

УДК 629.33

EDN: DNAZEF

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПОСОБА УСТАНОВКИ СИДЕНИЙ САЛОНА АВТОБУСА НА ПАССИВНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

В.Ю. Шурыгин

ORCID: 0009-0002-9671-8115 e-mail: shurygin.063@yandex.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***Л.Н. Орлов**

ORCID: 0000-0003-4852-1174 e-mail: lev.n.orlov@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***В.Н. Наумов**

ORCID: 0000-0001-5172-0364 e-mail: vn.naumov1941@yandex.ru

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
*Москва, Россия***В.Ф. Кулепов**

ORCID: 0000-0002-8319-3973 e-mail: kulepov@dpingtu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***С.Е. Манянин**

ORCID: 0009-0003-0245-0638 e-mail: sergmanian@yandex.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***М.И. Шурыгина**

ORCID: 0009-0000-9355-3082 e-mail: chichkina.m@mail.ru

Автономная некоммерческая организация «Институт сертификации автотехники»
Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты расчетного исследования безопасности автобуса, проведенного с учетом требований Правил № 66 ЕЭК ООН. Исследовано влияние способа установки сидений на пассивную безопасность кузова автобуса. В качестве объекта изучения принят цельнометаллический кузов автобуса малого класса. Производство данного типа транспортных средств зачастую происходит путем доработки грузовых автомобилей. При данном виде производства доработкам необходимо решить вопрос пассивной безопасности, пройти сертификацию. Согласно Правилам № 66 ЕЭК ООН, допустимо применение имитационного моделирования. Расчетные исследования выполнены с применением компьютерного моделирования на основе МКЭ (метода конечных элементов). Создана модель кузова автобуса с различными вариантами крепления сидений (только на пол, пол – боковина). Правила ООН № 66 требуют, чтобы конструкция транспортного средства выдерживала нагрузку, возникающую при боковом опрокидывании транспортного средства, а также после опрокидывания в его салоне должно сохраняться необходимое для пассажиров и водителя пространство. Анализ показывает, что минимальный запас расстояния между регламентированным остаточным жизненным пространством и кузовом автобуса сохраняется, однако при способе установки сидений на пол – боковину обеспечивается запас.

Ключевые слова: кузов автобус, пассивная безопасность, компьютерное моделирование, автобус малого класса.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Шурыгин, В.Ю. Оценка влияния способа установки сидений салона автобуса на пассивную безопасность / В.Ю. Шурыгин, Л.Н. Орлов, В.Н. Наумов, В.Ф. Кулепов, С.Е. Манянин, М.И. Шурыгина // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2024. № 2. С. 123-130. EDN: DNAZEF

ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF INSTALLATION METHOD OF BUS INTERIOR SEATS FOR PASSIVE SAFETY

V.Yu. Shurygin

ORCID: **0009-0002-9671-8115** e-mail: **shurygin.063@yandex.ru**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

L.N. Orlov

ORCID: **0000-0003-4852-1174** e-mail: **lev.n.orlov@mail.ru**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

V.N. Naumov

ORCID: **0000-0001-5172-0364** e-mail: **vn.naumov1941@yandex.ru**

Bauman Moscow State Technical University
Moscow, Russia

V.F. Kulepov

ORCID: **0000-0002-8319-3973** e-mail: **kulepov@dpingtu.ru**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

S.E. Manyanin

ORCID: **0009-0003-0245-0638** e-mail: **sergmanian@yandex.ru**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

M.I. Shurygina

ORCID: **0009-0000-9355-3082** e-mail: **chichkina.m@mail.ru**

Autonomous non-profit organization Institute of Automotive Certification (ANO INSAT)
Nizhny Novgorod, Russia

The paper presents the results of a computational research of bus safety. Calculations were carried out taking into account the requirements of UNECE Regulation No. 66. The influence of the method of seats installation on the passive safety of the bus body has been studied. In this computational study, the all-metal body of a small class bus is taken as the object of study. The production of this type of vehicle often occurs through the fitting-out of trucks. With this type of production, fitting-out workers need to resolve the issue of passive safety and undergo certification. According to the provisions of UNECE Regulation No. 66, it is permissible to use simulation modeling methods. Computational studies were carried out using computer modeling based on FEM (finite element method). At the same time, a model of the bus body was created with various options for attaching seats (only on the floor, on the floor and sidewall). UNECE Regulation No. 66 requires that the vehicle structure must be able to withstand the loads encountered during a side rollover of the vehicle, and that after rollover the vehicle interior must maintain adequate space for passengers and the driver. Analysis of the calculation results shows that the minimum margin of distance between the regulated residual living space and the bus body is maintained, however, when installing the seats on the floor and sidewall, a margin is provided.

Key words: bus body, passive safety, computer modeling, small class bus.

FOR CITATION: Shurygin, V.Yu., Orlov L.N., Naumov V.N., Kulepov V.F., Manyanin S.E., Shurygina M.I. Estimation of the influence of installation method of bus interior seats for passive safety. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2024. № 2. Pp. 123-130. EDN: DNAZEF

Введение

В настоящее время повышен спрос на автобусы малого класса. Зачастую отдельные производители дорабатывают кузова грузовых автомобилей под перевозку людей, при этом им приходится решать вопрос обеспечения пассивной безопасности данных транспортных средств. При смене категории транспортного средства с грузовой (например, N2) на категорию для перевозки людей (например, M2), необходимо выполнить ряд требований технического регламента [1], касающихся, в частности, прочности и несущей способности по разрушающим нагрузкам их кузовных конструкций [2]. Для подтверждения соответствия транспортных средств, с внесенными в их конструкцию изменениями, требованиям данных Правил допустимо использовать расчетные методы в соответствии с Приложением 9 [2]. В этом случае оценка безопасности автобуса проводится на основании расчетного анализа с использованием современных комплексов для нелинейного расчета. Это существенно снижает затраты на разработку конструкции и сертификацию, следовательно, снижается цена конечного продукта. Целесообразность и обоснованность применения расчетных методов оценки безопасности кузовных конструкций транспортных средств доказаны результатами их использования расчетными отделами автомобильных заводов и ведущих фирм.

Описание испытаний

Испытание [2, 3] на соответствие требованиям Правил проводят на полнокомплектном транспортном средстве. Образец для испытаний выбирается, исходя из наихудшего варианта конструкции, при этом данный образец должен представлять заявленный для оценки на соответствие указанным выше требованиям. Методикой испытания предусмотрено устанавливать автобус на специальную опрокидывающую платформу, расположенную на высоте 0,8 м от опорной площадки, на которую он падает после поворота платформы.

После такого опрокидывания автобуса с уступа в его салоне для пассажиров должен оставаться необходимый жизненный объем [2]. Для этого при подготовке к испытаниям в салон автобуса устанавливают специальный шаблон контура регламентированного остаточного пространства (рис. 1). Данный контур устанавливают на транспортное средство перед испытаниями для более наглядной оценки результатов. Способ его закрепления и изготовления, а также применяемые материалы не должны увеличивать прочность основной конструкции.

С целью возможности оценки различных вариантов конструкции, а также возможности дальнейших разработок транспортных средств, разработчик конструкции может указать большее остаточное жизненное пространство.

Описание объекта исследований

В работе рассмотрен вопрос оценки влияния на пассивную безопасность способа установки сидений, в частности, оценки влияния крепления сидений к боковинам кузова автомобиля. При таком способе крепления остов сидения также воспринимает нагрузку, возникающую при опрокидывании автобуса. Сиденье транспортного средства – достаточно прочный и жесткий элемент, способный выдерживать высокие аварийные нагрузки, что подтверждается при сертификации комплектного транспортного средства.

За объект исследования выбрано транспортное средство с цельнометаллическим кузовом, переоборудованное в автобус категории M2 с числом пассажирских мест 19. Сиденья установлены на подиум со способом крепления на полу и к боковинам. Способ установки сидений показан на рис. 2.

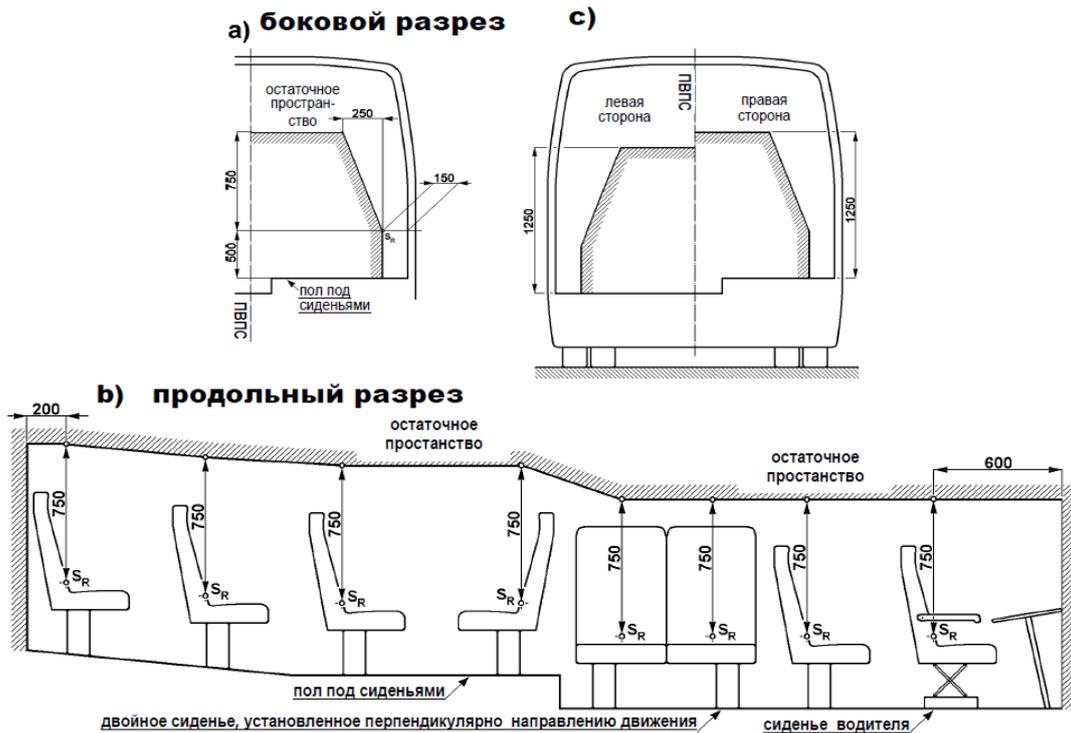


Рис. 1. Контур необходимого остаточного пространства

Fig. 1. Contour of required residual space

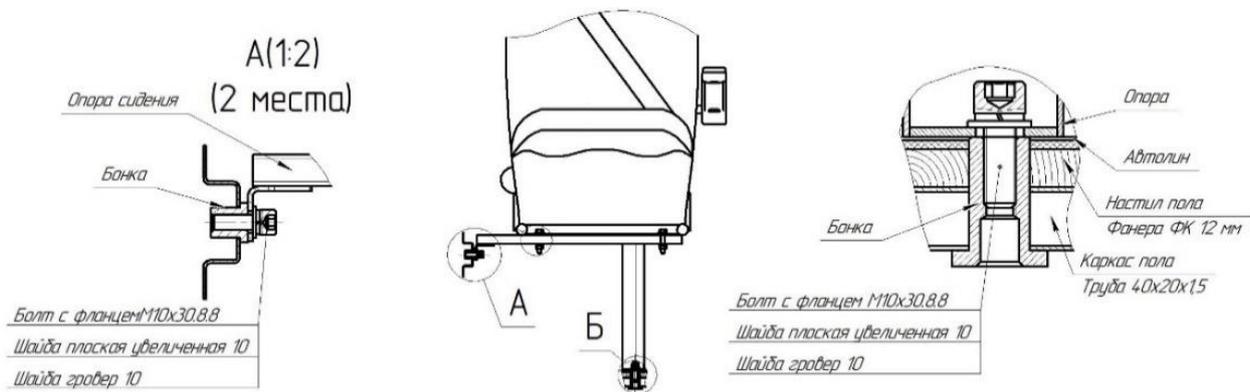


Рис. 2. Способ установки сиденья

Fig. 2. Seat installation method

На первом этапе исследовано поведение конструкции при опрокидывании без учета установки сидений. Далее учтены остовы сидений, подиум и проведено сравнение полученных результатов.

Компьютерное моделирование

Компьютерное моделирование действия аварийной нагрузки на кузов при опрокидывании автобуса выполнено с применением программного пакета LS-Dyna, обеспечивающего возможность нелинейного расчета конструкций, при их больших пластических деформациях, в условиях ударного воздействия.

Исследования проведены на подробной модели [4] кузова автобуса (рис. 3). Расчетная модель рассмотрена в двух вариантах: с установленными сиденьями и без них.

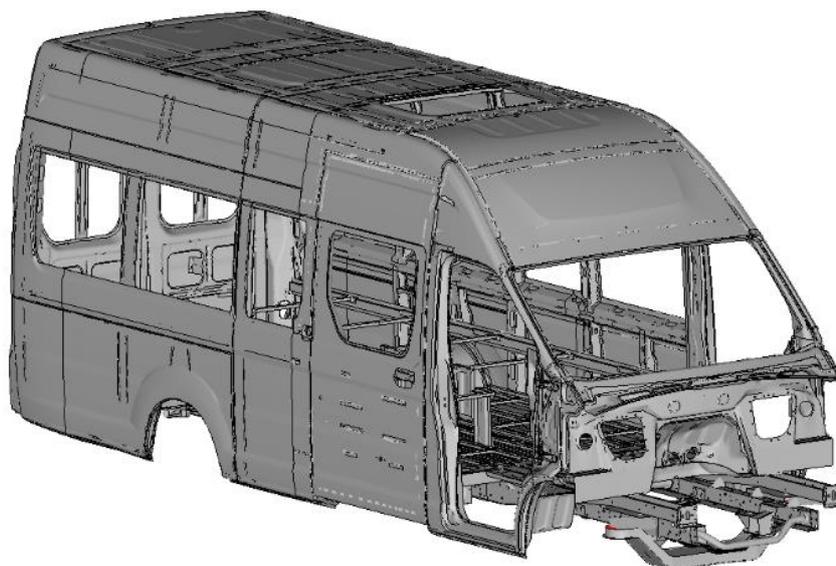


Рис. 3. Конечно-элементная модель кузова

Fig. 3. Finite element model of the body

При разработке модели приняты следующие допущения: модель кузова имеет жесткие недеформируемые сварные соединения элементов; в ней отсутствуют стекла, передние двери, люк и другие элементы, не оказывающие существенного влияния на его несущую способность. Правила ООН № 66 требуют, чтобы конструкция транспортного средства выдерживала нагрузку, возникающую при боковом опрокидывании транспортного средства.

Испытание комплектного транспортного средства начинается с потери его устойчивости при нулевой угловой скорости. Удар кузова в опорную поверхность происходит с энергией, определяемой по формуле $U_{уд} = 0,75 \cdot M \cdot g \cdot h$, указанной в Правилах ООН № 66. При этом M – приведенная масса автобуса, включающая его снаряжённую массу и половину масс пассажиров; h – высота изменения положения центра тяжести при падении автобуса; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

При виртуальном моделировании испытание на опрокидывание начинается с момента касания автобуса нижней горизонтальной поверхности, на которую происходит опрокидывание. В момент касания нижней горизонтальной поверхности угловая скорость поворота автомобиля вокруг оси его опрокидывания находится из условия равенства кинетической энергии автомобиля уменьшению его потенциальной энергии в момент касания кузова нижней горизонтальной площадки соударения относительно ее максимального значения, соответствующего наивысшему положению центра тяжести при опрокидывании автобуса:

$$J \omega^2 / 2 = Mg(h_1 - h_2),$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2gM(h_1 - h_2)}{J}},$$

где J – момент инерции автомобиля вокруг оси опрокидывания; ω – угловая скорость автомобиля вокруг оси опрокидывания; h_2 – высота центра тяжести транспортного средства в момент касания кузова нижней горизонтальной поверхности соударения по отношению к нижней горизонтальной плоскости кювета. Расчетное значение $U_{уд}$ составило 26,8 кНм (кДж).

При выполнении расчетов необходимой является разработка достоверной расчетной модели, отражающей ключевые особенности конструкции несущей системы транспортного средства. Особое внимание должно уделяться способам закрепления и нагружения модели, позволяющим с высокой степенью точности воспроизводить условия опрокидывания авто-

буса. Модель должна учитывать все геометрические и физические свойства силовой конструкции кузова, максимально по своим характеристикам приближаться к реальной конструкции. Все массы и силы инерции агрегатов транспортного средства представлены в модели абстрактными элементами (*ELEMENT_INERTIA) с заданными инерционными характеристиками.

При разработке конечно-элементных моделей [5] делается сглаживание виртуальных поверхностей так, чтобы ее элементы могли иметь реальный размер не менее 5 мм, при этом принимаются также рекомендации:

- размеры элементов сетки должны адекватно передавать геометрию конструкции;
- треугольных элементов следует избегать ввиду того, что они увеличивают жесткость конструкции;
- разрабатывать сетку элементов необходимо для каждого отдельного элемента, сварку моделировать специальными жесткими элементами;
- следует не допускать значительного проникновения элементов друг в друга (максимальное проникновение может быть в пределах половины толщины панели); необходимо игнорировать невозможные соединения, так как вся модель может быть излишне закреплена, что приведет к росту локальных напряжений.

Моделирование испытания пассажирского транспортного средства на опрокидывание начинается с момента его касания нижней горизонтальной поверхности. При этом используемый коэффициент трения между кузовом и опорной поверхностью принят равным $\mu = 0,36$ (сталь по бетону). При опрокидывании модели с сиденьями (рис. 3) видно, что при ее деформировании большой зазор (обозначение «S», вид показан для сечения 2, рис. 4) между боковинами и регламентированным остаточным жизненным пространством. Из анализа результатов расчета видно, что остов сиденья так же воспринимает аварийную нагрузку, верхняя часть остова и его опоры деформируются. Поскольку сиденья ставятся на рамку подиума, жесткость пола транспортного средства также увеличивается, основание пола транспортного средства подвержено меньшему деформированию с сиденьями, нежели без них (рис. 4). Для более точной оценки минимального расстояния между кузовом транспортного средства и контуром регламентированного остаточного жизненного пространства после опрокидывания модели, построены сечения (рис. 5), а сохраняющиеся зазоры представлены в табл. 1.

Таблица 1.
Зазоры, мм (минимальное расстояние от регламентированного остаточного жизненного пространства до боковины кузова)

Table 1.
Clearances, mm (minimum distance from the regulated residual living space to the side of the body)

Номер сечения	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
без сидений	55	68	75	77	63	77
с сиденьями	80	85	100	95	98	100

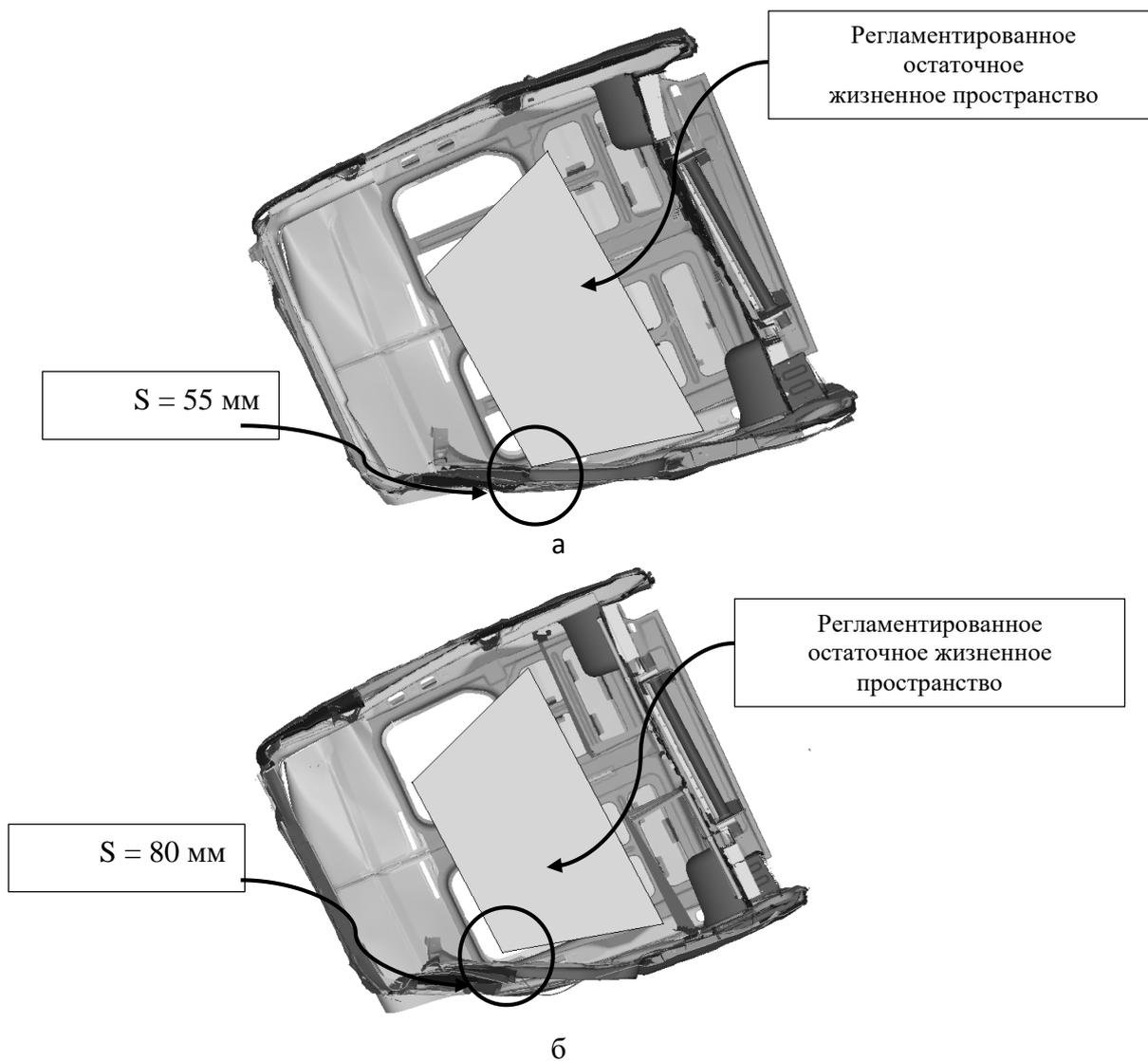


Рис. 4. Результаты расчета: а – вариант без сидений, б – вариант с сиденьями
 Fig. 4. Calculation results: a – version without seats, b – version with seats

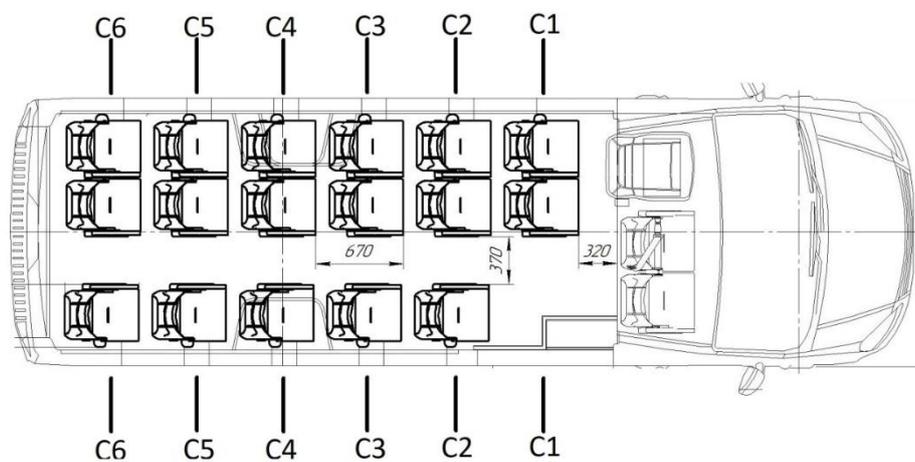


Рис. 5. Распределение сечений
 Fig. 5. Section distribution

Результаты и выводы

Анализ показал, что минимальное расстояние между остаточным пространством и каркасом кузова автобуса, оборудованного ремнями безопасности, наблюдается в передней части (сечение С1) и составляет 55 мм. Согласно результатам расчета, минимально необходимое остаточное жизненное пространство сохраняется. Однако с целью обеспечения 30 % запаса, возможен вариант установки сидений с крепления на пол и боковину. В рамках расчетов с учетом минимально допустимых характеристик используемых материалов установлено, что при опрокидывании автобуса остаточное пространство удовлетворяет требованиям Правил № 66 ООН (пересмотр № 1 поправка № 2, дата вступления в силу 19.08.2010).

Повышение пассивной безопасности возможно за счет элементов интерьера транспортных средств, в том числе, сидений. Эта работа актуальна для автопроизводителей, которые занимаются переоборудованием грузовых цельнометаллических фургонов в пассажирские транспортные средства. При таком переоборудовании достаточно сложно усилить непосредственно сам кузов транспортного средства, но можно применить способ установки сидений *пол – боковина*. Результаты также могут быть использованы техническими службами при выборе репрезентативного образца для проведения испытаний. Задачей дальнейших исследований может стать изучение влияния других конструктивных элементов на улучшение пассивной безопасности транспортных средств.

Библиографический список

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» (утвержден решением комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 877). Москва, 2011.
2. Правила ЕЭК ООН № 66 «Единые предписания, касающиеся официального утверждения крупно габаритных пассажирских транспортных средств в отношении прочности верхней части их конструкции» // Европейская Экономическая Комиссия, Женева, 1986.
3. **Годжаев, З.А.** Перспективные методы проектирования несущих систем автотранспортных средств, в том числе, по критериям безопасности / З.А. Годжаев и др. // Журнал ААИ. 2012. №4. С. 34-38.
4. **Кушвид, Р.П.** Испытания автомобиля: учебник. – М.: МГИУ, 2011. – 351 с.
5. **Орлов, Л.Н.** Основы разработки конечно-элементных моделей кузовных конструкций автотранспортных средств. Расчеты на безопасность и прочность: учеб. пособие / Л.Н. Орлов и др. – Нижний Новгород: НГТУ, 2014. – 144 с.

*Дата поступления
в редакцию: 30.01.2024*

*Дата принятия
к публикации: 28.02.2024*