

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ ISO 3471– 2015. Машины землеройные. Устройства защиты при опрокидывании. Технические требования и лабораторные испытания. Взамен – ГОСТ ISO 3471– 2013; введ. 01.03.2016.

2. John O., LS-DYNA THEORY MANUAL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.lstc.com](http://www.lstc.com).

Представлено 16.05.2019

УДК 620.3

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ СИЛОВОЙ СТРУКТУРЫ  
АВТОБУСОВ ПРИ ОПРОКИДЫВАНИИ  
APPLICATION OF NUMERICAL MODELING METHODS  
FOR ESTIMATING THE STRENGTH OF THE FORCE STRUCTURE  
OF BUSES WHEN ROLLOVER

А.В. Омелюсик, мл. науч. сотр., А.В. Шмелев, канд. техн. наук,  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
г.Минск, Республика Беларусь

A.Omelusik, Junior, A.Shmeliiov, Ph.D. in Engineering,  
The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy  
of Sciences of Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

*Аннотация.* Проведена расчетная оценка кузова автобуса на соответствие требованиям Правил ООН №66 на основе проведенных испытаний образцов материала силовой структуры автобуса и испытаний элементов конструкции. Выработаны рекомендации по подготовке компьютерной модели и проведению расчета силовой структуры автобуса с применением метода конечных элементов.

*Abstract.* The estimated bodywork of the bus was carried out for compliance with the requirements of UN Regulation No. 66 on the basis of tests carried out on samples of the material of the bus structure and tests of structural elements. The recommendations on the preparation of a computer model and the calculation of the bus power structure using the finite element method were developed.

*Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»*

*Ключевые слова:* силовая структура, автобус, компьютерное моделирование, пассивная безопасность.

*Key words:* force structure, bus, computer simulation, passive safety.

## ВВЕДЕНИЕ

Одними из ключевых требований, предъявляемым к силовым конструкциям кузовов автобусов, являются требования к их безопасности. В странах, присоединившихся к Женевскому соглашению 1958 года, в отношении требований к безопасности конструкций кузовов автобусов действуют Правила ООН № 66 [1].

Важным аспектом актуальности развития расчетных методов оценки соответствия конструкций кузовов требованиям безопасности является то, что Правила ООН №66 уже сегодня позволяют производить замену натурных испытаний виртуальными при наличии достаточного объема обоснований достоверности расчетов, приложение 9 правил ООН № 66(02)/ Пересмотр 1. Таким образом, актуальной является задача по выработке методических рекомендаций и подходов к оценке силовой структуры транспортного средства численными методами, обеспечивающих минимизацию времени данного процесса и достоверность результатов расчетов.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОЙ СТРУКТУРЫ АВТОБУСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ПРИ ОПРОКИДЫВАНИИ

Важным условием достоверного виртуального воспроизведения динамических процессов является определение и присвоение для исследуемой модели силовой конструкции свойств материалов, учитывающих основные особенности процесса их упруго-пластического деформирования. Основной задачей является определение параметров моделей материала, позволяющего в ходе моделирования учитывать упруго-пластическое поведение упрочняющегося материала при приложении внешнего силового воздействия. С этой целью были определены фактические диаграммы деформирования материала путем проведения испытаний плоских образцов стали 20, полученных из балок профиля 50×40×3 ГОСТ 8645-68. Выбор стали 20 в качестве

*Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»*

исследуемого материала обусловлен тем, что балки данного типоразмера и материала получили широкое распространение при изготовлении каркасов автобусов.

Таким образом, по результатам эксперимента были получены значения изменения усилий, условной деформации, условных напряжений и перемещений. Параметры модели материала определялись с использованием методических рекомендаций [2].

Далее проводилась апробация разрабатываемых подходов на более сложных конструкциях. Подобные дополнительные исследования необходимы для подтверждения достоверности использования предлагаемых методических рекомендаций при оценке прочностных свойств полнокомплектных несущих конструкций автотранспортных средств. С этой целью были проведены испытания на трехточечный изгиб балок прямоугольного сечения 60x40x3 ГОСТ 8645-68, изготовленных из стали 20, с последующим компьютерным моделированием испытаний.

По результатам экспериментальных и расчетных исследований получены зависимости усилий на штоке гидроцилиндра от его перемещения в процессе деформирования балок. Для учета технологии изготовления труб, в частности, эффекта упрочнения материала в углах труб, использовался условный предел текучести для всей балки [2].

При подготовке компьютерной модели силовой структуры автобуса использовались методические рекомендации [3]. Процесс подготовки компьютерных моделей, расчет и анализ результатов выполнены в программах ANSYS LS-DYNA и LS-PrePost. Конструкторская твердотельная CAD-модель исследуемых конструкций автобуса была разделена на основные сборочные единицы: каркас, рама, при наличии, колеса, узлы и агрегаты. Поскольку каркас автобуса в целом изготавливается из балок, то для создания конечно-элементной модели проводилось преобразование имеющейся объемной конструкторской геометрической модели каркаса в оболочечную.

Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»



а)



б)

Рисунок 1 – Деформации каркаса:

а – натурные испытания, б – виртуальные испытания

Модели узлов и агрегатов, воспроизводящих массо-инерционные характеристики, создавались объемными телами, а пассажиры моделировались твердотельными балластами. Кинематические, энергетические и массо-инерционные характеристики определялись аналитическим методом и непосредственно в программных пакетах, в которых проводилась подготовка компьютерной модели.

На рисунке 1 представлен общий вид автобуса, включая элементы его структуры, после натуральных и виртуальных испытаний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые методические рекомендации позволяют реализовать процедуру расчетной оценки прочности кузовов автобусов при опрокидывании с учетом реальных процессов упруго-пластического деформирования силовой конструкции. Высокая точность оценки достигается за счет идентификации параметров моделей материала и верификационных расчетов отдельных элементов конструкции. Рекомендуемые подходы к моделированию силовой структуры позволяют сократить время подготовки модели и суммарное время расчета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила ЕЭК ООН №66(02) / Пересмотр 1. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения крупногабаритных пассажирских транспортных средств в отношении прочности

Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»

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. Омелюсик, А.В. Определение параметров полилинейной модели материала и моделирование пластического деформирования балочных конструкций машин // А.В. Омелюсик, А.В. Шмелев, А.Г. Кононов, А.В. Рубцов / Механика машин, механизмов и материалов, 2017 г., с. 19–27

3. Омелюсик, А.В. Методические рекомендации по подготовке компьютерной модели автобуса для расчетной оценки силовой структуры на соответствие нормативным требованиям безопасности // А.В. Омелюсик, А.В. Шмелев / Сборник научных трудов: Актуальные вопросы машиноведения, 2018 г., с. 105–111

Представлено 22.04.2019

УДК 629.1

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ТРАНСМИССИЙ АВТОМОБИЛЕЙ  
С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ В ПАКЕТЕ  
IMAGINE.LAB AMESIM

IMITATION MODELS OF TRANSITIONS OF CARS WITH  
ELECTRIC DRIVE IN IMAGINE.LAB AMESIM SOFTWARE

С.А. Сидоров, канд. техн. наук, О.А. Сонич, Ю.В. Курильчик  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

S. Sidarau, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
O. Sonich, Y. Kurilchik

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

*Аннотация.* Предложены модели для определения динамических нагрузок в элементах трансмиссий легковых автомобилей с электрической силовой установкой при движении на различных режимах и в различных дорожных условиях. Модели разработаны в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim.