

УДК 629.4.047.8

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-9-49-54

О.И. Бондаренко

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПРИ АВАРИЙНОМ ОПРОКИДЫВАНИИ НА НАСЫПЬ

Предложена методика прогнозирования травмирования пассажиров железнодорожного транспорта при условии аварийного опрокидывания вагона на насыпь железнодорожного полотна. Разработаны компьютерные модели аварийного опрокидывания вагона на насыпь для двух сценариев: опрокидывание вагона на насыпь железнодорожного полотна, расположенной под уклоном и опрокидывание вагона на плоскую поверхность. Разработанная модель пассажирского вагона до-

полнена элементами интерьера салона купейного вагона, моделями антропометрических манекенов, расположенных на местах пассажиров и моделями ручной клади, расположенной на багажных полках. Результатом моделирования аварийной ситуации являются полученные значения возможного травмирования пассажиров при аварийном опрокидывании пассажирского вагона.

Ключевые слова: авария, вагон, безопасность, пассажиры, антропометрический манекен.

O. I. Bondarenko

ASSESSMENT OF THE SAFETY OF PASSENGER CARS IN CASE OF AN EMERGENCY ROLLOVER ON THE RAILROAD TRACKS

The purpose of the work is to assess the safety of passenger cars in case of an emergency rollover on the body of railroad tracks. The paper introduces a method for predicting injury of railway transport passengers as a result of swinging over the wagon on the body of railroad tracks. The method of research is mathematical modeling of scenarios of swinging over the wagon on a flat bottom or earth tramp of the railway track. A model of a passenger compartment has been developed, which is supplemented with models of a roomette, hand luggage and an anthropometric dummy. The originality of the work is the use of mannequin models for an accident with the rollover of a compartment car on the body of the railroad tracks and obtaining data on the interaction of fit models and a compartment car. The result of the study is the reported values of possible injury to passengers during an emergency rollover of a passenger car. Namely, the values of the head injury criterion, cervical vertebrae, breast

and hips of the crash test dummy have been obtained. In comparison of the two considered scenarios of swinging over the wagon, the value of the head injury criterion for overturning the car on an inclined surface is 15% higher, the neck injury criterion is 30% higher, and the hip and chest injury criterion is 23% higher for mannequins on the upper shelves of the compartment due to their interaction with hand luggage. The obtained values do not exceed critical ones. The most dangerous positions of the mannequin model in the compartment of the car are revealed. Conclusions concerning the sufficient safety of the passenger car are formed and recommendations for the development of additional technical solutions to improve the safety of passenger cars are given.

Key words: railway accident, car (wagon), safety, passengers, anthropometric dummy.

Введение

Мировой опыт обеспечения безопасности пассажирского подвижного состава показывает, что весь комплекс мер, направленный на исключение крушения поездов не позволяет полностью избежать аварийных ситуаций. Проведя анализ последствий аварий, произошедших с участием железнодорожного подвижного состава, за последние годы показал, что аварии с опрокидыванием вагонов на насыпь влекут за собой наиболее тяжелые последствия для пассажиров. Таким образом, важной задачей является повышение без-

опасности пассажирского железнодорожного транспорта при подобного рода авариях.

Статистика последствий аварий с опрокидыванием пассажирских вагонов показывает, что травмы, полученные пассажирами при крушениях, являются следствием взаимодействия пассажиров с внутренним оборудованием вагона, ручной кладью и пассажирами, находящимися рядом при аварии [1-2].

Методом исследования безопасности железнодорожного транспорта повсемест-

но применяется математическое моделирование, с применением объектно-ориентированных виртуальных моделей, позволяющее сократить затраты на проведение испытаний [3-5].

Объектом исследования принят отечественный пассажирский купейный вагон отечественного производства.

Для выполнения исследования безопасности пассажирских вагонов рассмотрены два сценария аварийного опрокидывания:

– опрокидывание отдельно стоящего пассажирского вагона на насыпь железнодорожного полотна, размеры которой соответствуют [6] (крутизна откоса 1:1,5, высота насыпи 6 м), на прямом участке пути.

– опрокидывание отдельно стоящего пассажирского вагона на плоскую поверхность, описывающей участок пути в пределах двухколейного и более движения

поездов.

Для оценки безопасности пассажиров разработана модель кузова вагона, которая описана абсолютно твердыми телами с реальными геометрическими размерами и весовыми характеристиками. В модель вагона включены детализированные модели купе, которые также описаны твердыми телами программного комплекса. В модель купе вагона включены модели ручной клади пассажиров. Вес и геометрические характеристики ручной клади принимались в соответствии с максимальными допустимыми величинами [7].

Для оценки динамической нагруженности пассажиров модель пассажирского вагона дополнена моделями антропометрического манекена, представленного совокупностью абсолютно твердых тел, которому задавалось соответствующее положение пассажира в купе вагона (рис. 1).

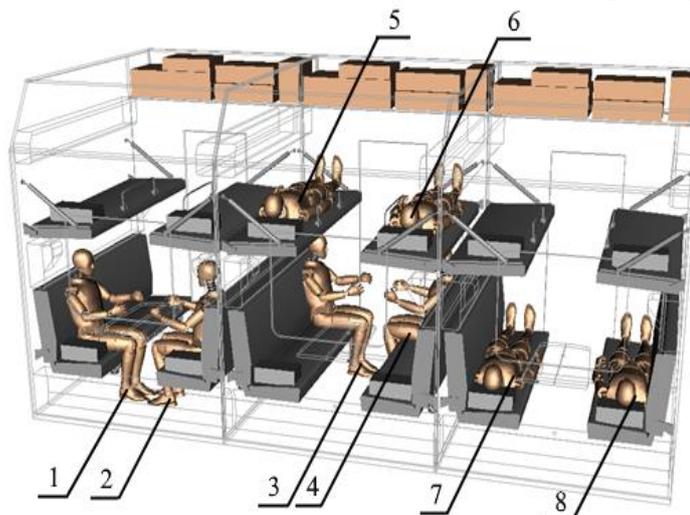


Рис.1. Расположение антропометрического манекена в купе пассажирского вагона

В работе применялась разработанная ранее компьютерная модель антропометрического манекена *Hybrid III 50th Percentile Male* [8-10]. Модель описана совокупностью элементов с весовыми и геометрическими характеристиками близкими к натурному манекену. Элементы модели манекена связаны шарнирными соединениями, с соответствующими упруго-диссипативными характеристиками [11]. Шарнирные соединения повторяют суста-

вы тела человека. Чтобы описать механику движения элементов манекена подобной реальным движениям человека, в модели антропометрического манекена заданы ограничения поворота элементам в соответствии с реальными возможностями суставов человеческого тела. При помощи набора специальных контактных элементов, которые позволяют ограничивать проникновение элементов модели манекена, учитывается возможность контактного

взаимодействия частей модели манекена. Посредством введения соответствующих контактных элементов описана взаимосвязь моделей антропометрических манекенов с элементами интерьера вагона и ручной кладью.

По результатам моделирования выполнен анализ травмирования пассажиров вагонов при помощи универсальных критериев травмирования [12], применяемые для анализа безопасности пассажиров: критерий черепно-мозговой травмы *НИС*, критерий травмирования шейного отдела позвоночника *Nij*, критерий травмирования грудной клетки *СТI*, критерий травмирования бедренной части *FFC*. Для этого определены осевые усилия растяжения-сжатия, изгибающие моменты, ускорения действующие на элементы модели антропометрического манекена. По полученным данным рассчитаны величины критериев травмирования. Результаты полученных значений показаны в виде гистограмм на рис. 2.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

– при моделировании опрокидывания кузова вагона на наклонную поверхность получены высокие значения критерия травмирования шеи для манекенов, располагающихся на местах 5, 6, 7 и 8 (манекены в лежачем положении) за счет высокого значения момента кручения в элементах шейного отдела. Это свидетельствует о возможных тяжелых травмах шеи для пассажиров;

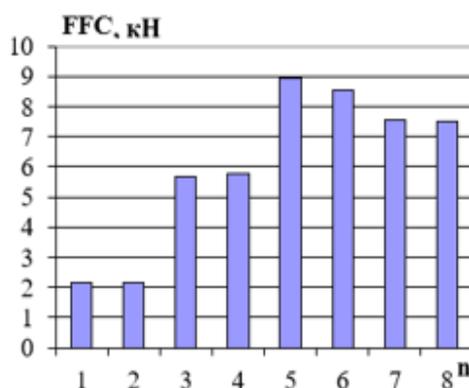
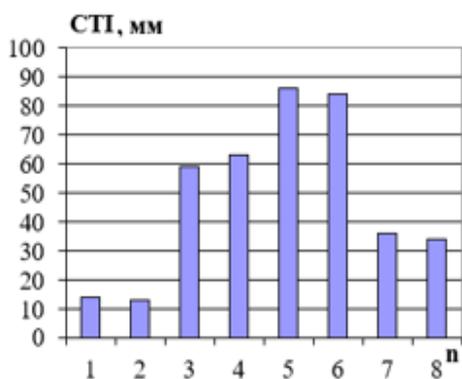
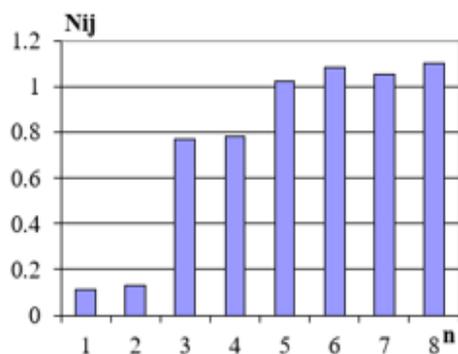
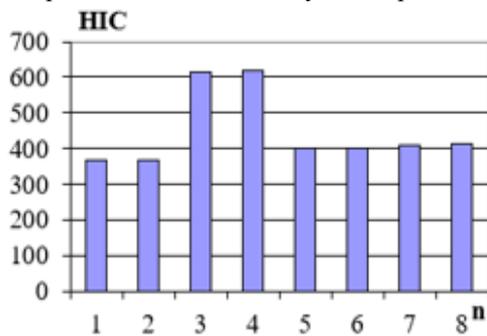
– травмы, получаемые пассажирами, можно классифицировать как легкие и средние по степени тяжести. Так значения критерия травмирования головы лежат в пределах срединного значения допустимой величины, что говорит о возможном получении пассажирами таких травм как легкие ушибы и сотрясение мозга без потери сознания в условиях реального опрокидывания. Критерий травмирования грудной клетки показал высокие значения для манекенов под номерами 5 и 6, распо-

ложенных на верхних полках купе вагона. Такие значения обусловлены падением элементов, описывающих тяжелую ручную кладь со штатных мест на манекены. Также для указанных манекенов получены высокие значения критериев травмирования бедренной части;

– сравнение двух сценариев опрокидывания пассажирского вагона показало незначительное расхождение значений критерия травмирования грудной клетки для всех рассматриваемых положений манекена. Максимальное увеличение значения критерия *СТI* наблюдается для положения манекена 8 и составляет 19 % от величины, полученной при опрокидывании на плоскую поверхность. Значения критерия травмирования головы также показали незначительное расхождение результатов. Так величина критерия *НИС* при опрокидывании вагона на наклонную поверхность увеличилась не более чем на 15 % от величины, полученной при опрокидывании вагона на плоскую поверхность. Величина критерия травмирования шеи для манекенов 1, 2, 3 и 4 при опрокидывании вагона на наклонную поверхность значительно увеличивается поскольку при таком сценарии указанные манекены взаимодействуют не только с боковой стеной купе, но и с верхней полкой в момент, когда вагон полностью опрокидывается на наклонную поверхность насыпи. В таком случае величина критерия травмирования шеи увеличивается на 30 %. Для критерия травмирования бедра *FFC* максимальное увеличение значения составило 23 %, которое наблюдается в положении манекена 3 и 4 за счет дополнительного контактирования манекена со столом купе при опрокидывании вагона на наклонную поверхность;

– для рассматриваемых сценариев опрокидывания не выявлено превышающих допустимые значения критериев травмирования, что в свою очередь говорит об отсутствии летального исхода для пассажиров в условиях реального опрокидывания.

При опрокидывании на плоскую поверхность



При опрокидывании на наклонную поверхность

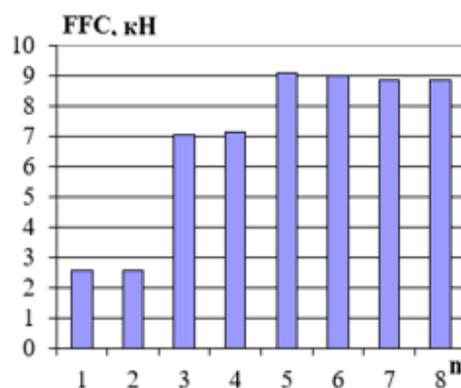
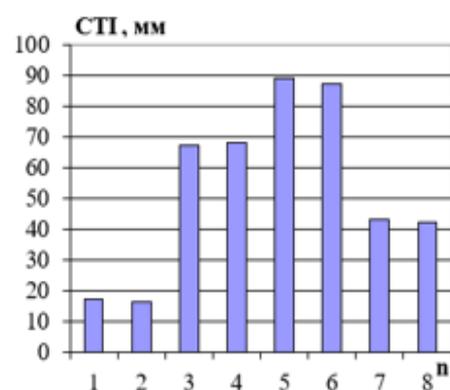
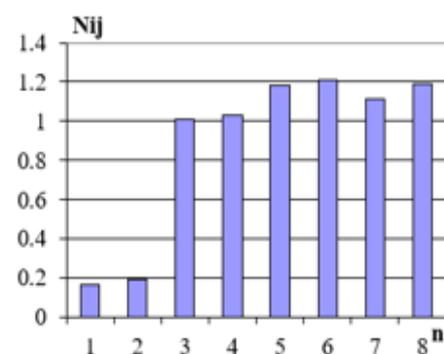
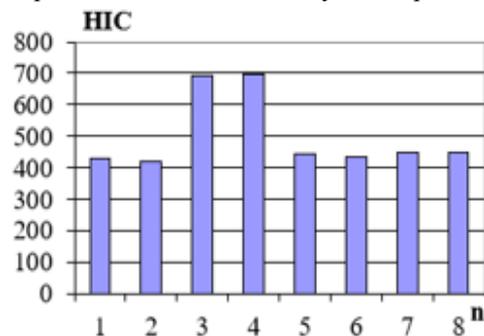


Рис. 2. Результаты моделирования опрокидывания пассажирского вагона

Выводы

1. Общая безопасность пассажирского купейного вагона достаточна.

2. Выявлена необходимость в разработке дополнительных конструктивных

решений, направленных на повышение безопасности пассажирского купе вагона и снижению травмирования пассажиров подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Tyrell, D.** Crashworthiness of Passenger Trains. Safety of High-Speed Ground Transportation Systems / D. Tyrell, K. Severson, B. Marquis // U.S. Department of Transportation Office of Systems Engineering. Research and Special Programs Administration. Publ. John A. Volpe, February. – 1998. – № DOT-VNTSC-FRA-97-4; FRA / ORD-97/10. – TRIS 750188. – Дата публикации: 01.02.1998.
2. **Fildes, B. N.** Passenger cars and Occupant injury: side impact crashes / B. N. Fildes, J. C. Lane, J. Lenard, A. P. Vulcan // Monash University Accident Research Centre. – Commonwealth of Australia, 1994. – 75 p.
3. **Baykasoglu, C.** Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdog, F. Aruk, T. Toprak, A. Mugan // International Iron & Steel Symposium / Karabuk, Turkiye, 02-04 April 2012. – P. 579 – 586.
4. **Linstromberg, M.** Test and simulation tools in a rollover protection development process / M. Linstromberg, G. Scholpp, Ol. Scherf // Siemens Restraint Systems GmbH. – Paper № 05-0122.
5. **Bois, P.-D.** Vehicle crashworthiness and occupant protection: safety book / P.-D. Bois, C. C. Chou, B. V. Fileta, T. B. Khalil, A. I. King, H. F. Mahmood, H. J. Mertz, J. Wisman // American Iron and Steel Institute. – 2000. – 388 p.
6. **СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь** : свод правил Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства транспорта Российской Федерации 06 июля 2015 г. N 209 : дата введения 2015-07-30 / разработан Открытым акционерным обществом "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта" (ОАО "ВНИИЖТ") и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования "Московский государственный университет путей сообщения" (МГУПС (МИИТ)). – Москва : Стандартинформ, 2015. – 71 с.
7. **СП 2.5.1198-03 Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте**: свод правил Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 3 марта 2003 года : дата введения 2003-06-03 / разработаны на основании Федерального закона от 30 марта 1999 года N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, N 14, ст.1650), Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 июля 2000 года N 554 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2000, N 31, ст.3295), Положения о порядке осуществления государственного санитарно-эпидемиологического надзора на объектах железнодорожного транспорта ЦУВС-782 от 14 сентября 2000 года, зарегистрированного Минюстом России 10 ноября 2000 года, регистрационный N 2447. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 52 с.
8. **Linder, A.** Evaluation of the BioRID P3 and the Hybrid III in pendulum impacts to the back: a comparison with human subject test data / A. Linder, U. Bergman, M. Svensson, D. Viano // Annu Proc Assoc Adv Automot Med. – 2000. - № 44. – Pp. 283–298.
9. **Kan, C.-D.** Development of a 50th percentile Hybrid III dummy model / C.-D. Kan, D. Marzougui, N.E. Bedewi // 4th European LS-DYNA Users Conference. – C-I. – P. 13-22.
10. **Oliva-Perez, O.** Evaluation of the FAA Hybrid III 50th percentile anthropometric test dummy under the FAR 23.562 and 25.562 emergency landing conditions for the combined horizontal-vertical dynamic loading / Oriol Oliva-Perez. – Текст : электронный // Polytechnic University of Catalonia. – 2010. – URL : <https://soar.wichita.edu/handle/10057/3319>.
11. **Xu, T.** Development and validation of dummies and human models used in crash test / T. Xu, X. Sheng, T. Zhang, H. Liu, X. Liang, A. Ding / Текст : электронный // Applied Bionics and Biomechanics. – 2018. – vol. 2018. - Article ID 3832850. – URL : <https://doi.org/10.1155/2018/3832850>.
12. **Jaśkiewicz, M.** Overview and analysis of dummies used for crash tests / M. Jaśkiewicz, R. Jurecki, K. Witaszek, D. Więckowski // Scientific Journals Maritime University of Szczecin. – 2013. – vol. 35(107). – Pp. 22–31.
1. **Tyrell, D.** Crashworthiness of Passenger Trains. Safety of High-Speed Ground Transportation Systems / D. Tyrell, K. Severson, B. Marquis // U.S. Department of Transportation Office of Systems Engineering. Research and Special Programs Administration. Publ. John A. Volpe, February. – 1998. – 112 p.
2. **Fildes, B. N.** Passenger cars and Occupant injury: side impact crashes. / B. N. Fildes, J. C. Lane, J. Lenard, A. P. Vulcan // Monash University Accident Research Centre. – 1994. – 120 p.
3. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdog, F. Aruk, T. Toprak, A. Mugan // International Iron & Steel Symposium. – Karabuk, Turkiye. – 2012. – P. 579 – 586.
4. **Linstromberg, M.** Test and simulation tools in a rollover protection development process / M. Linstromberg, G. Scholpp, Ol. Scherf // Siemens Restraint Systems GmbH. – Paper No. 05–0122.

5. **Vehicle crashworthiness and occupant protection:** safety book / P. D. Bois, C. C. Chou, B. B. Fileta, T. B. Khalil, A. I. King, H. F. Mahmood, H. J. Mertz, J. Wismans // American Iron and Steel Institute. – 2000. – 388 p.
6. **SP** (set of rules) 238.1326000.2015 Railway track: code of rules of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by order of the Ministry of Transport of the Russian Federation on July 06, 2015 N 209 : date of introduction 2015-07-30 / developed by Open Joint Stock Company "Research Institute of Railway Transport" (JSC "VNIIZHT") and the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State University of Railway Transport" (MGUPS (МИИТ)). - Moscow: Standartinform. – 2015. – 71 p.
7. **SP** (set of rules) 2.5.1198-03 Sanitary rules for the organization of passenger transportation by rail: code of rules of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on March 3, 2003 : date of introduction 2003-06-03 / developed on the basis of Federal Law No. 52-FZ of March 30, 1999 "On sanitary and Epidemiological welfare of the population" (Collection of Legislation of the Russian Federation, 1999, No. 14, Article 1650), Regulations on state sanitary and epidemiological rationing, approved by the decree of the Government of the Russian Federation of July 24, 2000 года N 554 (Collection of Legislation of the Russian Federation, 2000, N 31, Article 3295), Regulations on the procedure for implementing state (Collection of Legislation of the Russian Federation, 2000, N 31, Article 3295), Regulations on the procedure for implementing state sanitary and epidemiological supervision at railway transport facilities TSUVS-782 of September 14, 2000, registered by the Ministry of Justice of the Russian Federation on November 10, 2000, registration N 2447. - Moscow: Standartinform. - 2020. - 52 p.
8. **Linder, A.** Evaluation of the BioRID P3 and the Hybrid III in pendulum impacts to the back: a comparison with human subject test data / A. Linder, U. Bergman, M. Svensson, D. Viano // Traffic Injury Prevention. – vol. 3. – №2. – P. 159 – 166.
9. **Kan, C.-D.** Development of a 50th percentile Hybrid III dummy model / C.-D. Kan, D. Marzougui, N.E. Bedewi // 4th European LS-DYNA Users Conference. – P. 13-22.
10. **Perez, O.** Evaluation of the FAA Hybrid III 50th percentile anthropometric test dummy under the FAR 23.562 and 25.562 emergency landing conditions for the combined horizontal-vertical dynamic loading / O. Perez // Oriol Oliva-Perez. – Polytechnic University of Catalonia. – 2010. – 76 p.
11. **Xu, T.** Development and validation of dummies and human models used in crash test / T. Xu, X. Sheng, T. Zhang, H. Liu, X. Liang, A. Ding // Applied Bionics and Biomechanics. – 2018.
12. **Jaśkiewicz, M.** Overview and analysis of dummies used for crash tests / M. Jaśkiewicz, R. Jurecki, K. Witaszek, D. Więckowski // Scientific Journals Maritime University of Szczecin. – 2013. – vol. 35(107). – P. 22–31.

Ссылка для цитирования:

Бондаренко, О.И. Оценка безопасности пассажирских вагонов при аварийном опрокидывании на насыпь / О.И. Бондаренко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 9. – С. 49 - 54 . DOI: 10.30987/1999-8775-2021-9-49-54.

Статья поступила в редакцию 02.07.21.

Рецензент: д.т.н., зав. отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава»

Волохов Г.М.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 26.08.21.

Сведения об авторе:

Бондаренко Ольга Игоревна, инженер кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета,

Bondarenko Olga Igorevna, engineer of the Department "Rolling stock of Railways", Bryansk State Tech-

e-mail: oljapolushko54@gmail.com.

nical University, e-mail: oljapolushko54@gmail.com.