

Пассивная безопасность рабочего места машиниста с использованием виртуальной модели человека



Н. Ф. Красюков,
канд. техн. наук,
ведущий научный
сотрудник АО «Научно-
исследовательский
и конструкторско-
технологический
институт подвижного
состава» (АО «ВНИКТИ»),



Э. С. Оганян,
д-р техн. наук, главный
научный сотрудник
АО «ВНИКТИ»

На железнодорожном транспорте в процессе эксплуатации случаются аварийные ситуации по причине столкновения поездов с препятствиями на железнодорожном пути, природно-климатических явлений, человеческого фактора, при которых сходит с рельсов или повреждается подвижной состав, травмируются члены локомотивных и поездных бригад, пассажиры.

Проблема обеспечения безопасности становится особенно актуальной в связи с развитием на железнодорожном транспорте высокоскоростного движения.

В АО «ВНИКТИ» проводятся расчетно-экспериментальные исследования механической безопасности локомотивных бригад с определением напряженно-деформированного состояния конструкции кабины машиниста, кузова локомотива и параметров травмоопасных воздействий на человека [1–4]. Формируются методики по реализации «Технических требований к системе пассивной безопасности подвижного состава для пассажирских перевозок железных

дорог колеи 1520 мм»¹ (ТТ к СПБ) и «Технических требований к системе защиты локомотивной бригады при аварийном столкновении локомотива с препятствием»².

Исследования направляются не только на изучение тяжести негативных последствий аварийных столкновений, сходов с рельсов, но и других травмоопасных ситуаций, связанных с потерей здоровья и нарушением работоспособности членов локомотивной бригады и пассажиров поезда, на уточнение требований к последующим восстановительным мероприятиям и специальной оценке условий труда машиниста локомотива.

Рассмотрим аварийную ситуацию на железнодорожном транспорте, вызванную столкновением локомотива (головного вагона) поезда с препятствием на пути. По данным статистики, до 85% таких происшествий происходит на железнодорожных переездах с мобильными транспортными средствами массой около 10 т (грузовой автомобиль) и примерно до 14% – с отдельным грузовым вагоном массой около 80 т на станционных и подъездных путях.

Согласно выборке из сведений о дорожно-транспортном происшествии на переезде (учетная форма ПУ-69), из года в год происходит в среднем 230 случаев столкновения подвижного состава с травмированием членов локомотивных бригад. При этом в одном из 130 проис-



¹ Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 20.12.2011 № 2740р.

² Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 10.01.2022 № 7/p.

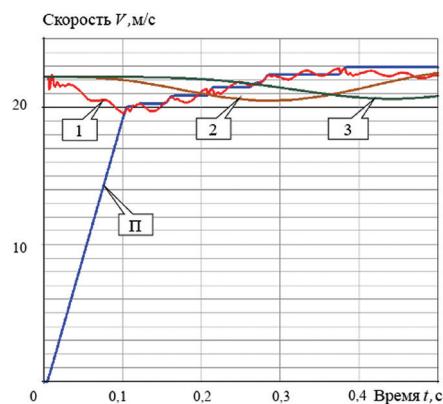


Рис. 1. Скорость движения вагонов 1, 2, 3 и препятствия (П) в процессе столкновения электропоезда

шествий травмируется машинист или его помощник.

Предлагается новый подход к повышению эффективности конструкционной защиты (пассивной безопасности) рабочего места машиниста за пультом управления с помощью подушек безопасности, позволяющих снизить риск получения механических травм при внезапном столкновении локомотива с препятствием на железнодорожном пути.

Расчеты на виртуальных моделях показывают, что при столкновении на скорости 22,2 м/с (80 км/ч) электропоезда из 10 вагонов с препятствием массой 10 т (рис. 1) в начальной фазе удара длительностью около 0,1 с продольные скорости препятствия и головного вагона уравниваются. В результате скорость вагона снижается до 19,0 м/с (68,4 км/ч), т. е. на 3,2 м/с (11,5 км/ч). В то же время тело машиниста по инерции продолжает продольное движение относительно элементов рабочего места (пульт управления,

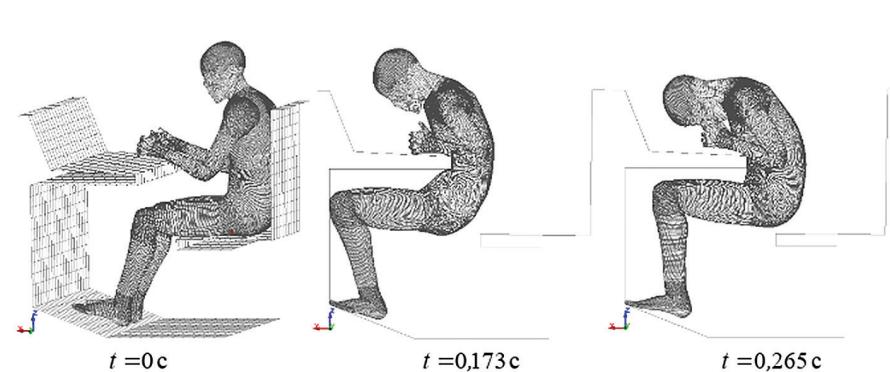


Рис. 2. Положения виртуальной модели тела человека на рабочем месте машиниста в процессе столкновения поезда

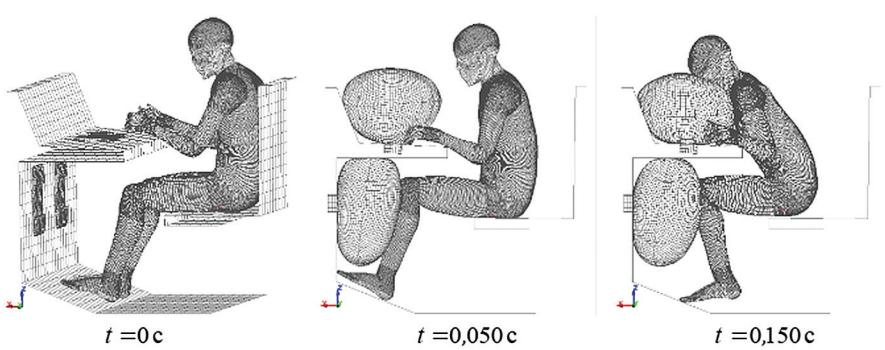


Рис. 3. Движение виртуальной модели тела человека на рабочем месте машиниста, оборудованном подушками безопасности

ления, кресло машиниста) с указанной начальной скоростью.

Описанный сценарий аварийного столкновения аналогичен сценарию 1 действующей редакции ТТ к СПБ: скорости столкновения — 72 и 110 км/ч, среднее значение продольного ускорения вагонов — не более $50 \text{ м/с}^2 (> 5 \text{ g})$.

Параметры движения и контактного взаимодействия тела машиниста при аварийном столкновении поезда рассчитывались с применением 50-процентильной виртуальной модели тела человека THUMS (Total Human Model for Safety) AM50 V4.1 [5]. THUMS — это библиотека моделей тела человека для ANSYS LS-DYNA, разрабо-

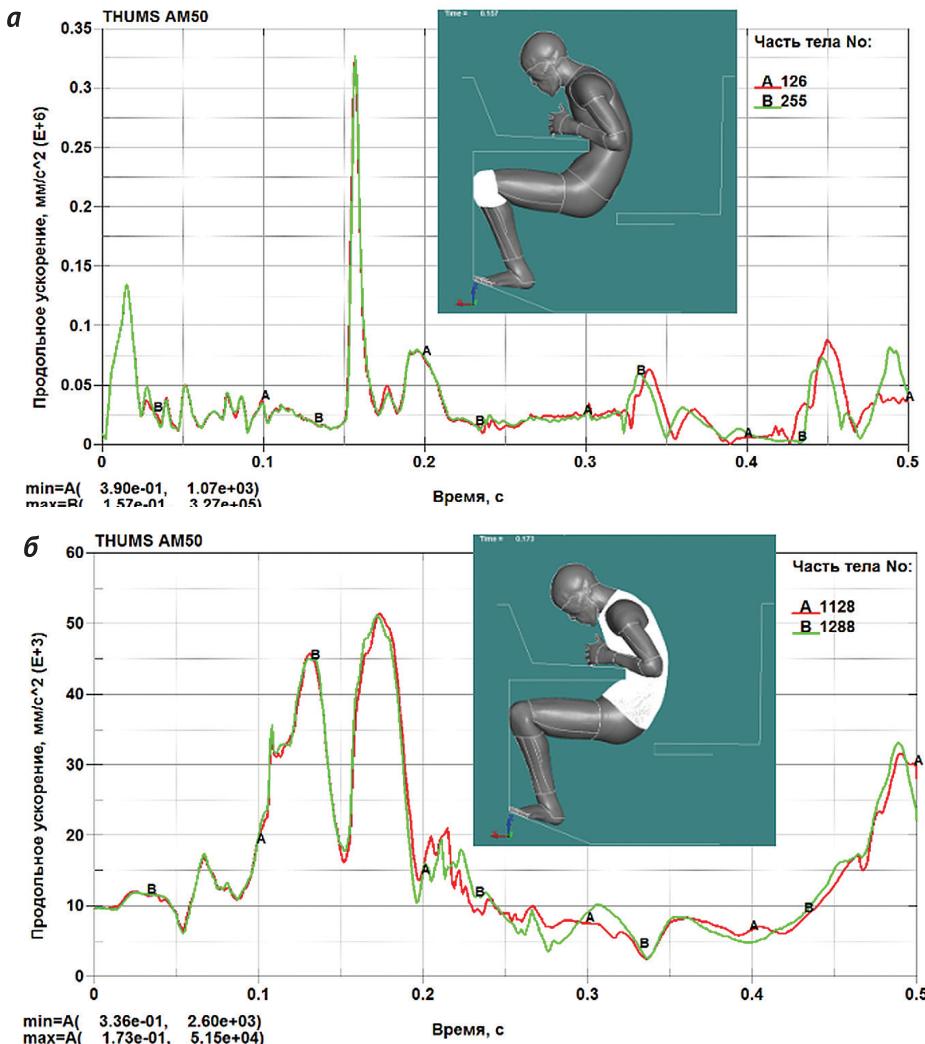


Рис. 4. Графики механических перегрузок в области коленей (а) и туловища (б) машиниста

танская Toyota Motor Corporation и Toyota Central R&D Labs. Модели THUMS предназначены для исследований и разработки технологий, обеспечивающих пассивную безопасность транспортных средств.

THUMS способны в процессе выполнения виртуальных краш-тестов детально анализировать травмы, связанные со столкновением. В отличие от обычных манекенов, используемых в ходе реальных испытаний на столкновение транспортных средств, THUMS точнее отражают формы и прочность человеческого тела и не связаны с ограничениями измерительной аппаратуры.

На рис. 2 и 3 показаны исходные (на момент начала столкновения, $t = 0$ с) и последующие положения виртуальной модели тела человека, движущегося относительно элементов рабочего места под воздействием продольной скорости, начальная величина которой составляет 3,2 м/с.

Из рис. 2 видно, что в результате внезапного столкновения поезда с пре-

ятствием при условиях, аналогичных сценарию 1 ТТ к СПБ (когда машинист не успевает заранее встать и уйти в безопасную зону, и столкновение застигает его на рабочем месте), для него возникает реальный риск получения механических травм коленей и туловища (внутренних органов).

На рис. 4 показаны графики механических перегрузок, возникающих в частях тела машиниста при ударах о поверхности конструкции пульта управления. Из графиков следует, что в области коленей в течение 0,020 с действует однократный треугольный импульс величиной $0,325 \cdot 10^6 \text{ мм}/\text{с}^2 >> 33,1 \text{ г}$, а в области туловища в течение 0,1 с — двукратный с интервалом 0,05 с импульс величиной около $50 \cdot 10^3 \text{ мм}/\text{с}^2 >> 5,1 \text{ г}$.

Для снижения риска травмирования машиниста его рабочее место предлагается оборудовать подушками безопасности. В данном случае рассмотрено применение трех подушек, которые с момента столкновения поезда с препятствием

наполняются одновременно в течение 30 мс от индивидуальных газогенераторов. До начала наполнения подушки находятся в сложенном состоянии.

На рис. 3 показано размещение подушек безопасности (две — снизу пульта управления на уровне колен, одна — сверху), а также их функционирование при аварийном столкновении поезда. Наполненные подушки, как это видно на промежуточных кадрах, эффективно блокируют появление механических контактов между частями тела машиниста и пультом управления, чем снижают риск травмирования. То есть оснащение рабочего места машиниста подушками безопасности повышает эффективность его конструкционной защиты.

Таким образом, сделаем выводы:

- Определение параметров механических воздействий на машиниста в аварийной ситуации возможно и целесообразно на виртуальных моделях тела человека расчетным путем.
- Для повышения безопасности рабочего места машиниста по условиям его физического и физиологического травмирования при столкновении поезда с препятствием на железнодорожном пути эффективным средством представляется применение подушек безопасности.

T

Источники

1. Красюков Н. Ф. Как повысить пассивную безопасность подвижного состава // Локомотив. 2014. № 8. С. 9–10.
2. Красюков Н. Ф. Моделирование динамического поведения системы твердых тел в задаче конструкционной защиты локомотива в аварийной ситуации // Мехатроника, автоматика и робототехника: Материалы международной научно-практической конференции. Новокузнецк: НИЦ МС, 2019. № 3. С. 52–59.
3. Патент № 2387557 Российской Федерации. Модуль кабины транспортного средства / Н. Ф. Красюков, Г. И. Михайлов, В. Ю. Гусев, Н. М. Кузина. Опубл. 27.04.2010. Бюл. № 12. 6 с.
4. Патент № 2476339 Российской Федерации. Модуль для гашения энергии при соударении транспортных средств / Н. Ф. Красюков, Г. И. Михайлов, Э. С. Оганьян, А. К. Кириков. Опубл. 27.02.2013. Бюл. № 6. 6 с.
5. Virtual human body model for analysis of vehicle collision related injuries. URL: <https://www.toyota.co.jp/thums/> (дата обращения: 20.12.2024).