

Оценка безопасности локомотивной бригады электропоезда при продольном аварийном соударении с препятствием



Д. Я. Антипин,
канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой
«Подвижной состав
железных дорог» Брянского
государственного
технического
университета (БГТУ)



В. В. Кобищанов,
д-р техн. наук, профессор,
директор Учебно-научного
института транспорта
БГТУ



С. Г. Шорохов,
ассистент кафедры
«Подвижной состав
железных дорог» БГТУ

Внедрение в эксплуатацию современного высокоскоростного пригородного железнодорожного подвижного состава приводит к повышению рисков тяжелого травмирования и к гибели пассажиров и членов локомотивных бригад. Статистика происшествий на железных дорогах России свидетельствует о высокой вероятности аварийных столкновений поездов с препятствиями на переездах, в том числе нерегулируемых. В условиях скоростного движения это приводит к разрушению подвижного состава и травмированию людей, поэтому оценка безопасности локомотивной бригады электропоезда в подобных аварийных ситуациях чрезвычайно актуальна.

Анализ безопасности членов локомотивной бригады возможен на основе натуральных экспериментов с использованием специализированных манекенов [1, 2] или с помощью методов математического моделирования [3]. Основная часть исследований выполнена в Европе и США. В отечественной практике такие исследования не получили широкого распространения и проводятся методами математического моделирования в автомобилестроении, авиации, космонавтике, а также для обеспечения безопасности аттракционов [4].

В качестве объекта исследования рассматривается аварийное соударение электропоезда постоянного тока ЭД4М производства ОАО «Демиковский машиностроительный завод» с грузовым микроавтобусом Mercedes-Benz Sprinter на автомобильном переезде. Для моделирования аварийной ситуации в среде промышленного программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» [5] разработаны твердотельные компьютерные модели электропоезда и грузового микроавтобуса.

Твердотельная компьютерная модель электропоезда состоит из моделей двух головных вагонов, двух моторных и одного прицепного. В расчетной схеме кузова вагонов представляются абсолютно твердыми телами с реальными геометрическими и инерциальными характеристиками. Ходовые части вагонов электропоезда включаются в модель в виде подсистем, которые состоят из твердых тел, объединенных упруго-диссипативными контактными силовыми элементами и шарнирами. Компьютерная модель грузового микроавтобуса Mercedes-Benz Sprinter представлялась системой абсолютно твердых тел, связанных между собой силовыми элементами и шарнирами.

Упруго-пластические свойства кузова микроавтобуса при боковом ударе учитывались введением между моделями электропоезда и автомобиля специального упруго-диссипативного элемента. При моделировании детально описывается взаимодействие пневматических колес автомобиля с покрытием переезда и с рельсошпальной решеткой с использованием каскада силовых контактных элементов.

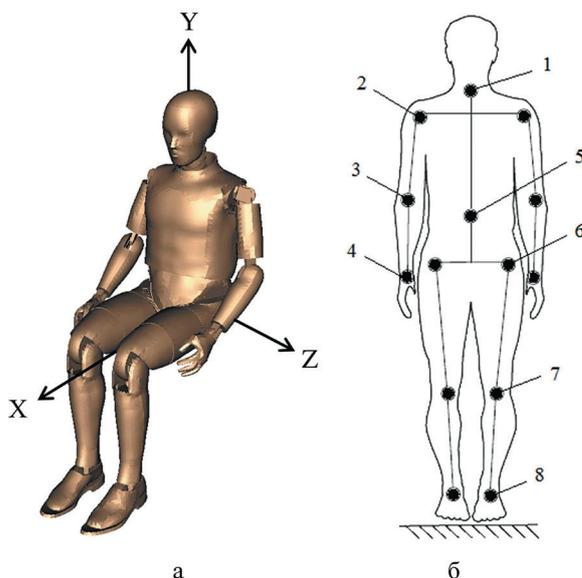


Рис. 1. Разработанная модель манекена: слева – компьютерная модель; справа – структурная схема; 1–8 – шарниры, моделирующие шейный отдел позвоночника (1); плечелопаточный сустав (2); локтевой сустав (3); лучезапястное сочленение (4); поясничный отдел позвоночника (5); тазобедренный сустав (6); коленный сустав (7); голеностопный сустав (8)

Верификация компьютерной модели электропоезда выполнена сопоставлением данных натурных ходовых испытаний с результатами, полученными расчетным путем. Сопоставление проводилось по значениям вертикальных ускорений кузова и рамной силы в зависимости от скорости движения вагона. Установлено, что результаты, полученные с использованием разработанной динамической модели электропоезда, сходны с результатами ходовых испытаний, что подтверждает ее адекватность.

Для оценки безопасности локомотивной бригады при аварийном соударении сформированы компьютерные модели антропометрических манекенов, моделирующих машиниста и его помощника (рис. 1).

Параметры манекена соответствуют антропометрическим характеристикам среднестатистического взрослого мужчины. Манекен выполнен в виде совокупности двадцати четырех твердых тел, взаимодействующих посредством вращательных и обобщенных шарниров с заданными упруго-диссипативными характеристиками. Поведение частей манекена соответствует функционированию организма человека, что достигается ограничением углов поворотов в шарнирных соединениях манекена [6].

Для описания взаимодействия членов локомотивной бригады с элементами внутреннего оборудования кабины в модели головного вагона детально проработан интерьер кабины (рис. 2). При аварийном соударении манекены взаимодействуют с элементами интерьер-

ера кабины с помощью специальных контактных элементов программного комплекса.

Для оценки безопасности локомотивной бригады рассчитывают значения универсальных критериев черепно-мозговой травмы и травмирования шеи человека [7]. Основу для расчета критериев составляют уровни динамических усилий, воздействующих на элементы манекена, которые получены при моделировании аварийного соударения.

Значение критерия черепно-мозговой травмы HIC определяется по формуле

$$HIC = (t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right)^{2,5}, \quad (1)$$

где t_1, t_2 – моменты времени, определяющие интервал между начальным и конечным моментами контакта головы с травмирующим предметом, для которого значение HIC максимально, с; a – результирующее ускорение, единицы силы тяжести g .

Значение критерия травмирования шеи NIC определяется по формуле

$$NIC = \frac{F}{F_{кр}} + \frac{M}{M_{кр}}, \quad (2)$$

где F – осевое сжимающее/растягивающее усилие; $F_{кр}$ – осевое усилие, используемое для нормирования; M – изгибающий момент; $M_{кр}$ – изгибающий момент, используемый для нормирования.

В результате моделирования аварийной ситуации получены осциллограммы параметров динамического взаимодействия моделей манекенов с элементами интерьера кабины управления электропоезда. Из анализа результатов моделирования и расчетов (см. таблицу) следует, что при скорости столкновения выше 15 м/с наибольшие уровни динамических усилий возникают вследствие соударения членов локомотивной бригады с элементами пульта управления. При этом фиксируется превышение нормированного значения критерия черепно-мозговой травмы.

При скорости больше 25 м/с наблюдается превышение нормированного значения критерия травмирования шеи. Превышение нормированных значений указанных критериев свидетельствует о возможности причинения работникам локомотивной бригады тяжелых травм при незначительных повреждениях несущей конструкции головного вагона электропоезда.

На основании полученных результатов установлено следующее:

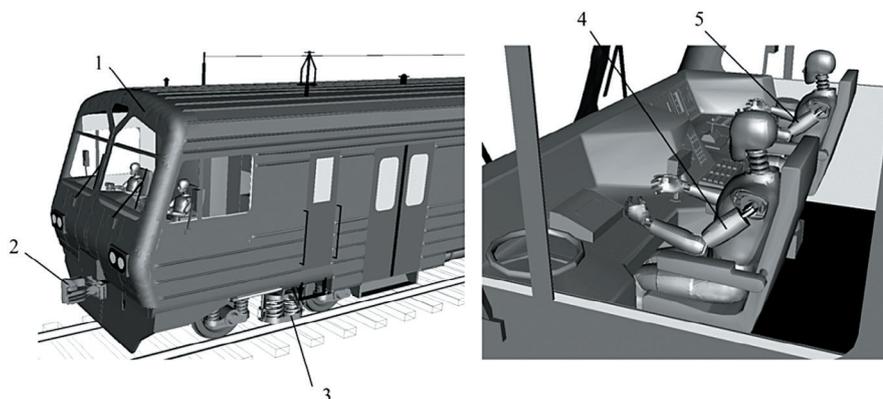


Рис. 2. Фрагмент динамической модели головного вагона электропоезда: слева – фрагмент модели головного вагона; справа – интерьер кабины машиниста; 1 – твердотельная модель кузова; 2 – подсистема «автосцепное оборудование»; 3 – подсистема «тележка»; 4 – твердотельная модель манекена «помощник машиниста»; 5 – твердотельная модель манекена «машинист»

Критерии травмирования человека при скорости соударения 15 м/с

Критерий травмирования	Значение	
	нормированное	рассчитанное
Критерий черепно-мозговой травмы	1000	1017
Критерий травмирования шеи	1,4	0,83

1) применение компьютерных моделей антропометрических манекенов позволяет с достаточной степенью достоверности оценить вероятность возможного травмирования членов локомотивной бригады при столкновении электропоезда с препятствием;

2) аварийное соударение электропоезда с препятствием со скоростью больше 15 м/с приводит к нанесению травм различной степени тяжести локомотивной бригаде;

3) основной причиной травмирования машиниста и его помощника является их соударение с элементами интерьера кабины машиниста.

Следовательно, при проектировании современных конструкций моторвагонного подвижного состава необходимо учитывать влияние внутреннего оборудования кабины на безопасность локомотивной бригады. ■

Литература

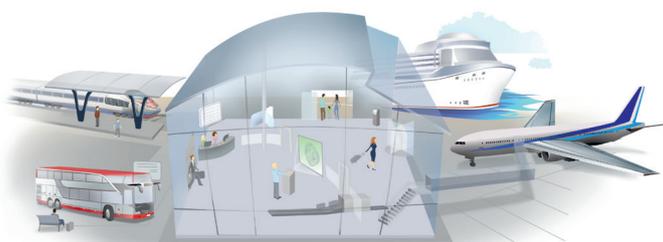
1. VanIngen-Dunn C. Commuter Rail Seat Testing and Analysis of Facing Seats. DOT/FRA/ORD-03/06. U.S. Department of Transportation, Washington: DC, December 2003. 195 p.
2. Kokkins S., Kong W., Kasturi K.. Locomotive Crashworthiness Research: Modeling, Simulation and Validation. DOT/FRA/ORD-01/23. U.S. Department of Transportation, Washington: DC, July 2001. 87 p.
3. Tyrell D.C., Severson K.J., Marquis B.P. Simulation of an oblique collision of a locomotive and an intermodal container // Crashworthiness, Occupant Protection and Biomechanics in Transportation Systems, ASME, AMD, 1999. Vol. 237/BED Vol. 45. P. 115–129.
4. Рабинович Б.А. Безопасность человека при ускорениях: биомеханический анализ. М., 2007. 208 с.
5. Универсальный механизм: Руководство пользователя. 2006.
6. Kan C-D., Marzougui Dh., Bedewi N.E. Development of a 50th Percentile Hybrid III Dummy Model. FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center The George Washington Univ. 10 p.
7. Kleinberger M., Sun E., Eppinger R., Kuppa Sh., Saul R. Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems. 1998. Sept. 120 p.
8. Evaluated the safety of members of the locomotive crew trains in longitudinal accidental collision with obstacles at crossings on the basis of methods of mathematical modeling using solid models.

В рамках проекта «Санкт-Петербург - морская столица России»



VI Международный форум «БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ»

март 2016



Россия, Санкт-Петербург
Crowne Plaza
St. Petersburg Airport

При поддержке и участии



Оператор Форума



www.confspb.ru
Тел./факс: +7 /812/ 327 93 70