

УДК 620.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕ-
СКИХ БАЛОК ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ УДАРНОМ
НАГРУЖЕНИИ**

EXPERIMENTAL STUDIES OF PLASTIC DEFORMATION
OF METAL BEAMS UNDER DYNAMIC SHOCK LOADING

А. В. Омелюсик, А. В. Шмелев, канд. техн. наук., **В. И. Ивченко,**
С. В. Хитриков; О. В. Дробышевская,

ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной
академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь,

A. Amialiusik, A. Shmaliou, Ph.D. in Engineering, V. Ivchenko,
S. Hitrikov, O. Drobyshevskaya,

The Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus,
Minsk, Belarus

State Scientific Institution «Joint Institute of Mechanical Engineering
of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus

Представлено описание разработанной испытательной установки для исследований пластического деформирования металлических балок при ударном нагружении. Приведены результаты экспериментального определения остаточного прогиба стальных балок сечением $40 \times 40 \times 2$ на представленной установке. Даны рекомендации по использованию результатов эксперимента при расчетной оценке прочности балочных конструкций транспортных средств при ударном нагружении.

A description of the developed test setup for studying the plastic deformation of metal beams under shock loading is presented. The results of the experimental determination of the residual deflection of steel beams with a cross section of $40 \times 40 \times 2$ on the presented installation are presented. Recommendations are given on the use of the results of the experiment in the design assessment of the strength of beam structures of vehicles under shock loading.

Ключевые слова: скорость деформации, динамическое нагружение, металлические балки, Правила ООН № 66.

Keywords: strain rate, dynamic loading, metal beams, UN Regulation No. 66.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное моделирование краш-тестов машин и их конструкций нашло широкое применение в процессе разработки и сертификации новой техники. В частности, при оценке безопасности пассажирских транспортных средств при аварийном режиме – опрокидывании, в соответствии с требованиями Правил ООН № 66 [1] и др., допускается замена натуральных испытаний расчетными исследованиями при обеспечении достоверности результатов.

Силовые конструкции пассажирских транспортных средств представлены, как правило, стальными балками квадратного и прямоугольного сечения. Для получения достоверных результатов расчетных исследований по определению значений деформаций силовых конструкций при ударном нагружении необходимо учитывать упрочнение металла, вызванное высокой скоростью деформирования [2, 3]. При этом материал балок содержит остаточные пластические деформации, созданные при их изготовлении. Поэтому наиболее целесообразным является определение свойств материала балок в ходе экспериментальных исследований их образцов при ударном нагружении.

Известны работы [3, 4] по экспериментальной оценке деформаций отдельных секций автобусов. Их недостаток – наличие вероятности смещения точек приложения нагрузки и изменение направления ее действия, что приводит к невысокой повторяемости эксперимента. Таким образом актуальна задача разработки испытательной установки и методики проведения испытаний, позволяющей проводить относительно простые в реализации исследования с использованием доступной аппаратуры и обеспечивающей скорость деформации материала в наиболее нагруженных зонах образцов металлических балок, соответствующую скоростям деформации материала, возникающим при краш-тестах транспортных средств [3].

ОБОРУДОВАНИЕ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным видом нагружения балочных элементов силовой структуры пассажирских транспортных средств при опрокидывании является изгиб с прогрессирующей пластической деформацией и образованием пластического шарнира в наиболее нагруженной зоне. Разработанная установка обеспечивает такой вид нагружения путем реализации трехточечного изгиба образца балки при ударном нагружении. Общий вид установки представлен на рисунке 1.

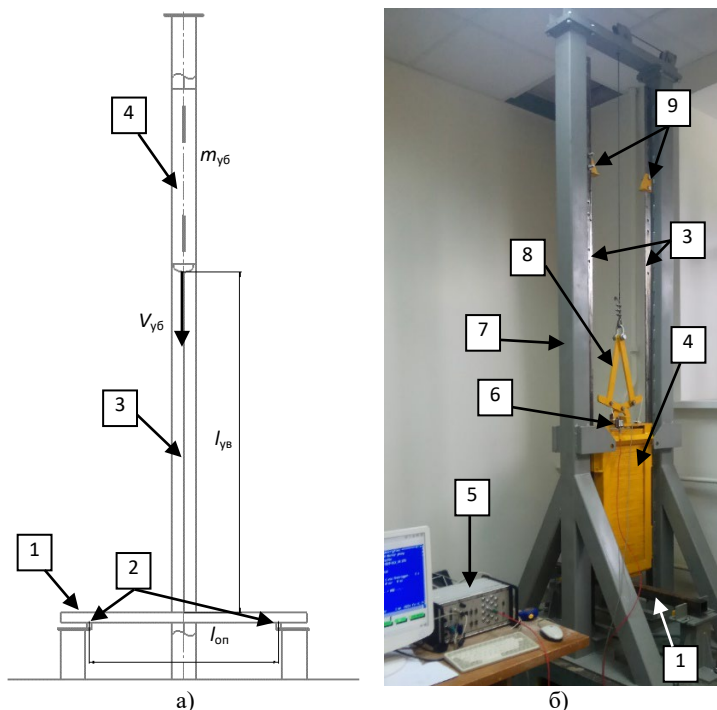


Рисунок 1 – Испытательная установка

а – схема; б – фото;

- 1 – образец, 2 – опоры, 3 – направляющие (ближняя не отображена), 4 – ударный блок, 5 – регистрирующая аппаратура, 6 – датчик ускорений, 7 – рама стенда, 8 – захват, 9 – упоры

На испытуемую металлическую балку воздействует ударный блок массой m_{yb} (кг), движущийся со скоростью V_{yb} (м/с) (рисунок 1, а). Таким образом, ударный блок воздействует на балку с энергией, Дж:

$$E_{yb} = \frac{m_{yb} V_{yb}^2}{2}. \quad (1)$$

Расчетная скорость V_{yb} зависит от высоты падения груза и определяется по формуле:

$$V_{yb} = \sqrt{2gl_{yb}}, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с², l_{yb} – ударная высота (расстояние от нижней кромки бойка ударного блока до верхней поверхности балки, м) (рисунок 1, а).

Предусмотренная конструкцией установки возможность регулировки массы ударного блока и высоты его сбрасывания позволяет обеспечить требуемые значения энергии ударного блока и скорости его удара для достижения необходимой величины упруго-пластической деформации балки.

Преимуществом способа исследований с применением данного испытательного стенда по сравнению с опрокидыванием отдельной секции силовой структуры автобуса является более высокая чистота проведения эксперимента. Это достигается за счет возможности гибкого управления параметрами процесса ударного нагружения испытуемого образца, включая стабильность зон и характера приложения нагрузки.

Технические характеристики испытательной установки представлены в таблице 1.

Основными результатами испытаний, используемыми в последующих вычислениях, являются скорость ударного блока в начале удара V_{yb} (м/с) и остаточный прогиб балки Π_3 (мм).

Скорость ударного блока в момент столкновения с образцом определяется по результатам интегрирования процесса изменения вертикального ускорения ударного блока, измеряемого датчиком

ускорений Testo 435-4 и регистрируемого системой CORRSYS-DATRON $\mu\text{cep-10}$.

Таблица 1 – Технические характеристики установки

Наименование параметра	Условное обозначение	Единица измерения	Значение
Масса ударного блока	$m_{уб}$	кг	24...150 (изменяется кратно 1,5 кг)
Ударная высота	$l_{ув}$	м	0...1,43 (наличие 5-ти ступеней с интервалом 0,2 м)
Расстояние между опорами под образцом	$l_{оп}$	м	0,17...1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования выполнены для образцов балок из стали 20 сечением $40 \times 40 \times 2$ мм. Исходные параметры настройки испытательной установки: ударная высота $l_{ув} - 1,19$ м, масса ударного блока $m_{уб} - 102$ кг, расстояние между опорами образца $l_{оп} - 0,75$ м.

Определение остаточного прогиба образцов балок осуществлялось с помощью штангенрейсмаса, его среднее значение составило 164 мм. По итогам испытаний были получены зависимости вертикального ускорения ударного блока от времени. При их интегрировании в программе пре-/постпроцессоре LS-PrePost была определена скорость ударного блока в момент столкновения с образцом, которая составила 4,46 м/с.

На рисунке 2 представлен внешний вид образцов балок после натурного эксперимента.

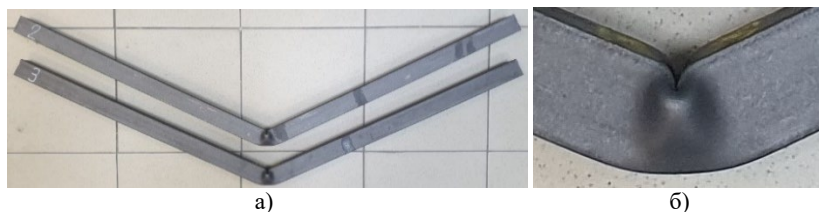


Рисунок 2 – Внешний вид образцов балок после испытаний
а – общий вид, б – образование пластического шарнира

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА БАЛКИ

При компьютерном моделировании высокоскоростного нагружения конструкций транспортных средств для задания механических свойств конструкций применяются модели материалов, учитывающие эффект динамического упрочнения. Таким образом, искомыми являются параметры модели материала, описывающие этот эффект. Их определение выполняется путем итерационных расчетов на основе компьютерного моделирования описанного выше стенового испытания. Целью является получение расчетного прогиба образца балки, соответствующего экспериментальному Π_3 (мм), при воздействии ударного блока со скоростью V_{y6} (м/с).

В качестве исходных значений искомых параметров модели материала могут применяться параметры материала-аналога. Полученные значения используются при расчетной оценке прочности силовых конструкций, например, структуры пассажирских транспортных средств при оценке соответствия требованиям Правил ООН № 66.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлено описание разработанной установки для исследований пластического деформирования балок при динамическом ударном нагружении. Приведены результаты испытаний балок из стали 20. Даны рекомендации по использованию результатов эксперимента при расчетной оценке прочности балочных конструкций транспортных средств при ударном нагружении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила ЕЭК ООН № 66(02) / Пересмотр 1. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения крупногабаритных пассажирских транспортных средств в отношении прочности их силовой структуры. Комитет по внутреннему транспорту ЕЭК ООН. – Введ. 03.09.97., посл. измен. 09.11.05 – Минск : Госстандарт: БелГИСС, 2006. – 74 с.
2. Волошенко-Климовицкий, Ю. Я. Динамический предел текучести / Ю. Я. Волошенко-Климовицкий. – Москва. – 179 с.

3. Vincze-Pap, S. Applied virtual (VT) technology on bus superstructure roll-over tests / S. Vincze-Pap, A. Csiszár // Design, Fabrication and Economy of Metal Structures. International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, April 24-26, 2013, pp. 551-560

4. Рогов, П. С. Разработка методики обеспечения пассивной безопасности кузовов автобусов в условиях опрокидывания при проектировании : дис. канд. тех. наук : 05.05.03 / П. С. Рогов. – Н. Новгород, 2015. – 189 л.

Представлено 13.05.2021

УДК 629.3.023

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ РАМЫ ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

COMPUTER SIMULATION OF THE LOAD ON THE FRAME OF AN ELECTRIC TRUCK

А. Л. Кисельков, зам. нач. отдела, **Э. В. Лисовский**, зав. сектором,
П. С. Литвинюк, мл. научн. сотр., **С. А. Шляжко**, научн. сотр.,
А. О. Шукюров, мл. научн. сотр.

ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь,

A. Kiselkov, deputy chief of department, E. Lisouski, head of the sector,
P. Litviniuk, junior researcher, S. Shliazhka, researcher,
A. Shukurov, junior researcher

The Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus,
Minsk, Belarus

Статья посвящена определению напряженно-деформированного состояния рамы электромобиля при основных нагрузочных режимах и определению зон с наименьшей усталостной долговечностью. Описаны подходы по адаптации исходной геометрической под создание конечноэлементной сетки, моделированию рессорной и пневматической подвесок, созданию болтовых соединений. Статья содержит описание режимов нагружения, результаты расче-