

УДК 539.4.014.1:004.94

Д.В. Морозов¹, А.А. Пыхалов¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ПРИМЕРЕ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Выполнен анализ методов расчета стержневых систем. Рассмотрено применение метода конечных элементов для определения напряженно-деформированного состояния деталей автосцепного оборудования подвижного состава.

Ключевые слова: автосцепное оборудование, переходные режимы движения поезда, продольные силы, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.

D.V. Morozov¹, A.A. Pykhalov¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

CALCULATION OF THE STRUCTURE UNDER THE IMPACT OF AN AXIAL SHOCK LOAD ON THE EXAMPLE OF ROD SYSTEMS

Abstract. The analysis of methods of calculation of rod systems is carried out. The application of the finite element method for determining the stress-strain state of the parts of the automatic coupling equipment of rolling stock is considered.

Keywords: automatic coupling equipment, transient modes of train movement, longitudinal forces, finite element method, stress-strain state.

Введение

Динамическое воздействие подвижного состава на элементы конструкции и на путь определяется сложными колебательными и ударными нагрузками, возникающими при движении. Они обусловлены переменным характером тяговых сил (торможение, ускорение), сил возникающих при повороте, а также сопутствующими нагрузками различных неровностей на поверхностях контакта колес с рельсами, упругими деформациями пути, рессор и других элементов ходовой части.

Значительный вклад в области теоретического исследования динамики подвижного состава внесли ученые С.В. Вершинский, С.П. Солодков, Ю.М. Черкашин, В.Н. Котуранов, В.Д. Хусидов. Экспериментально-теоретическим исследованиям динамики вагонов посвящены работы И.В. Бирюкова, Ю.П. Бороненко, Г.П. Бурчака, Л.В. Винника, В.А. Лазаряна, А.Э. Павлюкова, А.Н. Савоськина, В.Ф. Ушкалова, А.А. Хохлова, А.П. Болдырева, Г.С. Михальченко, Д.Ю. Погорелова, В.А. Симонова и др. Вклад в области исследований динамического нагруженного состояния подвижного состава внесли исследователи коллективов ВНИИЖТ, ВНИИ вагоностроения, университетов путей сообщения: Московского, Санкт-Петербургского, Уральского, Омского, Самарского, Брянского государственного технического университета и ряда других научных и производственных организаций и вузов.

Основным элементом конструкции вагона, обеспечивающим защиту от продольных ударных воздействий в эксплуатации вагонов, является поглощающий аппарат автосцепки. Детали, передающие нагрузку от автосцепки на раму вагона, включают тяговый хомут, его клин, упорную плиту, поглощающий аппарат, передние и задние упорные угольники и ударную розетку.

В процессе эксплуатации автосцепные устройства подвергаются ударным нагрузкам, под действием которых в них возникают динамические напряжения, максимальные значения напряжений определяют надежность и долговечность конструкции.

Методы расчета стержневых систем

В предлагаемой статье рассмотрены методы расчета ударных нагрузок на примере стержневых систем, как на основе аналитических решений, так и с дальнейшим развитием численных методов и метода конечных элементов (МКЭ), позволяющих проводить в расчетах уточнения усредненных характеристик ударной нагрузки и напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций подвижного состава.

Известные аналитические методы расчета стержневых систем [1] позволяют представить сложные конструкции, принимающие ударные нагрузки, как монолитные изделия. К наиболее известным из них (классическим) методам расчета относятся:

- расчетная модель продольного удара стержневой системы построена на предположении взаимодействующих конструкций как абсолютно твердых тел (рис. 1).

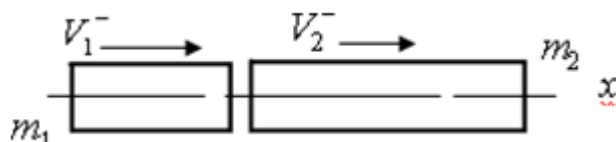


Рис. 1. Схема продольного удара твердых тел

Для рассматриваемой механической системы ударная сила является внутренней, а внешние силы отсутствуют. В соответствии с теоремой об изменении количества движения механической системы имеем:

$$m_1 V_1^+ + m_2 V_2^+ = m_1 V_1^- + m_2 V_2^- ,$$

где m_1 и m_2 – массы соударяющихся тел.

Данным уравнением нельзя решить вопрос о состоянии системы после удара.

- Модель удара Ньютона основывается на предположении о пропорциональной зависимости между относительными скоростями тел до и после удара:

$$V_1^+ - V_2^+ = -R(V_1^- - V_2^-) ,$$

где R - коэффициент пропорциональности, характеризующий восстановление относительной скорости после удара.

Однако на практике важной является и другая задача – определение сил для проведения прочностных расчетов.

- Модель удара Герца построена на предположении, что при соударении тел (рисунок 2) существенными являются местные деформации в зоне контакта.

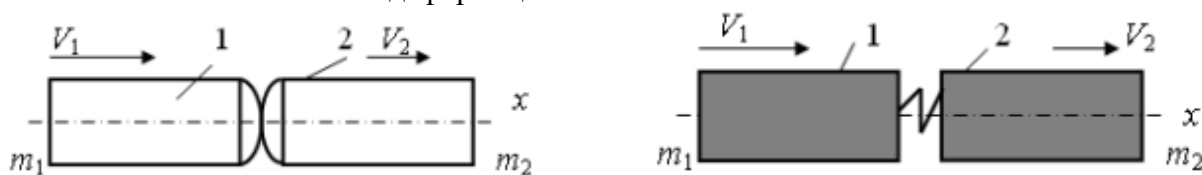


Рис. 2. Схема продольного удара тел с учетом контактного взаимодействия

Зависимость контактной силы от контактной деформации при ударе остается такой же, как и при статическом сжатии тел. Т.е., ударная сила определяется выражением:

$$P = \begin{cases} k(\Delta u)^{\frac{3}{2}}, & \text{при } \Delta u \geq 0, \\ 0, & \text{при } \Delta u < 0, \end{cases} \quad k = \frac{4}{3(1 - \mu_1^2)/E_1 + (1 - \mu_2^2)/E_2} \cdot \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

и др.

Исследование напряженно-деформированного состояния узлов подвижного состава

Актуальность и постановка задачи определяются тем, что для правильной оценки прочности, ресурса и надежности наиболее ответственных узлов конструкций подвижного состава,

работающих в условиях ударного взаимодействия, необходимо знать их напряженно-деформированное состояние (НДС), которое можно определить, решив соответствующую задачу.

Наибольшими по величине являются динамические продольные нагрузки, представляющие собой сжимающие и растягивающие ударно-тяговые силы, возникающие в поезде при различных режимах его движения. Значения продольных сил в совокупности с остальными, действующими на вагон нагрузками, определяются исходя из основных режимов работы вагона в эксплуатации:

- трогание с места;
- осаживание или торможение поезда при малых скоростях движения;
- соударения вагонов при маневровой и сортировочной работе на станциях;
- движение поезда с наибольшей допустимой скоростью.

Методика расчета динамических нагрузок на вагон описана в работе С.В. Вершинского [2]. Рассмотрены воздействия продольных сил на ударно-тяговые приборы при маневровых соударениях вагонов и в поезде при установившихся и переходных режимах движения. Ударные нагрузки, воздействующие на вагон, воспринимаются поглощающими аппаратами разной конструкции и с разными техническими характеристиками. Однако, основным элементом, принимающим удар, является автосцепка, получающая большинство неисправностей (изломы, трещины, обрывы, износ).

Решению задач, связанных с ударными нагрузками в подвижном составе посвящены работы таких авторов научных работ, как А.Б. Кузьмин, В.С. Коссов, А.Л. Протопопов, Н.Ф. Красюков, Б.Б. Бунин, Э.С. Оганьян, В.А. Котуранов, С.А. Пряников, А.В. Кодылев и др. В работах исследуется влияние ударных нагрузок на автосцепку и поглощающий аппарат рассматриваемые в отдельности. Однако все элементы представляют собой сборные конструкции и в таком случае необходимо дополнительно решать контактную задачу. Задача может быть решена с применением метода конечных элементов (МКЭ).

Для определения напряженно-деформированного состояния и прочности элементов ударно-тягового оборудования применяют компьютерное моделирование с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

Исследования, проведенные сотрудниками ОАО ВНИКТИ [3], моделируют напряжение в наиболее подверженных разрушениям участках автосцепки при их растяжении (рис.3) и сжатии (рис. 4).

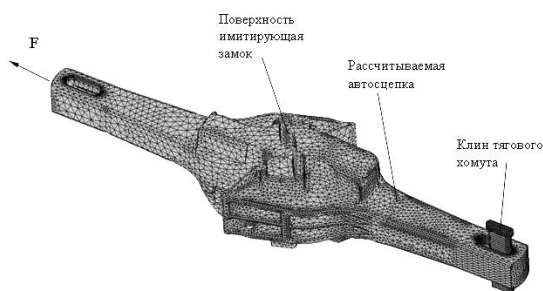


Рис. 3. Расчетная модель на растяжение

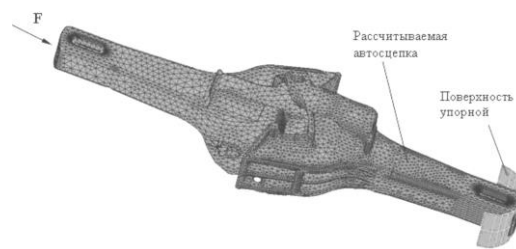


Рис. 4. Расчетная модель на сжатие

В данном случае корпуса автосцепок и клин тягового хомута рассматривались как деформируемые тела. Абсолютно жесткими считались поверхности тягового хомута в зоне контакта с клином и поверхность упорной плиты.

Исследования проводились с целью выявления зон, в которых возможно зарождение и рост усталостных трещин, и получение оценки долговечности автосцепки с учетом ее живучести.

Полученные результаты расчета показали, что рабочие напряжения для некоторых областей автосцепки превышают не только предел текучести, но и предел прочности.

Аналогичное исследование выполнено А.В. Кодылевым (МИИТ) [4]. В работе «Анализ напряженно-деформированного состояния корпуса автосцепки СА-3» было проведено компьютерное моделирование с использованием конечно-элементных моделей (КЭМ) повышенной степени дискретизации в областях концентрации напряжений (рис.5).

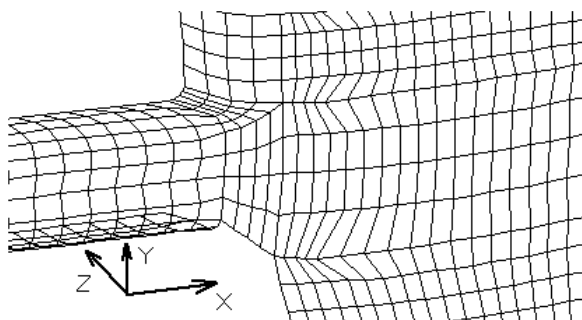


Рис. 5. Фрагмент КЭМ для анализа НДС зоны перехода от головы к хвостовику

Рассматривались различные варианты сочетания продольных нагрузок с учетом наличия или отсутствия вертикального эксцентриситета.

В результате моделирования, было определено, что в зоне перехода от головы автосцепки к хвостовику при наличии вертикального эксцентриситета в контуре зацепления могут формироваться области с высокой концентрацией напряжений.

Заключение

Проведенные исследования показали, что элементы сопряжения подвижного состава рассматривались, в основном, как отдельные части или монолитные изделия. Однако конструкция этих элементов является сборной и ее расчет при ударных нагрузках, необходимо проводить с учетом всех условий контакта между элементами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Манжосов В.К., Слепухин В.В. Моделирование продольного удара в стержневых системах неоднородной структуры /. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 208 с.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.-д. трансп./ Под. Ред. С.В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт. 1991. – 360 с.
3. Кузьмин А.Б., Коссов В.С., Протопопов А.Л., Красюков Н.Ф., Бунин Б.Б., Оганьян Э.С. // Вестник днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна. – 2007. – №19. – с. 170-175.
4. Кодылев А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния корпуса автосцепки СА-3// Известия Транссиба. – 2012. – №4(12). – с. 25-30.

REFERENCES

1. Manzhosov V.K., Slepukhin V.V. Modeling of longitudinal impact in rod systems of inhomogeneous structure /. - Ulyanovsk : UISTU, 2011. - 208 p.
2. Vershinsky S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dynamics of the wagon: Textbook for universities of railway transport/ Edited by S.V. Vershinsky– - 3rd ed., reprint. and additional - M.: Transport. 1991. - 360 p.
3. Kuzmin A.B., Kossov V.S., Protopopov A.L., Krasnyukov N.F., Bunin B.B., Oganyan E.S. // Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. - 2007. - No. 19. - pp. 170-175.
4. Kodylev A.V. Analysis of the stress-strain state of the body of the automatic coupling SA-3// Izvestiya Transsib. – 2012. – №4(12). – pp. 25-30.

Информация об авторах

Морозов Дмитрий Валерьевич – старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: moro-d@yandex.ru

Пыхалов Анатолий Александрович - д. т. н., профессор кафедры «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pykhalov_aa@mail.ru

Information about the authors

Dmitry V. Morozov - senior lecturer of the department "Wagons and wagon facilities", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: moro-d@yandex.ru

Anatoly A. Pykhalov, doctor of technical sciences, professor of the department of physics, mechanics and instrumentation, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pykhalov_aa@mail.ru