

Анализ влияния конструктивных факторов на пассивную безопасность кабины грузового автомобиля при фронтальном ударе

08, август 2013

DOI: 10.7463/0813.0580257

Шабан Б. А., Зузов В. Н.

УДК 629.113

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

shabanbassem1976@yahoo.com

zuzvalery@rambler.ru

Введение

Главным инструментом создания кабины, отвечающей требованиям пассивной безопасности, до настоящего времени является экспериментальная доводка конструкции. Однако процесс этот дорогостоящий и недостаточно информативный. Практически результатом эксперимента является только вид остаточного деформированного состояния конструкции, в то время как сам процесс деформирования остаётся практически вне наблюдения.

Использование методов математического моделирования для обеспечения требуемых характеристик пассивной безопасности проектируемых кабин грузовых автомобилей при достаточной точности моделирования лишено отмеченных недостатков. Согласно существующим требованиям пассивной безопасности кабина грузового автомобиля в случае фронтального столкновения автомобиля с препятствием должна обеспечивать поглощение энергии удара при сохранении внутри остаточного пространства безопасности для водителя и пассажиров. Это требование в настоящее время регламентирует ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН N 29) [1-2]. Однако эти правила не учитывают имитации поведения водителя и пассажиров во время аварии. Для имитации поведения водителя и пассажиров во время столкновения применяются манекены типа Гибрид III. Первоначально разработанный в компании General Motors, Гибрид III теперь поддерживается и дорабатывается фирмой Humanetics совместно с Обществом автомобильных инженеров (SAE). Достоверность биофизических параметров манекена и схожесть с телом человека подтверждена многочисленными испытаниями. Конечно-элементная модель (КЭМ) Гибрида III подробно описывался в работе [3]. Пример КЭМ манекена Hybrid III, усаженного в кресло и пристегнутого ремнями безопасности, показан на рис. 1. Сиденье выполнено из двух соединенных между собой жестких оболочек. Манекен нижней частью бедра под действием

силы тяжести опирается на горизонтальную часть сиденья. К вертикальной спинке манекен прижат при помощи ремней безопасности. Ремни безопасности выполнены из балочных (нити каркаса) и оболочечных (полотно ремня) конечных элементов (КЭ) с использованием специально разработанного для этих целей материала MAT_SEATBELT [4].

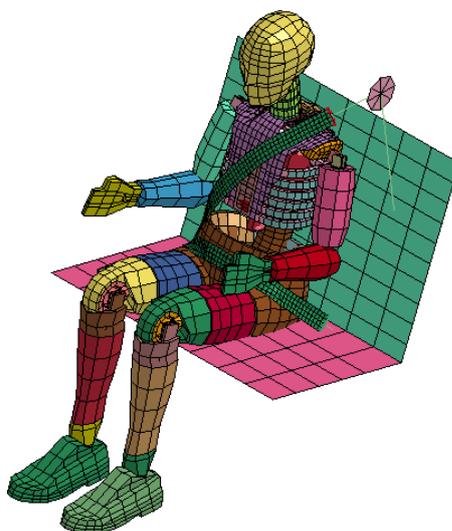


Рис. 1. Конечно-элементная модель манекена Hybrid III

В современных условиях оценку пассивной безопасности кабин целесообразно проводить расчетным путем на базе метода конечных элементов (МКЭ) [5-6]. Причем, как было показано, для анализа поведения конструкции кабины при ударе маятником передней части необходимо использовать оболочечные КЭМ кабины высшего уровня (погрешность 5,4 % по сравнению с экспериментом), для предварительных и многовариантных расчётов - модели среднего уровня (погрешность 15% по сравнению с экспериментом) [5-6].

Расчётные методы наиболее эффективны на стадии проектирования, а также доводки автомобилей. Компьютерное моделирование аварийных ситуаций с использованием современных программных комплексов позволяет определить напряженно-деформированное состояние конструкции [8-9], получать зависимости изменения параметров нагружения, энергии удара, энергоёмкости конструкции, ударной нагрузки, ускорения центра масса головы манекена и др. параметров, при этом рассматривая большое число конструктивных вариантов.

Целью данной статьи является анализ влияния конструктивных факторов кабин грузовых автомобилей на параметры, влияющие на пассивную безопасность (двери, панели обшивки, применение пеноалюминия и др.).

В качестве объекта исследований была выбрана кабина грузового автомобиля КАМАЗ, который является массовым в России и имеет достаточно типичную и распространённую компоновку и конструкцию кабины (рис. 2).

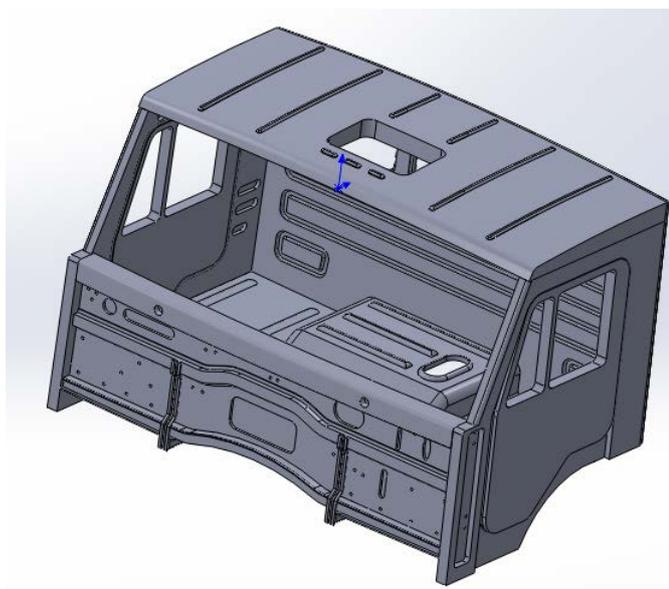


Рис. 2. Кабина КАМАЗ бескапотной компоновки без спального места

Для проведения исследований были разработаны КЭМ среднего уровня (рациональные модели: число узлов 102087, число элементов 102455, размеры элементов 8 [мм] [5-6]), адекватно отражающие силовые элементы кабин, условия их соединения и закрепления на внешних опорах [7].

Моделируется процесс удара маятником по передней части кабины по методике (правилам) ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН N 29) МКЭ в программном комплексе LS-DYNA . В процессе моделирования динамического удара маятнику задавалась начальная скорость $V=8,56$ [м/с], соответствующая необходимой кинетической энергии в момент удара, равной 55 [кДж] (рис. 3)

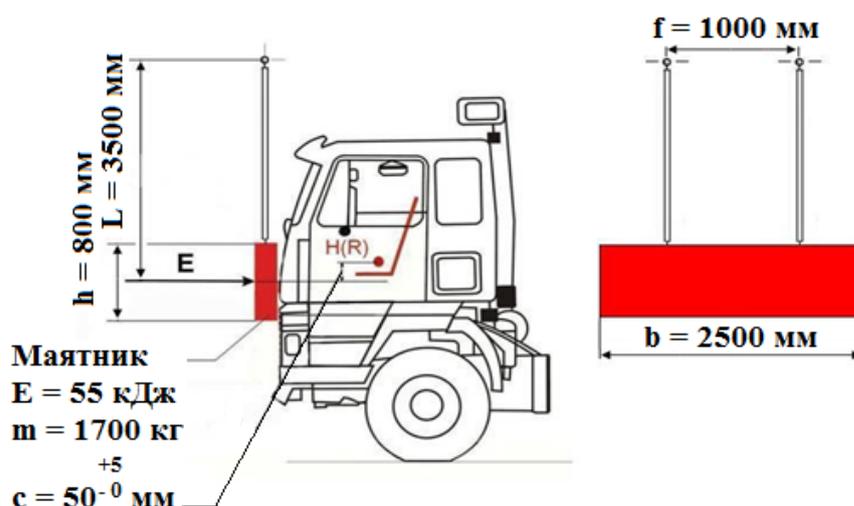


Рис. 3. Схема нагружения кабины при испытаниях «удар спереди» (испытание А) по правилам ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН № 29)

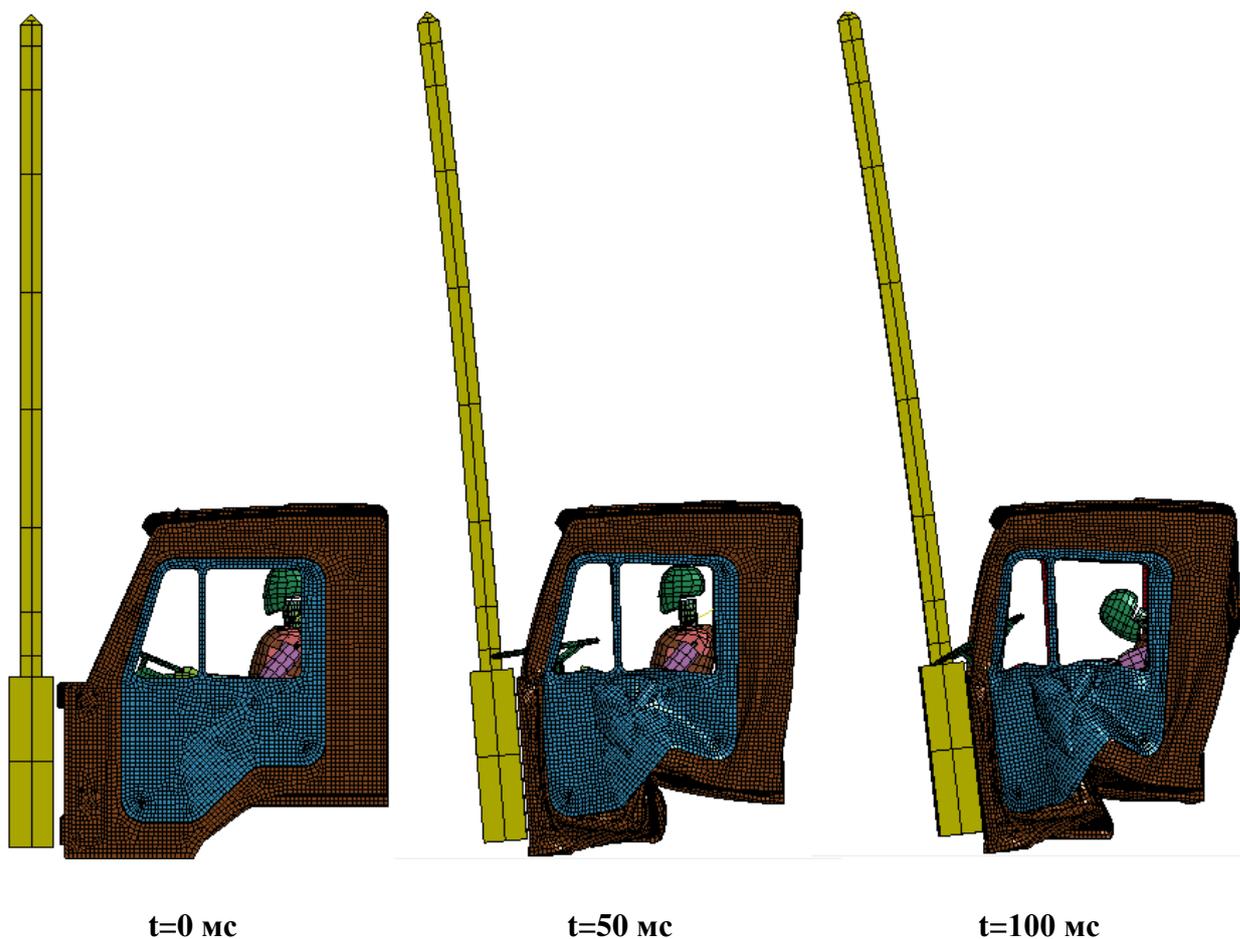


Рис .4. Картины деформированных состояний КЭМ кабины КАМАЗ для трех значений времени процесса

Результаты расчёта для исходной модели представлены на рис. 4. Анализ результатов включал оценки пассивной безопасности кабины по Правилам (проверка остаточного пространства), а также положения манекена в процессе испытания и картины деформированного состояния (рис. 5). Максимальное расчетное перемещение маятника по времени составило 400 мм, и было выявлено, что практически не осталось пространства для ног манекена (рис. 6). Таким образом, кабина должна быть существенно доработана.



Рис. 5. Положение манекена в процессе испытания (дверь не показана)

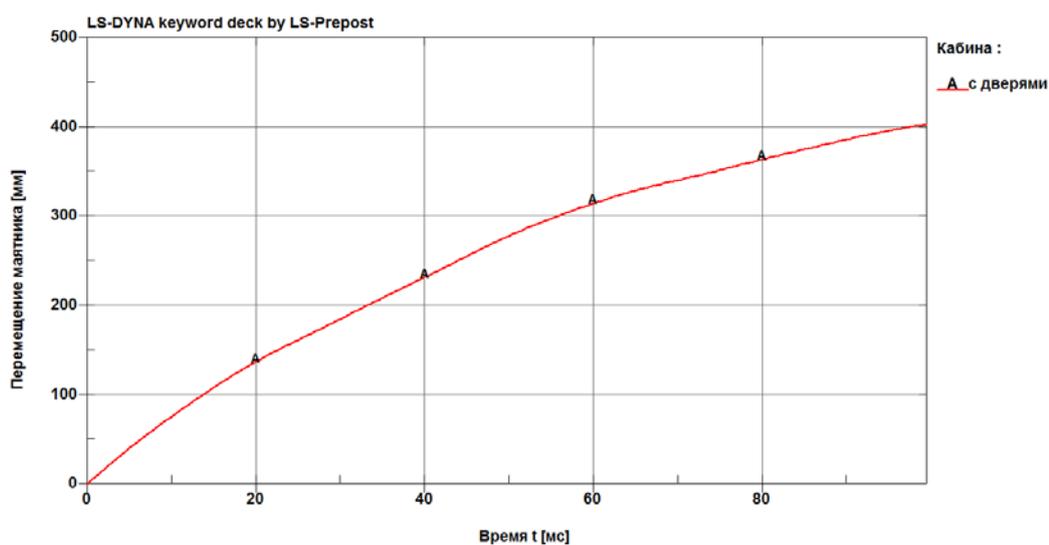


Рис. 6. График изменения перемещения маятника по времени

Помимо определения жизненного пространства, регламентируемого Правилами, нами предлагается оценить также расчётное ускорение центра масс головы манекена в заданный промежуток времени поскольку это очень важный параметр, который позволит из разных вариантов возможных изменений конструкции выбрать наилучший.

По результатам расчёта выявлено, что результирующее ускорение составляет 42 g (оно не превышает допустимого значения 80 g в течение 3 мс). На рис. 7 представлен график зависимости изменений ускорения головы от времени. По значению максимального ускорения можно судить об общей жесткости конструкции при ударе.

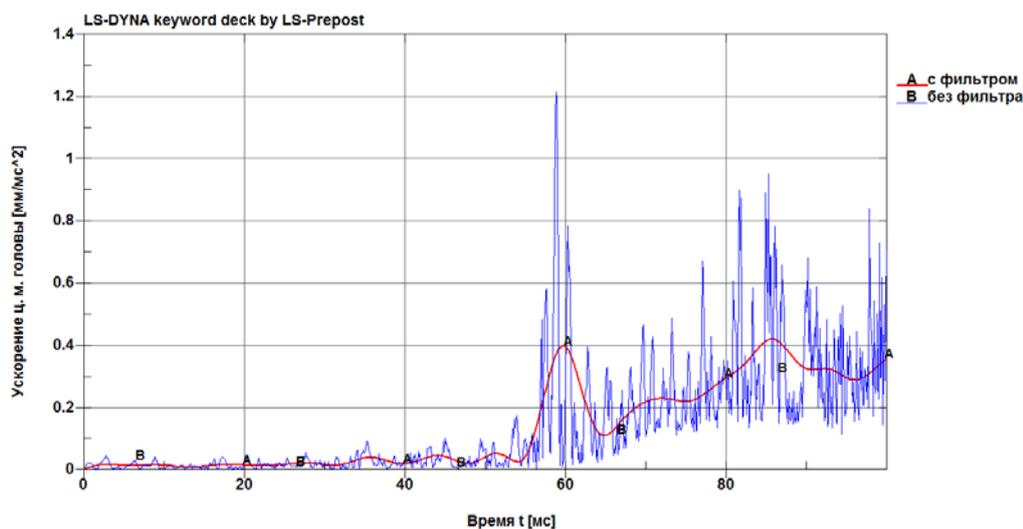


Рис. 7. Графики изменений ускорений центра масс головы манекена исходной модели по времени (красным цветом показан график после обработки фильтром, синим - без фильтра)

Основные детали кабины КАМАЗ изготовлены из листовой стали толщиной 0,8–1,2 мм [10-11]. Для оценки зависимости параметров кабины (КАМАЗ-5320) от значений толщины панелей были рассчитаны в программном комплексе LS-DYNA 4-е варианта КЭМ (с толщинами 1,0 мм, 1,5 мм, 2,0 мм и 2,5 мм соответственно) при ударе маятником по передней части кабины без учета дверей (по ГОСТ Р 41.29-99 и Правилам ЕЭК ООН N 29). В процессе моделирования динамического удара маятнику задавалась начальная скорость $V=8,56$ [м/с], соответствующая необходимой кинетической энергии в момент удара, равной 55 [кДж]. Результаты расчётов представлены на рис. 8, 9, 10.

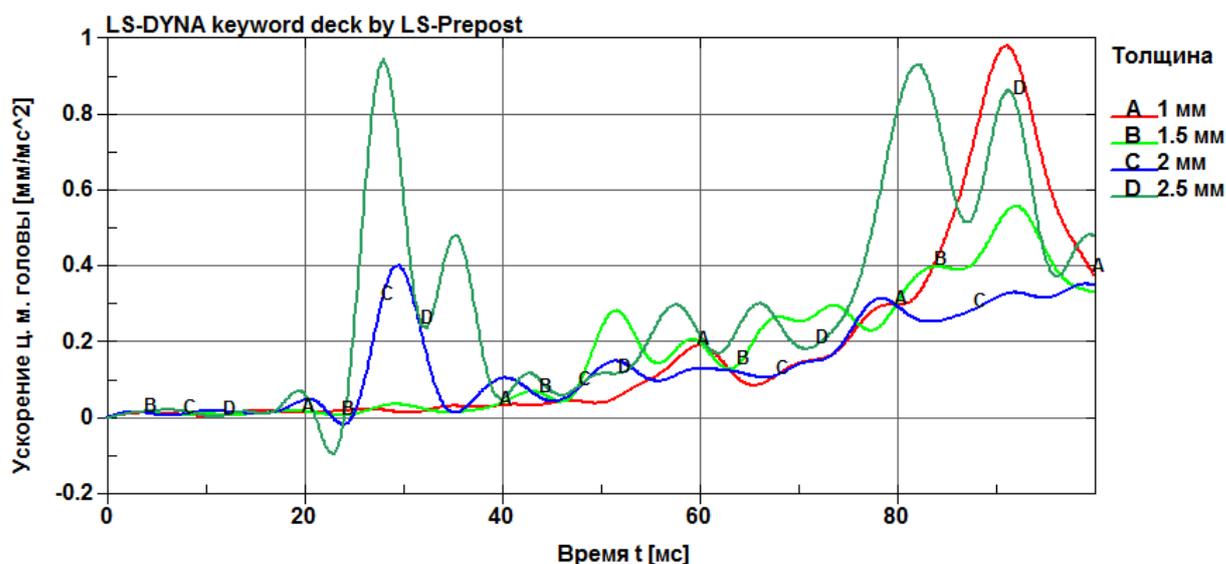


Рис. 8. Графики ускорений центра масс головы манекена

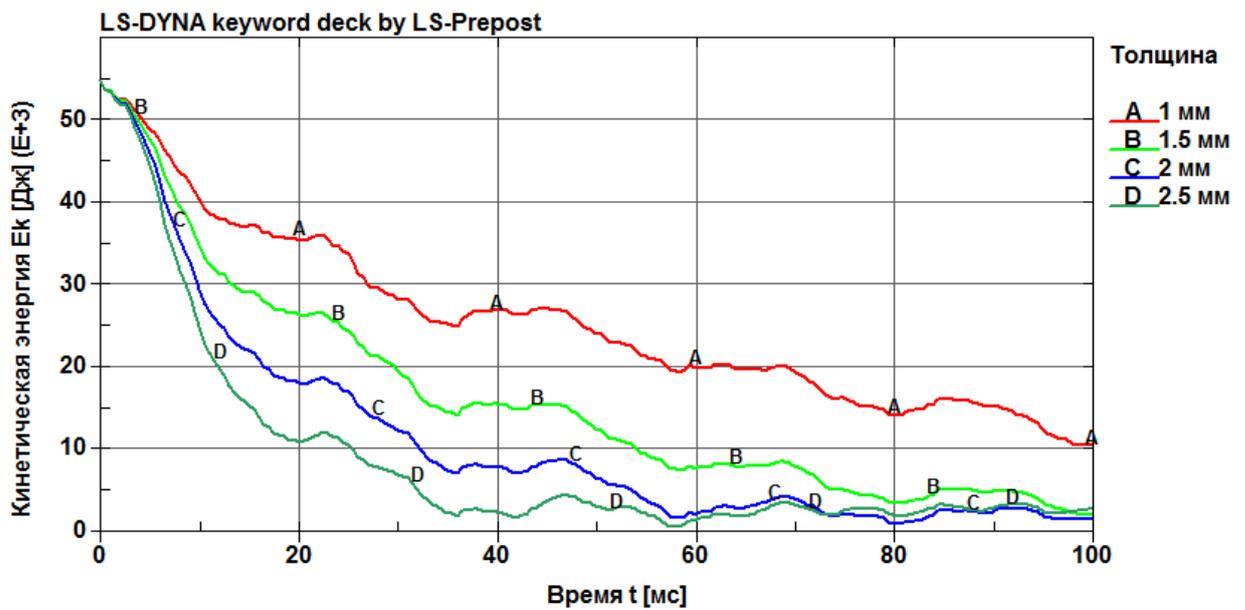


Рис. 9. Графики изменений кинетической энергии по времени

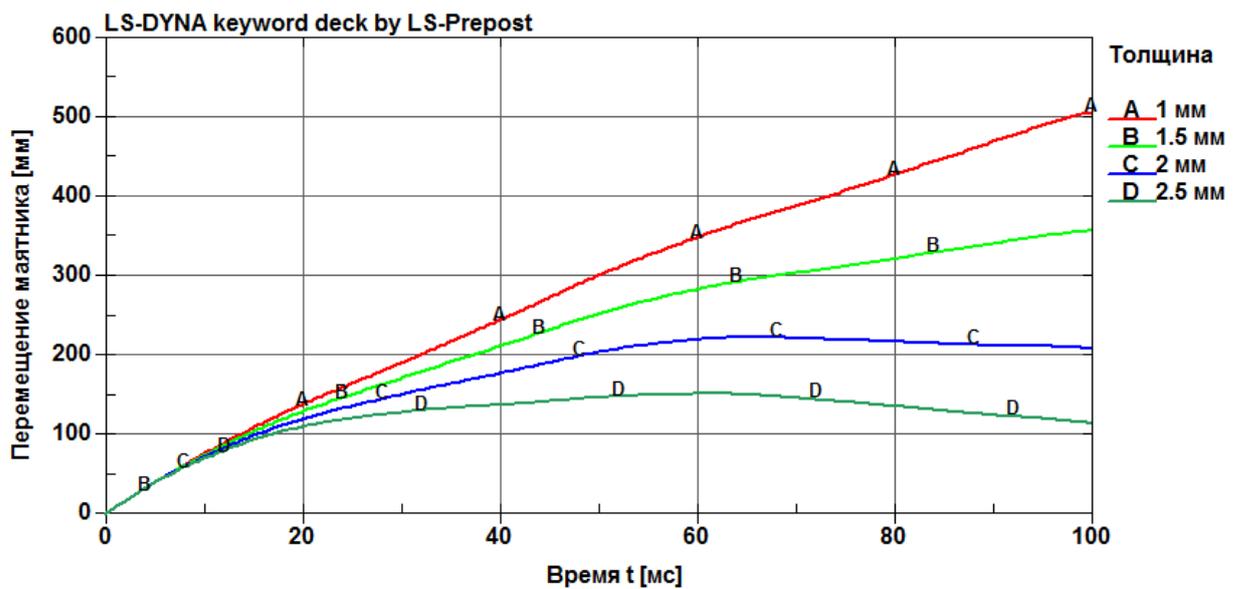


Рис. 10. Графики изменений перемещений маятника по времени

Из графиков видно, что влияние толщины на основные параметры существенно. В результате всестороннего анализа поведения кабины при ударе маятником спереди были предложены изменения в конструкцию кабины с целью улучшения ее параметров пассивной безопасности, которые показаны на рис. 11.

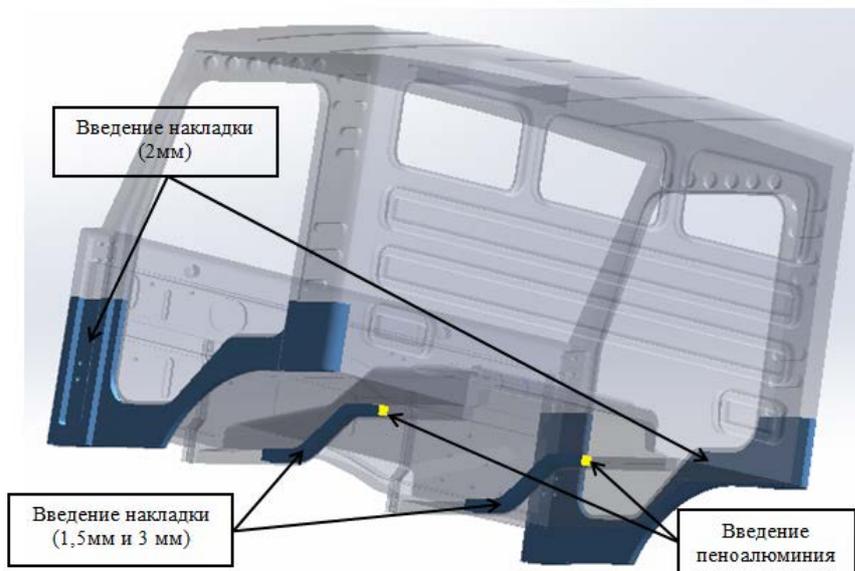


Рис. 11. Предлагаемые изменения конструкции кабины

Для сравнительного анализа в расчетах использовались накладки разной толщины: 1,5 мм и 3 мм. Результаты расчёта для КЭМ исходной кабины («база») и КЭМ с двумя вариантами накладок (по толщине) представлены на рис. 12-14..

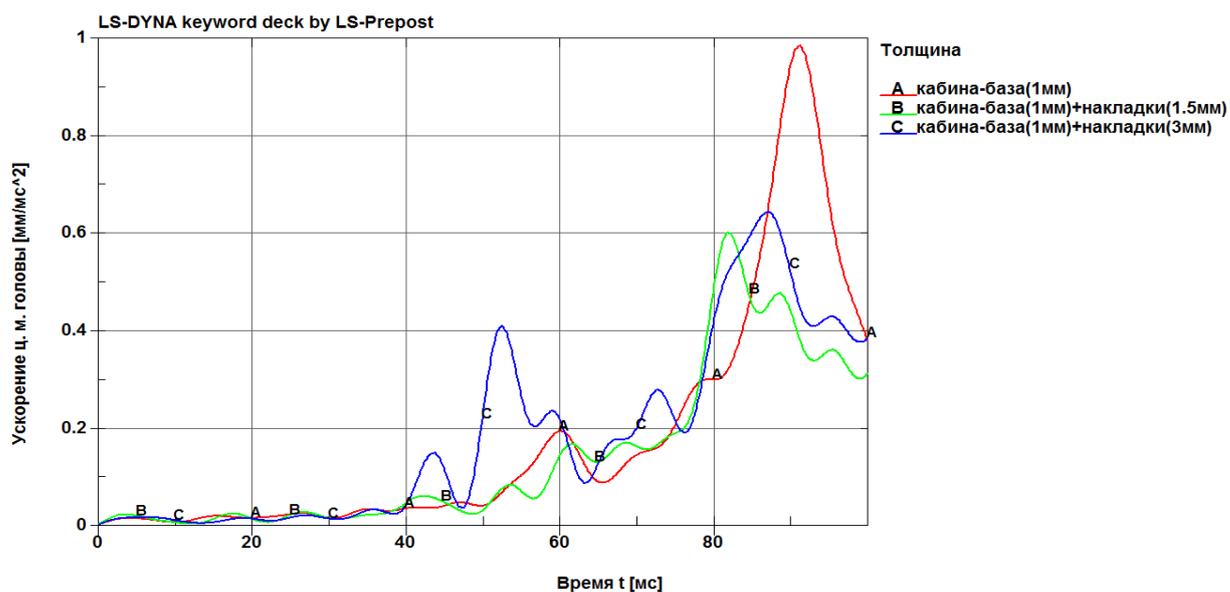


Рис. 12. Графики ускорений центра масс головы манекена

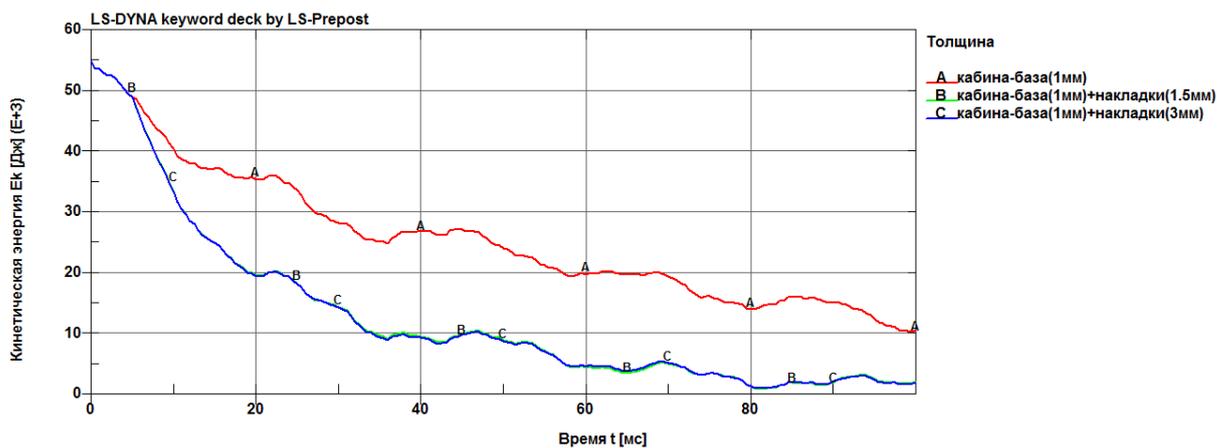


Рис. 13. Графики изменений кинетической энергии по времени

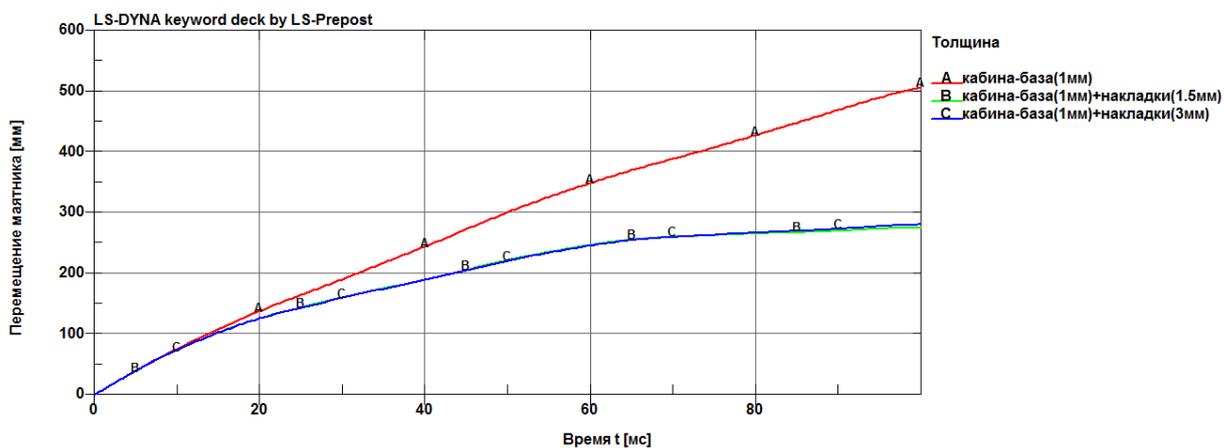


Рис. 14. Графики изменений перемещений маятника по времени

Помимо накладок в работе моделировалась конструкция с пеноалюминием внутри лонжеронов на базе имеющегося опыта [12-14], и проводилась сравнительная оценка поведения предложенных вариантов изменений кабины при ударе. Результаты расчёта представлены на рис. 15-17. На графиках показаны: вариант А (толщина кабины – базовая (1мм)+накладки 1,5мм) и вариант В (вариант А + пеноалюминий в лонжеронах).

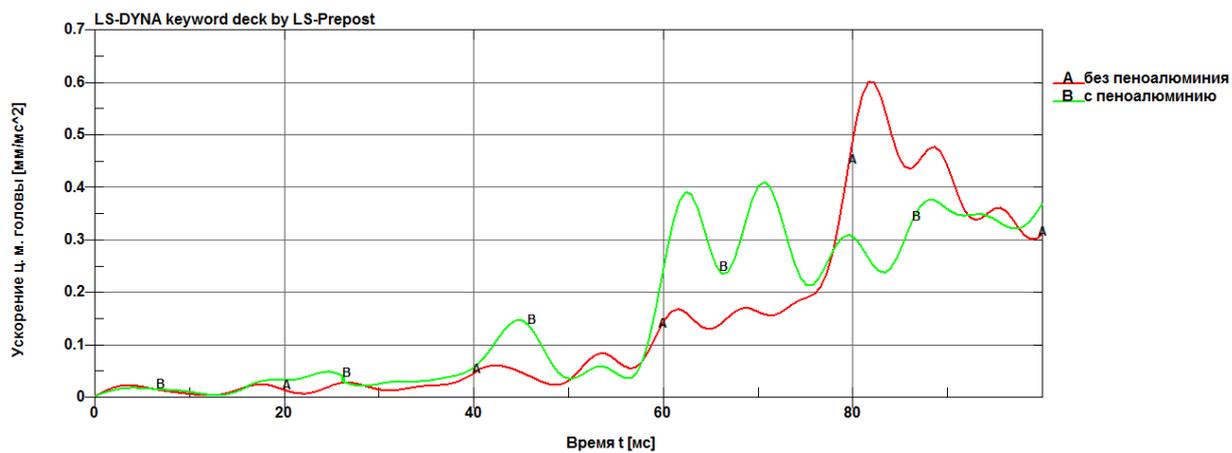


Рис. 15. Графики ускорений центра масс головы манекена

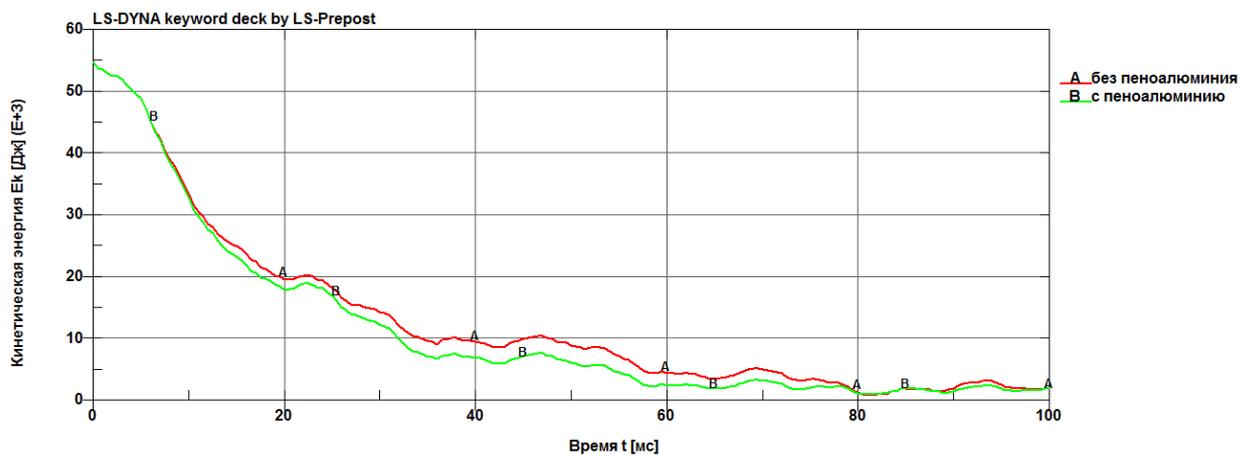


Рис. 16. Графики изменений кинетической энергии по времени

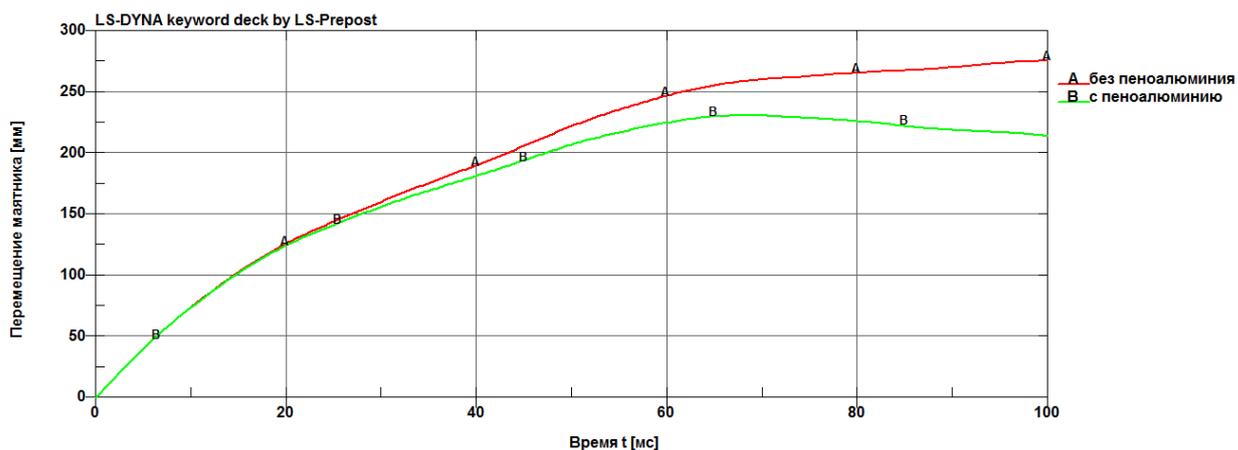


Рис. 17. Графики изменений перемещений маятника по времени

На предварительных этапах исследований было выявлено, что конструктивные параметры двери заметно влияют на характер и величину деформаций кабины при ударе.

Далее для более полного анализа влияние дверей кабины были проведены расчеты КЭМ кабины с дверями и без них, результаты которых представлены на рис. 18-20.

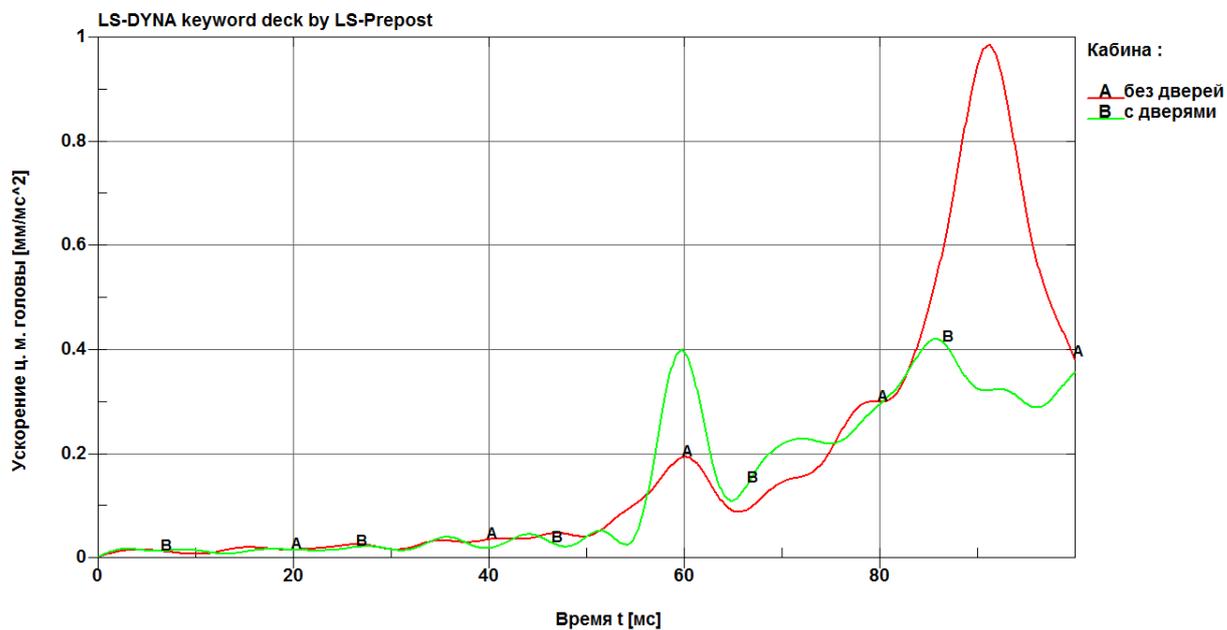


Рис. 18. Графики ускорений центра масс головы манекена

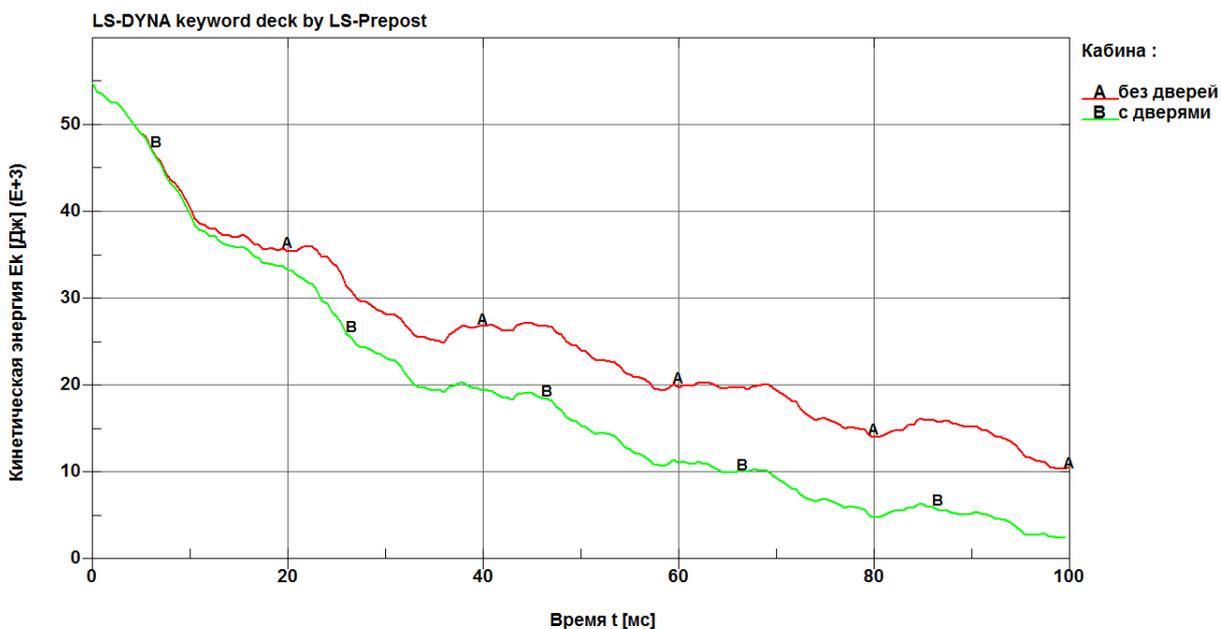


Рис. 19. Графики изменений кинетической энергии по времени

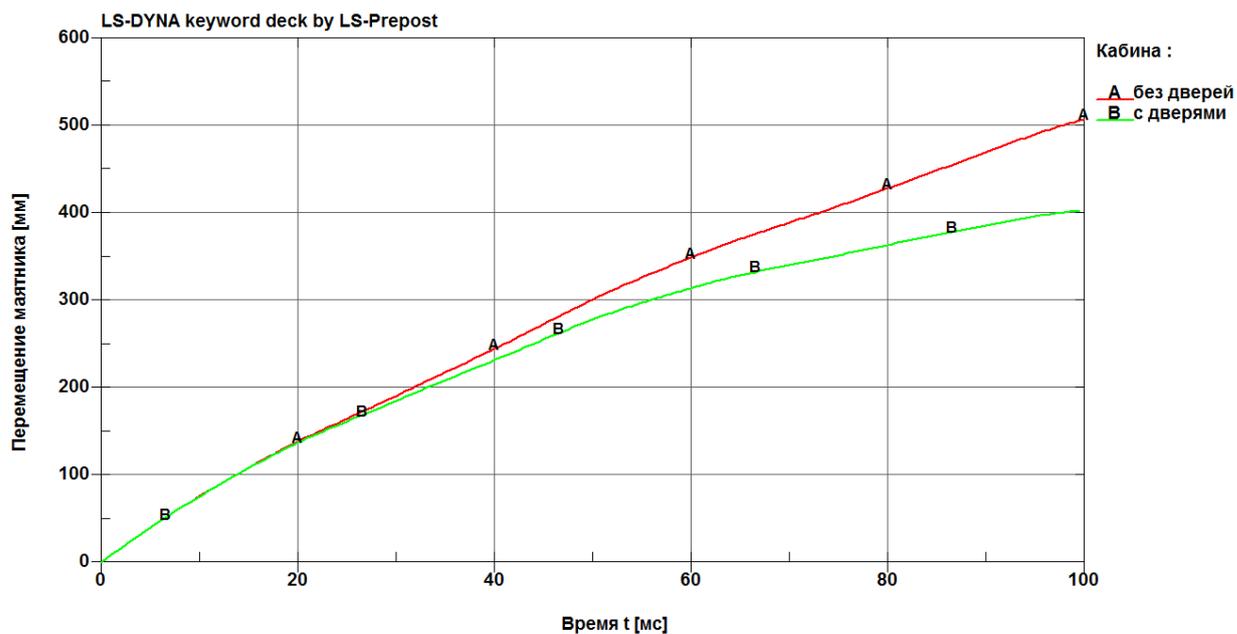


Рис. 20. Графики изменений перемещений маятника по времени

Далее были проведены расчеты для кабины с дверями в виде исходного варианта и с предложенными изменениями конструкции (толщина кабины – базовая (1 мм)+накладки 3 мм) (рис. 11), результаты которых представлены на рис. 21-23.

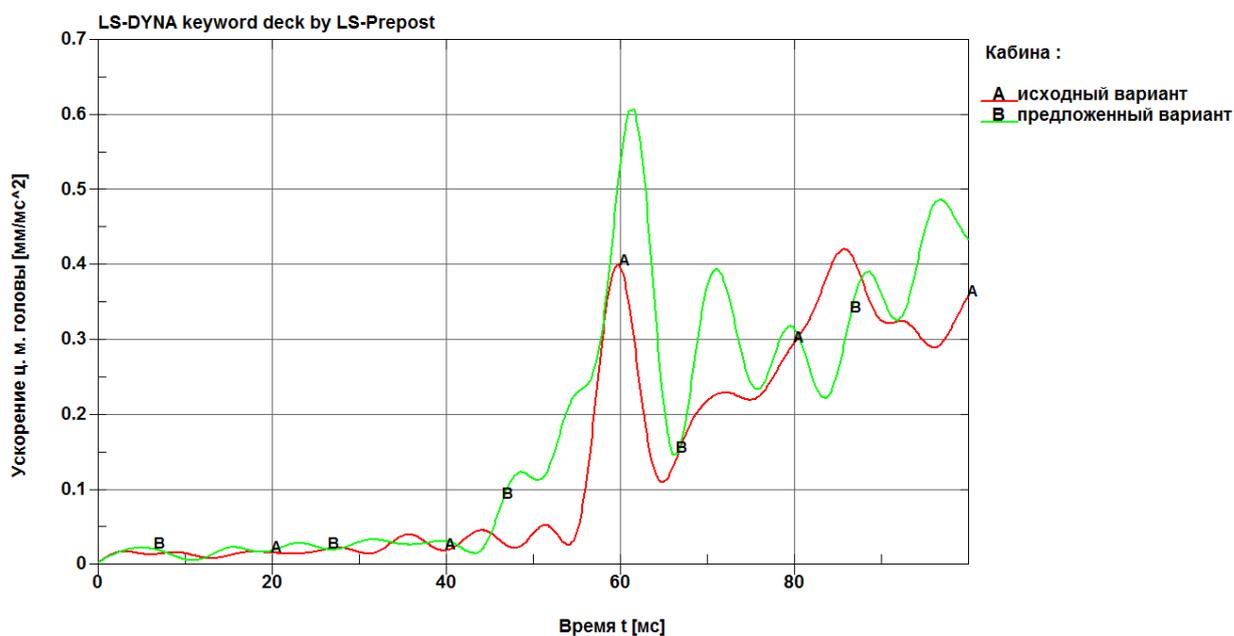


Рис. 21. Графики ускорений центра масс головы манекена

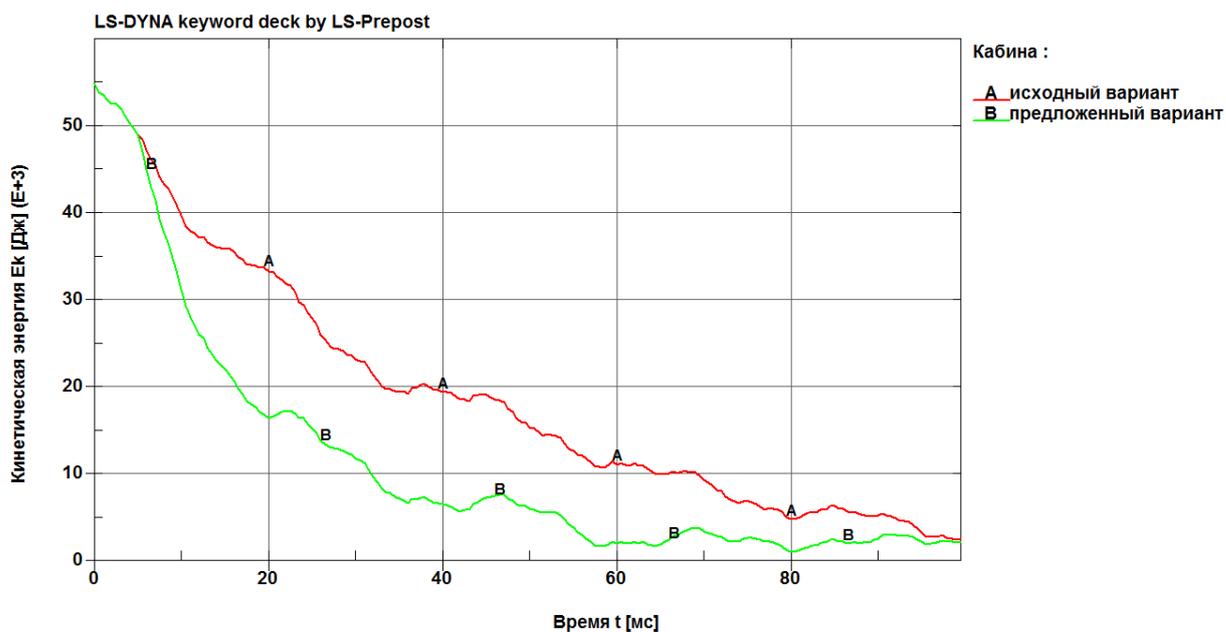


Рис. 22. Графики изменений кинетической энергии по времени

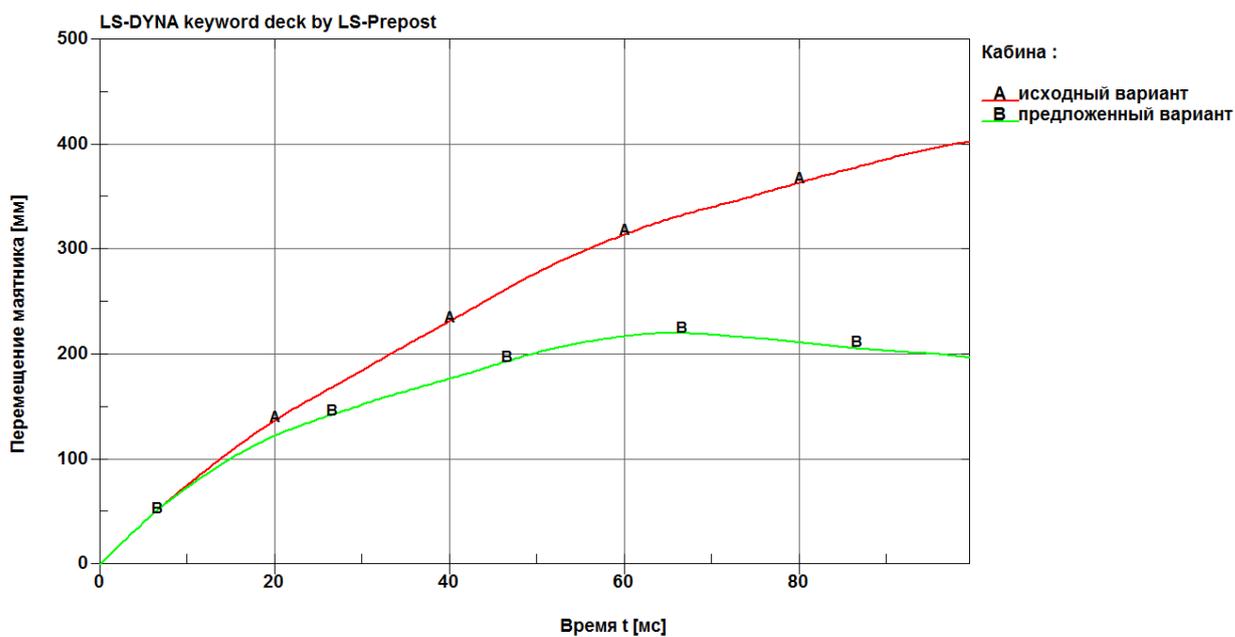


Рис. 23. Графики изменений перемещений маятника по времени

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

1. Увеличение толщины основных деталей кабины КАМАЗ-5320 привело к повышению параметров, влияющих на пассивную безопасность грузового автомобиля (при увеличении толщины до 2 мм - до 60%).

2. Целенаправленное введение локальных накладок (утолщений 3 мм) для кабины КАМАЗ-5320 привело к повышению параметров, влияющих на пассивную безопасность грузового автомобиля (до 40%).
3. Введение пеноалюминия внутрь лонжеронов повышает параметры пассивной безопасности грузового автомобиля (до 20%).
4. Двери кабины грузового автомобиля способствуют повышению параметров пассивной безопасности (до 20% в целом, каждая дверь - на 10%).
5. При исследованиях пассивной безопасности кабины грузового автомобиля на стадии проектирования наряду с оценкой остаточного пространства (по правилам ЕЭК ООН № 29) для выбора наилучшего варианта рекомендуется оценивать ускорение центра масс головы манекена.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и «Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана».

Список литературы

1. Правила ЕЭК ООН № 29 (документ E/ECE/324/Rev.1/Add.28/Rev.2 – E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.28/Rev.2). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты лиц, находящихся в кабине грузового транспортного средства. ООН, 2012. 26 р.
2. ГОСТ Р 41.25-2001 (Правила ЕЭК ООН №25). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения подголовников вмонтированных или не вмонтированных в сиденья транспортных средств. М.: Издательство стандартов, 2002. 28 с.
3. Nilakantan A. T. Computational Assessment of Occupant Injury Caused by Mine Blasts underneath Infantry Vehicles // International Journal of Vehicle Structures & System. 2009. Vol. 2. P. 145-149.
4. Nilakantan G. Design and Development of an Energy Absorbing Seat and Ballistic Fabric Material Model to Reduce Crew Injury Caused by Acceleration From Mine/IED Blast. University of Cincinnati, 2006. 12 p.
5. Шабан Б.А., Зузов В.Н. Особенности моделирования каркасных элементов кузовов и кабин автомобилей при исследовании пассивной безопасности // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 11. DOI: [10.7463/1112.0486675](https://doi.org/10.7463/1112.0486675)
6. Шабан Б.А., Зузов В.Н. Особенности построения конечно - элементных моделей кабин для исследования пассивной безопасности при ударе в соответствии с правилами ЕЭК ООН №29 // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 3. DOI: [10.7463/0313.0542301](https://doi.org/10.7463/0313.0542301)

7. Junyuan Zhang, Guang Chen and Hongbin Tang. Parametric design and structural improvements to optimize frontal crashworthiness of a truck // International Journal of Crashworthiness. October 2011. Vol. 16, no. 5. P. 501-509.
8. Зузов В.Н., Маркин И.В. Проблемы исследования пассивной безопасности кабин на стадии проектирования // XXX межд. науч. техн. конф. «Безопасность конструкции автотранспортных средств»: сб. докл. Дмитров, 2000.
9. Маркин И.В. Разработка методики оценки пассивной безопасности грузовых автомобилей и тракторов в отношении ударно-прочностных свойств их кабин на стадии проектирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2001. 16 с.
10. Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В., Соловьев Д.В., Власов В.А. Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля: монография / под общ. ред. С.М. Кудрявцева. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2010. 236 с.
11. Черников С.К., Ахмадышин А.Н. Численные исследования процессов деформирования конструкций грузовых автомобилей в течение дорожно-транспортных происшествий // Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского. 2010. Ежегодник. Казань: Физтех Пресс, 2011. С. 168-172.
12. Зузов И.В., Зузов В.Н. Моделирование продольного смятия передних лонжеронов кузова легкового автомобиля с учетом наполнителей и инициаторов деформаций // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 2. С. 42-45.
13. Ahmad Z. Impact and Energy Absorption of Empty and Foam-filled Conical Tubes. The School of Urban Development Queensland University of Technology, 2009. 12 p.
14. Зузов И.В., Зузов В.Н. Совершенствование конструкции корпуса кузова легкового автомобиля на стадии проектирования для обеспечения требований пассивной безопасности при кософронтальном ударе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2013. № 1. С. 57-68.

Analysis of influence of structural factors on passive safety of a truck cab at a frontal impact

08, August 2013

DOI: 10.7463/0813.0580257

Shaban B.A., Zuzov V.N.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

shabanbassem1976@yahoo.comzuzvalery@rambler.ru

The purpose of this article is to analyze the influence of structural factors of truck cabs on parameters affecting passive safety (doors, lining boards, use of aluminum foam, etc.). According to the calculation results, the maximum movement of the primary elements of the design was estimated along with the residual living space; the authors also analyzed behavior of door frames, window frames, pillars, side members, the remaining elements of the cabin. The design experiences contact, buckling, wrinkling, bending, appearance of plastic hinges. In order to improve the design, the most flexible areas and areas with plastic hinges were determined. For indirect assessment of the cabin stiffness it was proposed to use, beside the recommended volume of the living space in a cab, acceleration of the mannequin's center of mass the maximum value of which in a certain moment of time is also specified. Design modifications for the truck cab were developed on the basis of a comprehensive analysis of the influence of structural factors on passive safety on the frontal impact; these modifications improved safety of the truck.

Publications with keywords: [FEM](#), [bending](#), [LS-DYNA](#), [finite element model](#), [passive safety](#), [plastic deformation](#), [cabin truck](#), [parametric design](#), [plastic hinges](#)

Publications with words: [FEM](#), [bending](#), [LS-DYNA](#), [finite element model](#), [passive safety](#), [plastic deformation](#), [cabin truck](#), [parametric design](#), [plastic hinges](#)

References

1. *Pravila EJeK OON No. 29 (dokument E/ECE/324/Rev.1/Add.28/Rev.2 – E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.28/Rev.2). Edinoobraznye predpisaniya, kasajushhiesja oficial'nogo utverzhdenija transportnyh sredstv v otnoshenii zashhity lic, nahodjashhihsja v kabine gruzovogo transportnogo sredstva* [UNECE Regulation No. 29 (document E/ECE/324/Rev.1/Add.28/Rev.2 – E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.28/Rev.2). Uniform

provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants of the cab of a commercial vehicle]. United Nations, 2012. 26 p.

2. GOST R 41.25-2001 (Pravila EEK OON No. 25). *Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya ofitsial'nogo utverzhdeniya podgolovnikov vmontirovannykh ili ne vmontirovannykh v siden'ya transportnykh sredstv* [State Standard of RF 41.25-2001 (UNECE regulation No. 25). Uniform provisions concerning the type approval of head restraints (headrests), whether or not incorporated in vehicles]. Moscow, Standards Publishing House, 2002. 28 p.
3. Nilakantan A. T. Computational Assessment of Occupant Injury Caused by Mine Blasts underneath Infantry Vehicles. *International Journal of Vehicle Structures & System*, 2009, vol. 2, pp. 145-149.
4. Nilakantan G. *Design and Development of an Energy Absorbing Seat and Ballistic Fabric Material Model to Reduce Crew Injury Caused by Acceleration From Mine/IED Blast*. University of Cincinnati, 2006. 12 p.
5. Shaban B.A., Zuzov V.N. Osobennosti modelirovaniya karkasnykh jelementov kuzovov i kabin avtomobilej pri issledovanii passivnoj bezopasnosti [Features of wireframe modeling bodies and cabs of cars while investigating passive safety]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2012, no. 11. DOI: [10.7463/1112.0486675](https://doi.org/10.7463/1112.0486675)
6. Shaban B.A., Zuzov V.N. Osobennosti postroeniya konechno - elementnykh modeley kabin dlya issledovaniya passivnoj bezopasnosti pri udare v sootvetstvii s pravilami EEK OON №29 [Features of building finite element models of cabins for passive safety studies under the impact according to UNECE Regulations № 29]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2013, no. 3. DOI: [10.7463/0313.0542301](https://doi.org/10.7463/0313.0542301)
7. Junyuan Zhang, Guang Chen and Hongbin Tang. Parametric design and structural improvements to optimize frontal crashworthiness of a truck. *International Journal of Crashworthiness*, October 2011, vol. 16, no. 5, pp. 501-509.
8. Zuzov V.N., Markin I.V. Problemy issledovaniya passivnoj bezopasnosti kabin na stadii proektirovaniya [Problems of investigation of passive safety of cabs at the design phase]. *30 mezhd. nauch. tekhn. konf. "Bezopasnost' konstruktssii avtotransportnykh sredstv": sb. dokl.* [The 30th international scientific technical conference "Safety of construction of vehicles" : proc.]. Dmitrov, 2000.
9. Markin I.V. *Razrabotka metodiki ocenki passivnoj bezopasnosti gruzovykh avtomobilej i traktorov v otnoshenii udarno-prochnostnykh svojstv ih kabin na stadii proektirovaniya. Avtoreferat kand. diss.* [Development of methodology for assessment of passive safety of trucks and tractors with regard to the impact-strength properties of their cabs at the design phase. Abstract of cand. diss.]. Moscow, 2001. 16 p.
10. Kudryavtsev S.M., Pachurin G.V., Solov'ev D.V., Vlasov V.A. *Osnovy proektirovaniya, proizvodstva i materialy kuzova sovremennogo avtomobilya* [Basics of designing, production and materials of the body of a modern car]. N. Novgorod, NSTU Publ., 2010. 236 p.
11. Chernikov S.K., Ahmadyshin A.N. Chislennye issledovaniya processov deformirovaniya konstrukcij gruzovykh avtomobilej v techenie dorozhno-transportnykh proisshestvij [Numerical

investigations of processes of deformation of constructions of trucks during road accidents]. *Kazanskij fiziko-tehnicheskij institut imeni E. K. Zavojskogo. 2010. Ezhegodnik* [Kazan Zavoisky Physical-Technical Institute. 2010. Yearbook.]. Kazan, Fizteh Press, 2011, pp. 169-172.

12. Zuzov I.V., Zuzov V.N. Modelirovanie prodol'nogo smiatia perednikh lonzheronov kuzova legkovogo avtomobilia s uchetom napolnitelei i initsiatorov deformatsii [Modeling of the longitudinal wrinkles of front spar of the body of a passenger car taking into account the filler and the initiators of the the deformation]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Bulletin of the Universities. Mechanical Engineering], 2012, no. 2, pp. 42-45.

13. Ahmad Z. *Impact and Energy Absorption of Empty and Foam-filled Conical Tubes*. The School of Urban Development Queensland University of Technology, 2009. 12 p.

14. Zuzov I.V., Zuzov V.N. Sovershenstvovanie konstruktsii korpusa kuzova legkovogo avtomobilya na stadii proektirovaniya dlya obespecheniya trebovaniy passivnoy bezopasnosti pri kosofrontal'nom udare [Improvement of construction of motor car body at the designing stage to satisfy passive safety requirements at offset frontal impact]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Bulletin of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 2013, no. 1, pp. 57-68.