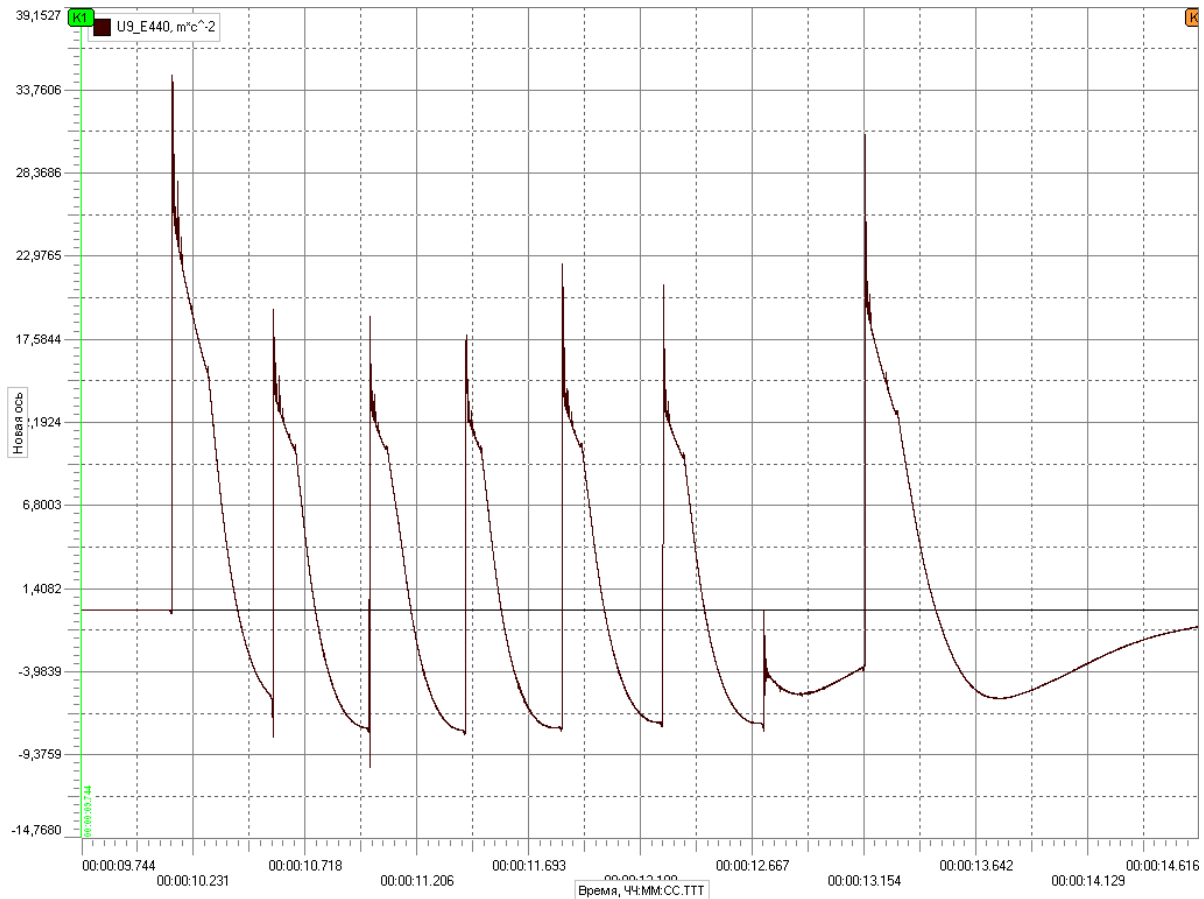


Рис. 6. Зависимость виброускорения от времени в 8 рабочих циклах ударной машины при удерживании машины в руках

50 Дж и частотой ударов до 2 Гц имеется возможность выполнения операции опрессовки строительной арматуры в стальных цилиндрических втулках. Экспериментально подтверждено, что качество такого соединения сопоставимо со сварным соединением, а скорость производства работ возрастает на 12% и, соответственно, снижаются затраты на строительство. При помощи модели системы «оператор – машина – обрабатываемое изделие» найдены наиболее виброопасные фазы цикла работы ударной машины. С помощью математической модели ударной машины как колебательной системы найдена частота 278 Гц, при которой уровень виброускорения

наиболее высок. Эксперимент с проверкой уровня вибронагрузки показывает, что значение эквивалентного скорректированного уровня виброускорения при выполнении обжатия стальной втулки на арматуре $6,4 \text{ м/с}^2$ превышает нормальный уровень 2 м/с^2 и находится в зоне пограничных значений с предельно допустимым превышением в 4 раза. Это обстоятельство свидетельствует о том, что при конструктивной доработке виброизоляции корпуса ручные ударные машины с линейным электромагнитным приводом являются наиболее предпочтительными для соединения строительной арматуры диаметром 10...14 мм.

Список литературы

1. Абрамов А.Д., Ижбулдин Е.А. Выбор технологии и оборудования для соединения строительной арматуры // Строительные и дорожные машины. 2018. №5. С. 43-48.
2. Ижбулдин Е.А. Технология соединения арматуры для транспортного строительства // Транспортные и транспортно-технологические системы: сб. тр. междунар. науч.-практич. конф. Тюмень: ТГИУ, 2017. С. 196-199.
3. Каргин В.А., Кирнарский М.Ш., Никитин Л.В. Деформирование упруго-пластического материала при импульсном нагружении // Вопросы динамики механических систем виброударного действия. 1980. С.37-44.
4. Абрамов А.Д. Синтез ручных форсированных электрических машин ударного действия для строительного-монтажных работ: дис. ... док. технич. наук. Новосибирск, 2012. 298 с.
5. Каргин В.А. Исследование и создание виброударных машин и технологий: дис. док. технич. наук. Новосибирск, 1986. 333 с.
6. Каргин В.А. Выбор оптимальных выходных параметров машин ударного действия // Динамика и прочность судовых машин. Николаев, 2008. С.27-32.
7. Каргин В.А., Абрамов А.Д., Бублик И.Н., Тюнюкова Т.К. Методика расчета параметров привода виброударных машин // Научное обозрение. 2006. №3. С.31.
8. Абрамов А.Д., Манакон А.Л. Виброударные технологии: расширение фронта работ // Мир транспорта. 2006. №2. С.46.
9. Каргин В.А. Рациональный выбор основных параметров опрессовывателей // Вопросы исследования силовых импульсных систем, 1982. С. 89-92.
10. Abramov A., Abramenkov D., Izhbuldin E. Work modeling processes of the hand-held impact machines // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1050 (1). doi: 10.1088/1742-6596/1050/1/012001
11. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М.: Стандартинформ, 2016.

References

1. Abramov A.D., Izhbuldin E.A. Choice of Technology and Equipment for connection of Construction Fittings. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2018, No. 5, pp. 43-49. (In Russian)
2. Izhbuldin E.A. Technology connect fittings for vehicle construction. *Proceedings of the Int. Conf. "Transportnye i transportno-technologicheskie sistemy*. Tyumen, April 2017. (In Russian)
3. Kargin V.A., Kirnarskiy M.Sh., Nikitin L.V. Deformation of an elastic-plastic material under pulsed loading. *Voprosy dinamiki mechanicheskikh system vibroudarnogo deystviya*. Novosibirsk, 1980, pp. 37-44. (In Russian)
4. Abramov A.D. Synthesis of manual forced electric shock machines for construction and installation works/ Diss. Doc. Sci. (Engineering). Novosibirsk. 2012. 298 p. (In Russian)
5. Kargin V.A. Research and development of vibro-shock machines and technologies. Diss. Doc. Sci. (Engineering). Novosibirsk. 1986. 333 p. (In Russian)
6. Kargin V.A. Selection of optimal output Parameters of Impact Machines. *Dinamika I prochnost sudovich mashin*, Nikolaev, 2008, pp. 27-32. (In Russian)
7. Kargin V.A., Abramov A.D., Bublik I.N., Tyunyukova T.K. Method for calculating the parameters of the drive of vibro-shock machine. *Nauchnoe obozrenie*, 2006, No. 3, p. 31. (In Russian)
8. Abramov A.D., Manakov A.L. Vibro-shock technology: expanding the front of work. *Mir Transporta*, 2006, No. 2, p. 46. (In Russian)
9. Kargin V.A. Rational choice of the main parameters of crimping machines. *Voprosy issledovaniya silovykh impulsnykh system*, Novosibirsk, 1982, pp. 89-92. (In Russian)
10. Abramov A., Abramenkov D., Izhbuldin E. Work modeling processes of the hand-held impact machines. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, Vol. 1050, No. 1. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012001
11. SP 2.2.4.3359-16 *Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace*. Moscow, 2016.