

[5] Manson, S.S. Inversion of the strain and strain-stress relationships for use in the metal fatigue analyses / Manson S.S. // Fatigue of engineering materials and structures. – 1979. – Vol. 1. No. 1. – P. 37–57.

[6] Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения / Под ред. Н.А. Махутова, Ю.Г. Матвиенко, А.Н. Романова. – М.: Ленанд, 2018. – 720 с.

[7] Моделирование нагруженности корпуса автосцепки численно-аналитическими методами / Оганьян Э.С., Коссов В.С., Овечников М.Н., Волохов Г.М., Гасюк А.С. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2020. – № 5. – С. 52–55.

УДК 629.4.028:539.4(045)

**Н.Ф. Красюков<sup>а</sup>, Э.С. Оганьян<sup>а</sup>, В.С. Коссов<sup>а</sup>, М.Н. Овечников<sup>б</sup>, Г.И. Гаджиметов<sup>с</sup>**  
АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия  
<sup>а</sup>info@vnikti.com, <sup>б</sup>ovechnikov-mn@vnikti.com,  
<sup>с</sup>gajimetov-gi@vnikti.com

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРОСТОЙКОСТИ ЛОКОМОТИВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

**Андатпа.** Темір жол бойындағы кедергімен локомотивтің апатты соқтығысуы кезінде машинист кабинасының құрылымдық қорғанысының тиімділігін (пассивті қауіпсіздік пен соққыға төзімділігін) есептеу мәселесі қарастырылған. MSC.Mentat/Marc, MSC.Patran/Dytran арнайы бағдарламалық кешендерін қолдану арқылы ақырлы элементтер әдісіне негізделген апаттық соқтығысуларды компьютерлік модельдеу технологиясы ұсынылған. Конструкциялардың кернеулі-деформациялық күйін есептеу зерттеулері геометриялық және физикалық сызықты емес жағдайда жүргізілді. Ұсынылған технология негізінде тапсырмалардың мүмкін тұжырымдары анықталды.

**Түйін сөздер.** Қауіпсіздік, апаттық соқтығыстар, құрылымдық қорғаныс, жүргізуші кабинасы, автоматты қосқыш, компьютерлік модельдеу, кернеу-деформация жағдайы, ресурс.

**Аннотация.** Рассмотрена задача расчетной оценки эффективности конструкционной защиты (пассивной безопасности и ударостойкости) кабины машиниста при аварийном столкновении локомотива с препятствием на железнодорожном пути. Предложена технология компьютерного моделирования аварийных столкновений, основанная на методе конечных элементов с применением специализированных программных комплексов MSC.Mentat/Marc, MSC.Patran/Dytran. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния конструкций выполнены в геометрически и физически нелинейной постановке. Определены возможные постановки задач на основе представленной технологии.

**Ключевые слова.** Безопасность, аварийные столкновения, конструкционная защита, кабина машиниста, автосцепка, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние, ресурс.

**Abstract.** The problem of calculating the efficiency of the structural protection (passive safety and impact resistance) of a driver's cab during an emergency collision of a locomotive with an obstacle on a railway track is considered. The technology of a computer simulation of emergency collisions based on the finite element method with the use of specialized software packages MSC.Mentat/Marc, MSC.Patran/Dytran is proposed. Computational studies of the

stress-strain state of structures are performed in a geometrically and physically nonlinear setting. Possible problem settings based on the provided technology are determined.

**Key words.** Safety, emergency collisions, structural protection, driver's cab, automatic coupling, computer simulation, stress-strain state, life time.

**Введение.** Особой проблемой для ОАО «РЖД» остается обеспечение безопасности движения на железнодорожных переездах. Здесь по данным Департамента безопасности движения (ЦРБ) ежегодно случается в среднем 250 столкновений подвижного состава с транспортными средствами, в результате которых страдают люди, наносится значительный ущерб инфраструктуре и имуществу, нарушается перевозочный процесс [1, 2].

Современные технологии компьютерного моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) стальных конструкций при сверхнормативном интенсивном ударном нагружении позволяют с приемлемой для практики точностью прогнозировать последствия лобовых столкновений локомотивов (головных вагонов) с препятствием и судить об их пассивной безопасности и стойкости к повреждениям [2]. Эти технологии, в отличие от постановки натуральных экспериментов (краш-тестов), оказываются менее затратными экономически, позволяют учитывать многие важные особенности поведения самой конструкции и ее материала при ударном нагружении и дают возможность судить об эффективности принимаемых технических решений уже на ранних стадиях работы с проектом.

Технология реализуется путем компьютерного (виртуального) моделирования методом конечных элементов (МКЭ) и расчета НДС несущих конструкций локомотива в упругой и упругопластической постановке с применением программных комплексов MSC.Mentat / Marc и MSC.Patran / Dytran, предназначенных для решения нелинейных задач механики деформируемого твердого тела. Столкновение локомотива с препятствием рассматривается как переходный динамический процесс.

**Постановка задачи.** Ударостойкость кабины машиниста (КМ) локомотива или головного вагона электропоезда оценивается по критериям продольной нагрузки, которую должен выдерживать несущий каркас кабины (не менее 300 кН) при максимальном перемещении лобовой части внутрь кабины не более чем на 200 мм. Такие условия прочности и жесткости каркаса необходимы для обеспечения пространства выживания машинистов (не менее 0,75 м внутрь кабины) при аварийном столкновении и для свободного покидания кабины после столкновения. За счет пластических деформаций несущего каркаса и ударозащитных устройств (УЗУ) должно обеспечиваться поглощение механической энергии удара и снижение продольного ускорения в КМ до уровня не более 5g.

В соответствии с перечисленными условиями решается задача прочности, жесткости и энергоемкости кабины с использованием конечно-элементной модели в упругопластической постановке.

С учетом изложенного приведены результаты расчетов следующих трех вариантов конструкции КМ: каркас без УЗУ, каркас с однослойным УЗУ и каркас с двухслойным УЗУ (рис. 1). В таблице приведены сравнительные показатели эффективности конструкционной защиты кабины локомотива для трех указанных вариантов.

**Метод исследования.** Расчеты НДС деформируемых конструкций (каркаса кабины и УЗУ) при сверхнормативных нагружениях выполняются на основе законов теории пластичности с учетом нелинейных соотношений между деформациями и перемещениями (геометрическая нелинейность), между напряжениями и деформациями (физическая нелинейность), а также зависимости предела текучести сталей от скорости деформации (рисунки 2) [3, 4].

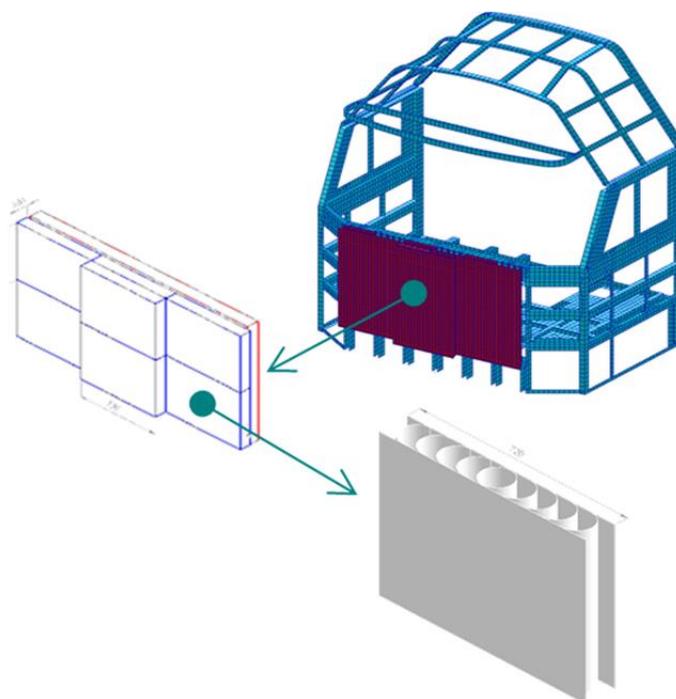


Рисунок 1 – Конструкция двухслойного ударозащитного устройства кабины машиниста

Таблица 1 – Сравнительные показатели эффективности конструкционной защиты кабины

Вариант конструкции КМ	Показатель (критерий оценки)		
	Поглощенная энергия $W$ , кДж ( $[W] \geq 35$ )	Продольная сила удара $F_{\max}$ , кН ( $[F_{\max}] \leq 290$ )	Смещение противоударной стенки $X_{\max}$ , мм ( $[X_{\max}] \leq 200$ )
Каркас без УЗУ	40	185	232
Каркас с однослойным УЗУ	33,7	290	до 100
Каркас с двухслойным УЗУ	42	290	11

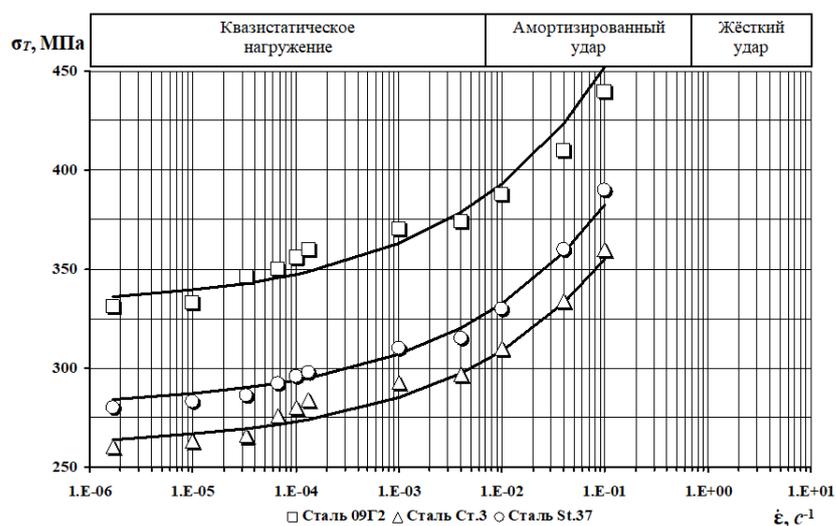


Рисунок 2 – Зависимость предела текучести материала от скорости деформации

В общем случае поведение конструкций при ударном нагружении описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, которая при практическом решении приводится к линеаризованной форме относительно малых приращений, накладываемых на текущее равновесное состояние динамической системы вида [3]:

$$M\ddot{\Delta}_u + (K_c + G(\sigma) + R(\sigma))\Delta_u = \bar{\Delta}_q \quad (1)$$

где  $M$  – матрица инерции (масс) КЭ модели кабины;

$\Delta_u$  – вектор приращения узловых перемещений;

$K_c$  – матрица жесткости;

$G(\sigma)$  – матрица геометрической жесткости;

$R(\sigma)$  – матрица пластической жесткости;

$\bar{\Delta}_q$  – вектор приращения узловых нагрузок.

**Результаты исследования.** НДС и энергопоглощение каркаса кабины с ударозащитным устройством, а также кузова с устройством поглощения энергии при столкновении с препятствием определяются как результат численного решения уравнений (1).

На графиках (рис. 3) показаны зависимости от времени ускорений (перегрузок) и скоростей головных единиц поезда и препятствия (масса 10 т) при столкновении на скорости 80 км/ч.

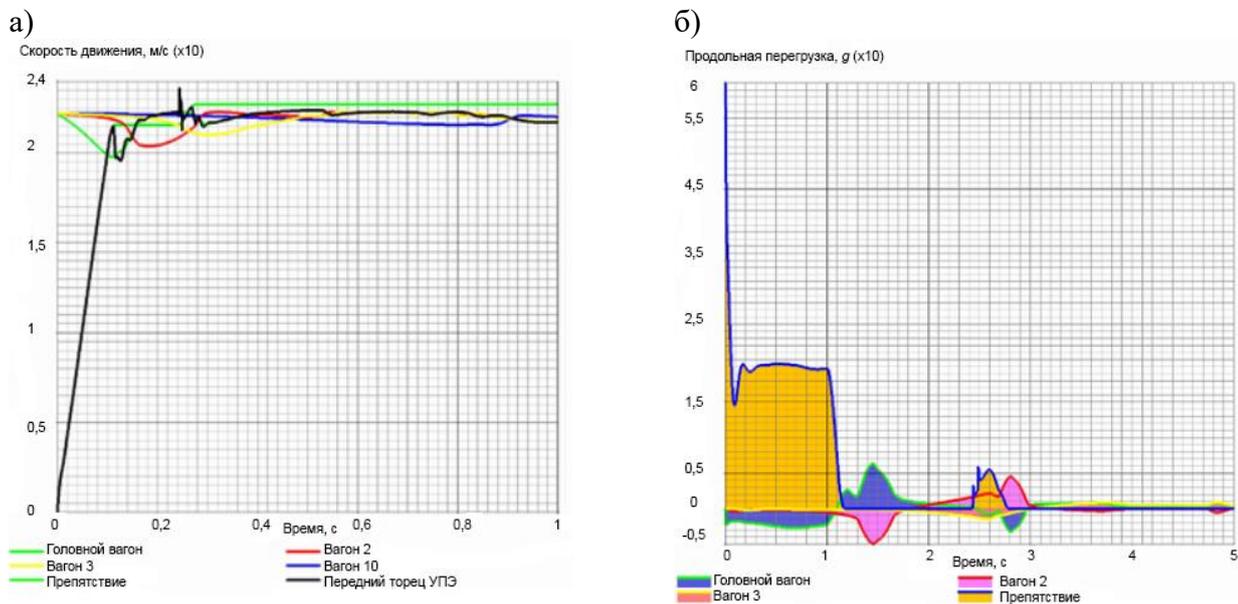


Рисунок 3 – Зависимость от времени продольной перегрузки (а) и скорости движения (б) головных единиц поезда и препятствия при столкновении

**Выводы.** На основе разработанных методов и выполненных исследований представляется возможным:

- моделировать нагруженность кузова и кабины машиниста при аварийных столкновениях движущегося поезда с препятствием на пути;
- разрабатывать методики численного определения требуемых проектных параметров энергопоглощающих устройств конструктивной защиты (системы пассивной безопасности) локомотива (головного вагона);
- оценивать эффективность средств конструктивной защиты вновь изготавливаемых и модернизируемых локомотивов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иваненко, А.А. Острота проблемы не снижается / Иваненко А.А. // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 10. – С. 23–26.
- [2] Красюков, Н.Ф. Моделирование нагруженности конструкции кабины машиниста при столкновении локомотива с препятствием / Красюков Н.Ф., Оганьян Э.С., Ноздрачева В.А. // Тяжелое машиностроение. – 2006. – № 8. – С. 34–35.
- [3] Красюков, Н.Ф. Моделирование динамического поведения системы твердых тел в задаче конструкционной защиты локомотива в аварийной ситуации / Красюков Н.Ф. // Мехатроника, автоматика и робототехника: Материалы международной научно-практической конференции. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2019. – №3. – С. 52–59.
- [4] Оганьян, Э.С. Расчеты и испытания на прочность несущих конструкций локомотивов: учеб. пособие / Оганьян Э.С., Волохов Г.М. // М.: ФГБОУ «Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. тр-те». – 2013. – 336 с.

## УДК 629.764.7

Г.Т. Ермолдина<sup>1,2,a</sup>, К.А. Алипбаев<sup>1,3,b</sup>, А.М. Бапышев<sup>1,c</sup>, А.У. Утегенова<sup>1,3,d</sup>

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,  
Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева, Алматы, Казахстан  
[agulerm@mail.ru](mailto:agulerm@mail.ru), [k.alipbayev@aes.kz](mailto:k.alipbayev@aes.kz), [ako-bapyshev@mail.ru](mailto:ako-bapyshev@mail.ru), [utegenova77@mail.ru](mailto:utegenova77@mail.ru)

## ОЦЕНКА ПОЖАРООПАСНОСТИ РАЙОНОВ ПАДЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** Рассмотрено текущее состояние районов падения космодрома Байконур и негативные последствия техногенного воздействия на окружающую среду в районах падения при пусках перспективных ракет-носителей типа «Иртыш» с маршевыми жидкостными двигателями. Предлагаемый подход предусматривает выделение участков для падения отработавших ступеней ракет-носителей, в частности, предлагаются участки с наиболее устойчивой к техногенному воздействию территории внутри существующих районов падения. Разработан метод выбора этих участков на основе создания информационно-аналитической системы района падения, которая будет элементом существующей системы экологического мониторинга космодрома Байконур.

**Ключевые слова:** ракета-носитель, технология, пожароопасность, район падения, отработавшая ступень, космоснимок.

**Аңдатпа.** Байқоңыр ғарыш айлағының құлау аудандарының ағымдағы жай-күйі және марштық сұйық қозғалтқыштары бар "Ертіс" үлгісіндегі перспективалық тасымалдағыш зымырандарды ұшыру кезінде құлау аудандарындағы қоршаған ортаға техногендік әсер етудің теріс салдарлары қаралды. Ұсынылған тәсіл зымыран-тасығыштардың пайдаланылған сатыларының құлауы үшін учаскелерді бөлуді көздейді, атап айтқанда, қолданыстағы құлау аудандарының ішінде техногендік әсерге неғұрлым төзімді аумақтар ұсынылады. Байқоңыр ғарыш айлағының қолданыстағы экологиялық мониторинг жүйесінің элементі болатын құлау ауданының ақпараттық-талдау жүйесін құру негізінде осы учаскелерді таңдау әдісі әзірленді.

**Түйінді сөздер:** зымыран тасығыш, технология, өрт қауіптілігі, құлау ауданы, пысықталған саты, ғарыш түсірілімі

**Abstract.** The current state of the fall areas of the Baikonur cosmodrome and the negative consequences of man-made impact on the environment in the fall areas during the