

В этом случае должна предусматриваться возможность снижения давления в тормозных цилиндрах при остановке поезда на предыдущей станции и обеспечения тормозной силы за счет локомотива.

Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы : утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 12.05.2016 № 867 р. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 2 Галай, Э. И. Тормоза локомотивов и вагонов: проблемы и перспективы : учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 2 : Фрикционные узлы тормозов / Э. И. Галай. – Гомель : БелИИЖТ, 1993. – 69 с.
- 3 Балакин, В. А. Тепловые расчеты тормозов и узлов трения / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 220 с.
- 4 Богданович, П. Н. Трение и износ в машинах / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Минск : Технология, 2011. – 527 с.

УДК 539.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

П. В. ГЕРАСИМЕНКО

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Российская Федерация*

Как известно, математическая модель для такого класса задач включает систему однородных дифференциальных уравнений, которые могут быть приведены, после разрешения их относительно первой производной вдоль меридиональной координаты к 8 уравнениям и 4-граничным условиям на каждом торце оболочки [1]. В общем виде ее можно записать в следующей форме:

$$\frac{\partial \vec{y}(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = \sum_{s=0}^4 A^{(s)}(\alpha) \frac{\partial^s \vec{y}(\alpha, \beta)}{\partial \beta^s} + \vec{f}(\alpha, \beta);$$

$$B_0 \vec{y}(0, \beta) = \vec{0}; \quad B_n \vec{y}(l, \beta) = \vec{0}.$$

Здесь α, β – координаты срединной поверхности соответственно в меридиональном и окружном направлениях; $A^{(s)}(\alpha)$ – квадратные матрицы 8-го порядка (выражения для их элементов не приводятся из-за громоздкости); $\vec{y}^T(\alpha, \beta) = N_\alpha, S_\alpha, Q_\alpha, M_\alpha, u, v, w, \vartheta_\alpha$ – транспонированный вектор столбец усилий $N_\alpha, S_\alpha, Q_\alpha$, момента M_α , перемещений u, v, w и угла ϑ_α поворота; $\vec{f}(\alpha, \beta)$ – вектор нагрузки; l – длина оболочки; $B_k (k = 1, n)$ – прямоугольные матрицы 4×8 , характеризующие условия закрепления оболочки на краях и имеющие по восемь ненулевых элементов.

$$b_{ss}^{(k)} = \gamma_s^{(k)}; \quad b_{s,4+s}^{(k)} = 1 - \gamma_s^{(k)} \quad (s = 1, 2, 3, 4; \quad k = 1, m),$$

где $\gamma_s^{(k)}$ – числа, принимающие значения, равные единице, если S -я компонента вектора $\vec{y}(\alpha, \beta)$ задана, и равна нулю, если не задана.

Метод решения отмеченной задачи применительно к строительным конструкциям изложен в работе [1], а применительно к железнодорожным цистернам – в [2]. В настоящем докладе предлагается алгоритм решения задачи на основании доказанной в [3] теоремы, позволяющий сохранить для рассматриваемых конструкций емкую ортогональную прогонку, но существенно снизить требования к объему памяти и времени решения задачи.

Известно, что краевая задача напряженно-деформированного состояния оболочки вращения после конечно-разностной аппроксимации производных может быть сведена к системе неоднородных линейных алгебраических уравнений, которая в матричной форме записи имеет достаточно простую форму [1]:

$$\bar{y}_{i+1} = D_i \bar{y}_i + f_i, E_0 \bar{y}_0 = \bar{0}, E_n \bar{y}_n = \bar{0}, (i = 1, 2, \dots, n-1). \quad (1)$$

Здесь векторы имеют размерность $8 \times m$, матрица D_i – порядок $(8 \times m) \times (8 \times m)$, а матрицы E_0, E_n – порядок $(4 \times m) \times (8 \times m)$. В работе через i, n и j, m обозначены текущие номера и число узлов соответственно в меридиональном и окружном направлениях.

Для матрицы D_i характерно свойство, присущее моделям рассматриваемого класса оболочек, а именно для оболочек вращения с постоянными геометрическими и физическими характеристиками вдоль окружной координаты и переменными вдоль меридиональной. Это свойство при аппроксимации производных симметричными конечными разностями позволяет формировать матрицы путем выполнения p ($p = 1, 2, \dots, m-1$) круговых перестановок строк и в том же направлении p круговых перестановок столбцов матрицы. Для формализованной записи отмеченного свойства матрицы целесообразно ввести блочную матрицу перестановки $E_{(1)}$ порядка $(8 \times m) \times (8 \times m)$ и транспонированную ей матрицу $E_{(1)}^T$. Легко показать, что

$$E_{(1)} D_i E_{(1)}^T = D_i \quad \text{и} \quad E_{(i)}^T D_i E_{(i)} = D_i. \quad (2)$$

Обозначим через

$$E_{(2)} = E_{(1)} E_{(1)}, E_{(3)} = E_{(2)} E_{(1)}, \dots, E_{(m-1)} = E_{(m-2)} E_{(1)}, E_{(0)} = E.$$

Тогда будут справедливы соотношения:

$$E_{(j)} = D_i E_{(j)}^T, E_{(j)}^T D_i E_{(j)}, (j = 1, 2, \dots, m-1). \quad (3)$$

С учетом свойств матрицы сеточных уравнений целесообразно при построении вычислительного алгоритма применить метод прогонки, который предусматривает поиск решения системы (1) в виде [1]:

$$\bar{y}_i = u_i^{(0)} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^4 b^{(j,k)} \bar{u}_i^{(j,k)}. \quad (4)$$

Векторы в начальном узле задаются из условий ортогональности и удовлетворению граничному условию

$$E_1 \bar{u}_0^{(0)} = \bar{0}, E_1 \bar{u}_0^{(j,k)} = \bar{0}. \quad (5)$$

а неизвестные коэффициенты $b^{(j,k)}$ подлежат определению из требования удовлетворения граничному условию на втором торце оболочек

$$E_n \bar{y}_n = E_n \left(u_n^{(0)} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^4 b^{(j,k)} \bar{u}_n^{(j,k)} \right) = \bar{0}. \quad (6)$$

При выборе векторов в начальном узле кроме удовлетворения условию (5) накладывается дополнительное условие

$$\bar{u}_0^{(j+1, k)} = E_{(j)} \bar{u}_0^{(1, k)}.$$

Следует заметить, что матрица $E_{(j)}$ является унитарной, а поскольку все элементы унитарной матрицы вещественны, то она является ортогональной матрицей [3]. Тогда будут справедливы равенства

$$E_j E_j^T = E_j^T E_j = E_j E_j^{-1} = E,$$

где E_j^{-1} – обратная матрица. С помощью начальных векторов процесс численного решения сеточного аналога (1) краевой задачи по определению напряженно-деформированного состояния оболочки строится следующим образом. Последовательно в узлах $i = 1, 2, \dots, n$ вычисляются векторы

$$u_i^0, \bar{u}_i^{j,k} \quad (j = 1, 2, \dots, m \quad k = 1, 2, 3, 4) \text{ по соотношениям}$$

$$u_i^{(0)} = D_{i-1} \vec{u}_{i-1}^{(0)} + f_i; \quad u_i^{(j,k)} = D_{i-1} \vec{u}_{i-1}^{(j,k)}. \quad (7)$$

Вместе с тем в [3] показано, что вычислять все векторы (7) не имеет смысла, что тогда вычисления существенно упрощаются. Это утверждение базируется на теореме [3]. В докладе приводится сравнение результатов исследования напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки железнодорожной цистерны, закрепленной на части окружности и испытывающей неравномерно распределенную инерционную нагрузку по алгоритму [2] и по предлагаемому алгоритму.

Список литературы

- 1 Герасименко, П. В. Об одном численном методе решения задач статики оболочек вращения / П. В. Герасименко, Г. А. Павлов // Прикладная механика. – 1980. – Т. 16. – № 5. – С. 62–66.
- 2 Герасименко, П. В. Численный алгоритм исследования напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек железнодорожных цистерн / П. В. Герасименко, В. А. Ходаковский // Вестник СПбГУ. Математика. Механика. Астрономия. – 2019. – Т. 6 (64). – Вып. 2. – С. 308–317.
- 3 Gerasimenko, P. V. Optimization of orthogonalization procedure of vectors at the solution of the shells equations by the grid method. Analytic Methods of Analysis and Differential Equations AMADE 2009 ; ed. by. S.V. Rogosin. – 2012. – С. 19–24.

УДК 621.332.3

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ МАСКИ ГОЛОВНОГО ВАГОНА МОДЕЛИ 62-4497 ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ПРИГОРОДНОГО СЛЕДОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ТИПА ЭГ2ТВ МОДЕЛИ 62-4496

В. А. ГРИБИН, Е. В. СОРОКИНА, К. П. ГУРЬЯНОВ
АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

ЭГ2Тв (электропоезд городской, 2-й тип, Тверской), известный под названием «Иволга», – электропоезд, созданный ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ») в 2014 году как родоначальник базовой универсальной платформы российских электропоездов нового поколения. Электропоезд предназначен для внутригородских и пригородных пассажирских перевозок на железных дорогах колеи 1520 мм, электрифицированных постоянным током напряжения 3 кВ, на участках, оборудованных высокими платформами

Все поезда поступили в собственность Центральной пригородной пассажирской компании для эксплуатации на радиальных направлениях Московского железнодорожного узла.

Во время эксплуатации ЭГ2Тв претерпел много изменений. В 2020 г. ООО «Фабрика композитов» (ООО «ФК»), являющимся партнером ОАО «ТВЗ» в производстве ЭГ2Тв «Иволга», был реализован новый дизайн кабины машиниста. Специалистами ООО «ФК» изменено посадочное место буферных фонарей, за счет чего поменялась форма фар, геометрия капота и добавлено декоративное освещение внешней части кабины машиниста. Всё вместе делает визуальный образ состава более динамичным и отвечающим мировым тенденциям дизайна городского электротранспорта.

В августе 2020 года специалистами АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ») по разработанным и согласованным в установленном порядке методикам были проведены типовые испытания обновленных светосигнальных приборов на соответствие требованиям стандарта [1].

Для освещения железнодорожного пути и контактного провода на лобовой части головных вагонов электропоездов установлены прожекторы, которые обеспечивают осевую силу света в пределах от $6,4 \times 10^5$ до $9,6 \times 10^5$ кд, угол рассеяния от оси в пределах 0,1 осевой силы света в вертикальной и горизонтальной плоскостях – не менее 3° . Схема включения прожектора обеспечивает возможность включения режима «яркий свет» с осевой силой в пределах от $6,4 \times 10^5$ до $9,6 \times 10^5$ кд и режима «тусклый свет», обеспечивающего силу света в пределах от $0,7 \times 10^5$ до $1,2 \times 10^5$ кд.