УДК 629.113

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КУЗОВОВ АВТОБУСОВ

Рогов П.С., Орлов Л.Н., Тумасов А.В.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева», Нижний Новгород, e-mail:dr_verhovtcev@mail.ru

В данной статье дается подробное описание методики расчетной экспресс-оценки пассивной безопасности кузовов автобусов. Она основана на алгоритме и программе упрощенного квазистатического метода расчета, разработанных на кафедре «Автомобили и тракторы» НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Блок-схема данной программы представляется в упрощенном варианте. Приводится также обоснование применения расчетных методов оценки прочности и энергоемкости на различных этапах проектирования автобусов. Рассматриваются общие требования к составлению расчетных схем конструкции кузова, в том числе выбор внешних граничных условий и механизма разрушения. Некоторые этапы указанной методики приводятся с практическими примерами их реализации при анализе реальной конструкции. Приведенная методика расчета имеет теоретическое и практическое значение для инженеров и исследователей, занимающихся проектированием кузовов автобусов, в том числе изготовленных на базе легких коммерческих автомобилей.

Ключевые слова: кузова автобусов, повышение безопасности, расчеты, рекомендации

METHOD OF PASSIVE SAFETY EXPRESS-EVALUATION OF BUS BODIES

Rogov P.S., Orlov L.N., Tumasov A.V.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.Alekseyev, Nizhny Novgorod, e-mail: dr_verhovtcev@mail.ru

The detailed description of the method of the calculative express - evaluation of the bus bodiespassive safety is given in the paper. The technique is based on the algorithm and program of the simplified quasi-static calculative method, developed at the Department of «Cars and tractors» NSTU n. a. R. E. Alekseev.Block diagram of the program is given in a simplified form. The substantiation of the using of the computational methods of the evaluation of the strength and energy intensity at different stages bus designing is also provided. General requirements for the preparation of the body constructioncalculation schemes, including the choice of external boundary conditions and the failure mechanism are considered. Certain steps of the technique with practical examples of their implementation in the analysis of a real constructionare given. Presented calculation method has theoretical and practical significance for engineers and researchers, engaged in the designing of bus bodies,including buses manufactured on the base of light commercial vehicles.

Keywords: busbodies, safety increasing, calculations, recommendations

Известно, что достоверную оценку пассивной безопасности автобусов на соответствие требованиям Правил ЕЭК ООН №66 можно получить на основании результатов испытаний. Однако при проектировании, когда еще отсутствуют опытные образцы, возникает необходимость прогнозирования безопасности создаваемой конструкции. В этом случае нельзя обойтись без расчетных методов оценки работоспособности кузовов в условиях действия аварийных нагрузок. Поэтому Правилами также предусмотрена возможность проведения оценки по результатам расчетов и компьютерного моделирования. Наиболее точный результат, безусловно, дает применение методик компьютерного моделирования испытания автобуса на опрокидывание с использованием современных программных комплексов на основе метода конечных элементов в нелинейной динамической постановке[1],[2],[4] в соответствии с Приложением 9 [6]. Тем не менее часто при отсутствии геометрической модели и данных для формирования подробной конечно-элементной модели появляется потребность проведения оценки пассивной безопасности автобусов с внесенными в их конструкцию изменениями или отдельных модификаций базовой модели. Тогда можно воспользоваться результатами упрощенных квазистатических расчетов, применение которых предусмотрено Приложением 8 Правил [6]. Алгоритм и программа расчета должны предусматривать возможность определения значения энергоемкости $E_к$ кузова. Автобус считается официально утвержденным при выполнении условия

$$E_к \geq U_{уд.} = 0{,}75\, Mg\Delta h, \qquad (1)$$

где $U_{уд.}$ – энергия удара; Δh – вертикальное перемещение центра тяжести автобуса.

Метод расчета должен учитывать реальный характер разрушения кузова, его секций и силовых сечений. Этим требованиям

отвечают разработанные на кафедре «Автомобили и тракторы» НГТУ им. Р.Е. Алексеева алгоритм [3] и программа [5] инженерного метода расчета кузовов автобусов на безопасность. На основе этого метода разработана методика экспресс-оценки безопасности кузовов автобусов. Она включает следующие основные этапы:

1) структурный анализ реальной конструкции;

2) выбор способа закрепления кузова, места и характера приложения внешней нагрузки;

3) выбор стержневой расчетной модели кузова. Представление ее в виде отдельных секций и силовых сечений;

4) нахождение действительных механизмов разрушения и разрушающих нагрузок для силовых сечений из условия

$$F_{Pi} = \min F_{Pj}, \qquad (2)$$

где F_{Pi} – действительная разрушающая нагрузка i-го сечения; F_{Pj} – разрушающая нагрузка j-го возможного механизма разрушения;

5) определение несущей способности кузова по разрушающей нагрузке

$$F_P^K = \sum_{i=1}^{K} F_{Pi}, \qquad (3)$$

где K – количество силовых контуров кузова;

6) нахождение допускаемой деформации кузова

$$S_{доп.} = L_{куз.} - L_{регл.}, \qquad (4)$$

где $L_{куз.}$ – исходные размеры салона кузова; $L_{регл.}$ – размеры остаточного жизненного пространства;

7) определение энергоемкости несущей конструкции кузова

$$E_k = \sum_{i=1}^{k} F_{pi} S_{ДОП.i}; \qquad (5)$$

8) оценка безопасности кузова автобуса.

На основании сравнения расчетных значений критериев с регламентируемыми значениями делается заключение о соответствии или несоответствии конструкции кузова требованиям безопасности.

Анализ силовой схемы кузова автобуса выполняется на основании предоставляемой заводом-изготовителем конструкторской документации. Способ закрепления модели кузова выбирается исходя из конструктивных особенностей автобуса и условий опрокидывания. Места приложения аварийной нагрузки (реакции опорной поверхности, на которую опрокидывается автобус) и угол α определяются исходя из кинематики опрокидывания масштабной модели автобуса (рис. 1).

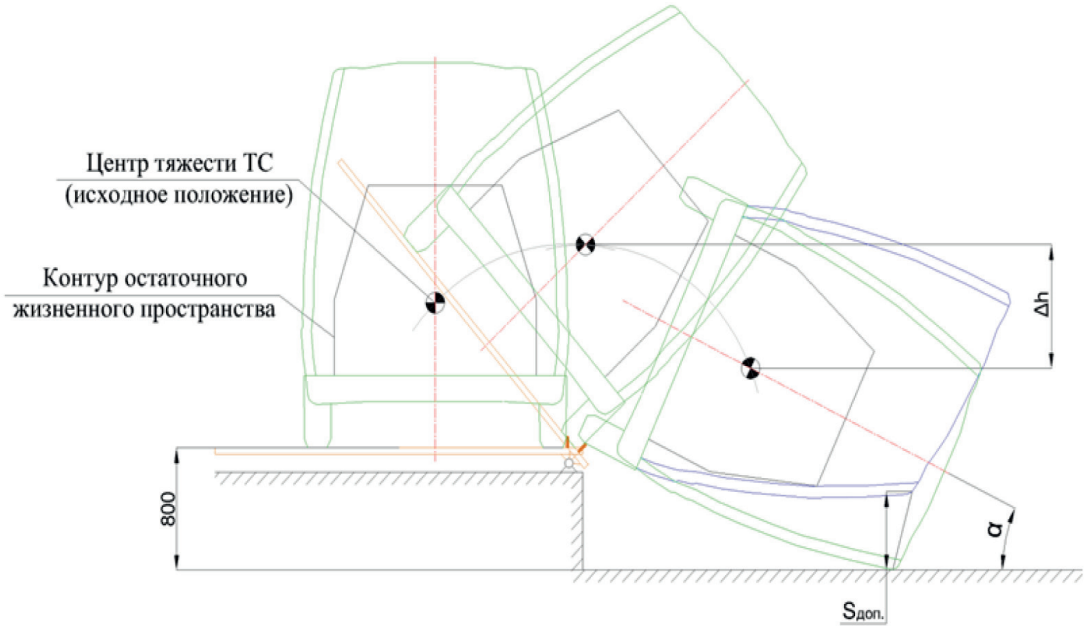

Рис. 1. Три основных положения автобуса во время опрокидывания с указанием основных расчетных параметров

Стержневая модель кузова должна включать его основные силовые элементы (дуги и стрингеры крыши; стойки, раскосы и усилители боковин; консоли, поперечины и лонжероны основания), показанные на рис. 2.

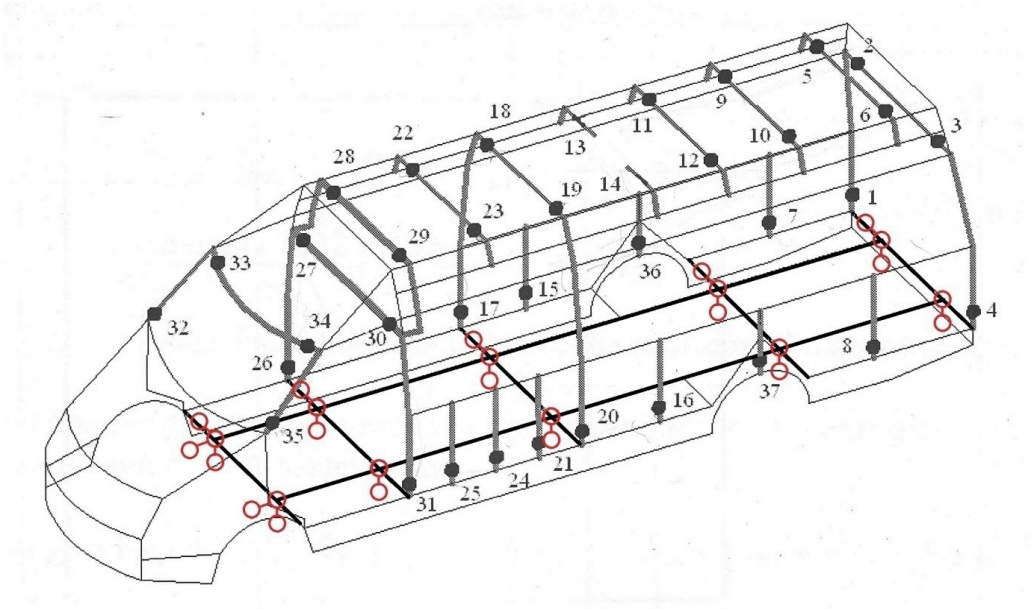

Рис. 2. Силовая схема кузова с характерными зонами расположения пластических шарниров и указанием зон внешнего закрепления

Действительные механизмы разрушения находятся по результатам анализа значений разрушающих нагрузок для всех возможных механизмов разрушения поперечных силовых сечений кузова. При этом его стержневая модель разбивается на условные силовые сечения, каждое из которых включает в себя определенные элементы. Например, первое силовое сечение состоит из элементов оконного проема с пластическими шарнирами 32...35. Ко второму сечению и соответствующему механизму разрушения относятся элементы с шарнирами 26...31. К третьему сечению можно отнести элементы с шарнирами 17...20, 13...16, 21...25. Аналогичным образом формируются четвертое и пятое сечения. Для примера на рис. 3 показан механизм разрушения пятого сечения (схемы проема задней двери). На нем указаны углы $\theta_1...\theta_4$ относительного поворота элементов в пластических шарнирах, вектор составляющей F_P аварийной нагрузки и угол α. Точка С соответствует мгновенному центру скоростей. Для данного механизма $\theta_1=\theta_4=\theta$, $\theta_2=\theta_3=\theta+\Delta\theta$.

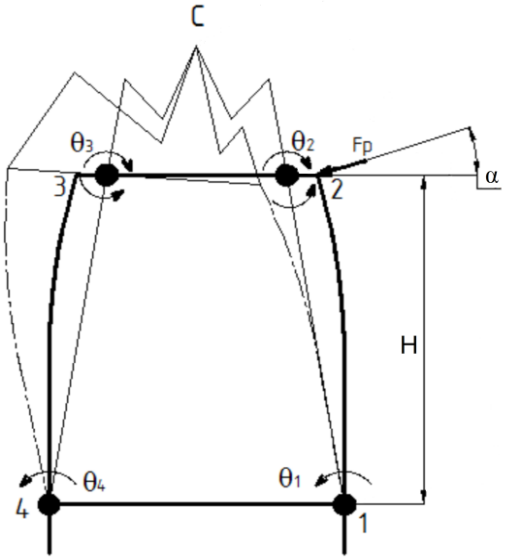

Рис. 3. Механизм разрушения пятого силового сечения кузова автобуса

Выражение силы F_P находится из уравнения равенства работ внешних и внутренних усилий:

$$F_{p5} H\theta cos\alpha = \left[W_{\text{ПЛ.1}}\theta + W_{\text{ПЛ2}}\left(\theta + \Delta\theta\right) + W_{\text{ПЛ3}}\left(\theta + \Delta\theta\right) + W_{\text{ПЛ4}}\theta\right]\sigma_{\text{Т}}. \quad (6)$$

Зависимость F_P от параметров силовой схемы имеет вид:

$$F_{P5} = \frac{\sigma_T [W_1 + (W_2 + W_3)\cdot(1 + (\frac{l_{1-2}}{l_{2-C}})) + W_4]}{H\cos\alpha}. \quad (7)$$

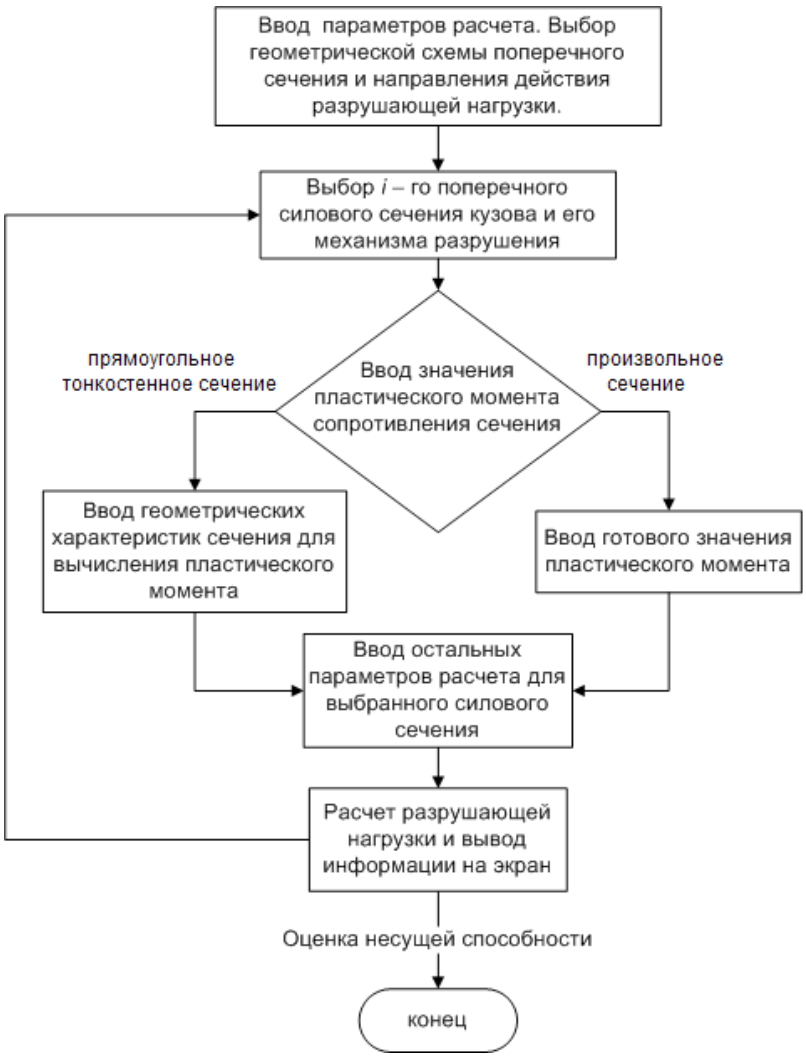

Рис. 4. Блок-схема разработанной программы расчета

Автоматизированный расчет значений разрушающих нагрузок осуществляется с помощью разработанной специальной программы [5], блок-схема которой приведена на рис. 4.

После определения F_{Pi} для каждого силового сечения кузова оценивается его несущая способность по разрушающей нагрузке F_P^K. Далее определяется энергоемкость кузова E_K, и ее значение сравнивается с регламентированной энергией удара $U_{УД}$.

Практическое использование рассмотренной методики на основе применения инженерного метода расчета несущей способности кузовов по разрушающим нагрузкам дает возможность решать задачи по оценке пассивной безопасности автобусов.

Данные исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г.

(постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №218).

Список литературы

1. Ким И.В., Зузов В.Н. Оценка прочности силовой структуры кузовов автобусов методами математического моделирования (часть 1) // Журнал ААИ. – 2008. – №5. – С. 30-31.

2. Ким И.В., Зузов В.Н. Оценка прочности силовой структуры кузовов автобусов методами математического моделирования (часть 2) // Журнал ААИ. – 2008. – №6. – С. 40-41.

3. Орлов Л.Н. Пассивная безопасность и прочность кузовов, кабин автотранспортных средств. Методы расчета и оценки: учеб.пособие. / НГТУ. Н. Новгород, 2005. – 230 с.

4. Орлов Л.Н., Вашурин А.С., Тумасов А.В., Ившин К.С. Расчетная оценка пассивной безопасности перспективного автобуса // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2013. – №1. – С. 6-11.

5. Орлов Л.Н., Рогов П.С.,Тумасов А.В. Выбор безопасной силовой схемы кузова на начальных этапах проектирования автобуса// Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 1(98). - С.131-138.

6. Правила ЕЭК ООН № 66 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения крупногабаритных пассажирских транспортных средств в отношении прочности их силовой структуры», Пересмотр 1

References

1. KimI.V., ZuzovV.N. ZhurnalAAI, 2008, no 5, pp. 30-31.

2. KimI.V., ZuzovV.N. Zhurnal AAI, 2008, no 6, pp. 40-41.

3. Orlov L.N. Passivnaya bezopastnost i prochnost kuzovov, kabin, avtotransportnyh sredstv. Metody rascheta i otsenki [Passive safety and strength of body constructions, cabs, vehicles. Methodsofanalysisandestimation].N. Novgorod, NGTU, 2005. 230 p.

4. Orlov L.N., VashurinA.S., TumasovA.V., IvshinK.S. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta, 2013, no 1, pp. 6-11.

5. Orlov L.N., RogovP.S., TumasovA.V. Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva, 2013, no 1(98), pp. 131-138.

6. UNECE (2006) Uniform technical prescriptions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure, Rev. 1.

Рецензенты:

Аникин А.А., д.т.н., директор НИЛ ТМ ТТК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород;

Шапкин В.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 04.06.2014.