

УДК 620.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
БАЛОК ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ**  
EXPERIMENTAL AND CALCULATED STUDIES  
OF DEFORMATION OF METAL BEAMS UNDER SHOCK LOAD

**А.В. Шмелев**, канд. техн. наук, зам. ген. директора;  
**А.В. Омелиусик**, мл. науч. сотр., **В.И.Ивченко**, зам. нач. центра,  
**С.В. Хитриков**, зам. нач. отдела,  
ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной  
академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь  
A.Shmeliov, Ph.D. in Engineering, Deputy Director General;  
A.Amialiusik, Junior; V.Ivchenko, Deputy Chief of the Center;  
S.Hitrikov, Deputy Head of Department,  
State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering  
of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

*Проведены экспериментальные исследования деформирования стальных балок при динамическом ударном нагружении по схеме трехточечного изгиба. Выполнено компьютерное моделирование эксперимента в программном комплексе ANSYS LS-DYNA. Даны рекомендации по определению параметров модели упрочнения материалов Купера-Саймондса, обеспечивающие погрешность компьютерного моделирования не более 5 %.*

*Experimental studies of the deformation of steel beams under dynamic shock loading according to the three-point bending scheme have been carried out. Computer simulation of the experiment was performed in the ANSYS LS-DYNA software package. Recommendations are given on determining the parameters of the Cowper-Symonds materials hardening model, providing a computer simulation error of not more than 5 %.*

*Ключевые слова: скорость деформации, динамическое нагружение, компьютерное моделирование, модель Купера-Саймондса.*

*Key words: strain rate, dynamic loading, computer simulation, Cowper-Symonds model.*

## ВВЕДЕНИЕ

Динамический предел текучести для некоторых материалов до 2,5 раз может превышать статический [1]. Поэтому при выполнении расчетных исследований быстропротекающих динамических процессов необходимо учитывать данные свойства. Это позволит получить более достоверную информацию о поведении изделия по результатам моделирования и определить его необходимые конструктивные параметры.

Область скоростей деформации материалов можно разделить на три основные категории: низкие скорости деформации от  $10^{-5}$  до  $10^{-1} \text{ с}^{-1}$ , средние скорости деформации от  $10^{-1}$  до  $10^2 \text{ с}^{-1}$  и высокие скорости деформации от  $10^2$  до  $10^4 \text{ с}^{-1}$ . Скорости деформации от  $10^{-1}$  до  $10^2 \text{ с}^{-1}$  наиболее характерны для столкновений транспортных средств (краш-тестов) [2].

Конструкции и детали, прошедшие определенные виды технологической обработки, создающие высокие остаточные пластические деформации, могут иметь характеристики поведения при динамическом нагружении отличающиеся от характеристик, полученных на стандартных испытательных образцах материала.

Таким образом, актуальна задача определения параметров, описывающих свойства машиностроительных конструкций при динамическом ударном нагружении с целью их применения при расчетах машин.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ БАЛОК ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

С целью проведения натурных динамических ударных испытаний в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси был разработан стенд для испытаний металлических балок при динамическом ударном нагружении. Общий вид установки представлен на рисунке 1.

Испытания проводятся путем динамического воздействия ударного блока на объект испытаний. Стенд реализует трехточечный динамический изгиб металлической балки.

Общая процедура расчетно-экспериментальных исследований динамического упрочнения материалов состоит из следующих этапов:



Рисунок 1 – Общий вид установки

– определение условий проведения эксперимента: массы и высоты подъема груза, расстояния между опорами под образцом, в зависимости от параметров сечения, длины и материала балки. Выполняется по результатам компьютерного моделирования испытаний с использованием предварительных значений параметров характеристик материала (например, материала-аналога);

– проведение натурных испытаний элементов конструкций при динамическом нагружении;

– вычисление фактических параметров характеристик материала с применением компьютерного моделирования испытаний путем корректировки предварительных значений.

Связь между динамическим упрочнением материала и скоростью деформации определяется зависимостью Купера-Саймондса [3]:

$$\sigma_T^d = \sigma_T \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{1/p} \right],$$

где  $\sigma_T^d$  – динамический предел текучести материала,  $\sigma_T$  – статический предел текучести материала,  $\dot{\epsilon}$  – скорость деформации материала,  $C$  и  $p$  – параметры модели материала Купера-Саймондса.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ПРОЦЕДУРЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Определение параметров установки для эксперимента выполнялось с помощью предварительного компьютерного моделирования испытаний в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYS LS-DYNA. В качестве испытуемых образцов выступали стальные балки с сечением 40x40x2 из материала сталь 20 и длиной 1300 мм. При моделировании использовались параметры модели материала Купера-Саймондса для материала-аналога стали 20 – стали 1018, со значениями  $C=40 \text{ с}^{-1}$  и  $p=5$  [4].

Натурный эксперимент проводился при следующих параметрах установки: рабочий ход ударного блока – 1190 мм, масса ударного блока – 102 кг, расстояние между опорами под образцом – 750 мм.

По результатам натурного эксперимента выполнена итерационная корректировка предварительных параметров модели материала. Итоговые значения параметров модели материала Купера-Саймондса:  $C=60 \text{ с}^{-1}$ ,  $p=5$ .

На рисунке 2 представлен внешний вид образцов после испытаний.

В таблице 1 представлены результаты сопоставления натурного эксперимента и расчета.

Таблица 1 – Сопоставление результатов эксперимента и расчета

Эксперимент		Расчет	Погрешность, %
Образец №	Остаточный прогиб образцов, мм	Остаточный прогиб образцов, мм	
2	167	160	2,4
3	161		
Ср. знач.	164		



а



б

а – эксперимент, б – расчет

Рисунок 2 – Внешний вид образцов после испытаний

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Скорости деформирования материала несущих конструкции транспортных средств в ходе краш-тестов, выполняемых для оценки соответствия требованиям безопасности, составляют  $10 - 100 \text{ с}^{-1}$ , что приводит к изменению прочностных характеристик материала в процессе нагружения.

С целью определения параметров  $C$  и  $p$  динамической модели упрочнения материала Купера-Саймондса предложена расчетно-экспериментальная процедура, включающая динамические ударные испытания образцов металлических балок при трехточечном изгибе. Сопоставление результатов расчетов, выполненных с использованием вычисленных параметров модели материала, и натурных испытаний показало удовлетворительную сходимость. Погрешность определения величины вертикального перемещения образца не превысила 5 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волошенко-Климовицкий, Ю. Я. Динамический предел текучести / Ю.Я. Волошенко-Климовицкий. – Москва. – 179 с.

2. 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

3. John O., LS-DYNA THEORY MANUAL (2006). Available at: www.lstc.com (accessed 10 August 2015).

4. Hernandez, C. A computational determination of the Cowper-Symonds parameters from a single Taylor test / C. Hernandez, A. Maranon, I.A. Ashcroft, J.P. Casas-Rodriguez // Applied Mathematical Modelling. – 2013. – Vol. 37. – Pp. 4698–4708.

Представлено 14.05.2020

УДК 629.113

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ ТРАНСМИССИЙ ЛЕГКОВЫХ  
АВТОМОБИЛЕЙ**  
METHODOLOGY IMPROVEMENT OF RELIABILITY  
OF HYDROPHICIZED TRANSMISSIONS OF PASSENGER CARS

**И.Н. Семёнов**, магистр-инженер,  
Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Беларусь  
I. Semenov, Master of Engineering,  
Brest State Technical University, Brest, Belarus

*Своевременное устранение причин некорректного управления гидрофицированной трансмиссией продлит срок её службы.*

*Timely elimination of the reasons for the improper control of the hydraulic transmission will extend its service life.*

Ключевые слова: диагностирование, гидрофицированная трансмиссия, клапан электромагнитный.

Key words: diagnostics, hydraulic transmission, solenoid valve.