

Н.В. Анциферова¹, И.Ю. Ермоленко¹

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

ВЫЧИСЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ЧЕТЫРЕХОСНОГО ВАГОНА. ОПЫТ «СБРОС С КЛИНЬЕВ»

Аннотация. В статье представлено воспроизведение на математической модели экипажа опыта «сброс с клиньев» для определения собственных частот колебаний и коэффициентов демпфирования.

Ключевые слова: вагон, собственные частоты, форма колебаний, динамические испытания.

N.V. Antsiferova¹, I.Yu. Ermolenko¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

CALCULATION OF OWN FREQUENCIES OF A FOUR-AXLE WAGON. WEDGE DISCHARGE EXPERIENCE

Abstract. The article presents the reproduction on the mathematical model of the crew of the experiment "dropping from wedges" to determine the natural frequencies of vibrations and damping coefficients.

Keywords: wagon, natural frequencies, mode shape, the dynamic test.

Введение

Железнодорожная промышленность отвечает за массовую транспортировку огромного количества грузов. Потребности железнодорожной отрасли существенно изменились за последние годы. В современной технической литературе уделяется много внимания вопросам увеличения скоростей и нагрузок, обеспечение безопасности перевозок, а также разработка новых и сравнение существующих методов испытаний широкого спектра вагонов и их компонентов. Прежде всего, вагон является сложной механической системой с большим количеством степеней свободы, что при движении по рельсовому пути возникает два основных типа колебаний: собственные (свободные), вынужденные.

После проектирования вагона, выполнения необходимых прочностных и динамических расчетов обычно на заводе изготавливают два опытных экземпляра. С целью установления соответствия опытных образцов вагонов требованиям технического задания и нормативных документов проводят их предварительные испытания.

Среди серии испытаний выполняется экспериментальная оценка собственных частот колебаний экипажа с помощью специального опыта, который для упрощения называют «сброс экипажа с клиньев» [1-2].

Опыт «сброс с клиньев»

Данный опыт основан на возбуждении таких форм колебаний вагона, по которым можно определить колебания основных масс экипажа по координатам Z_k , φ_{yk} , Z_{m1} , φ_{yt1} , Z_{m2} , φ_{yt2} .

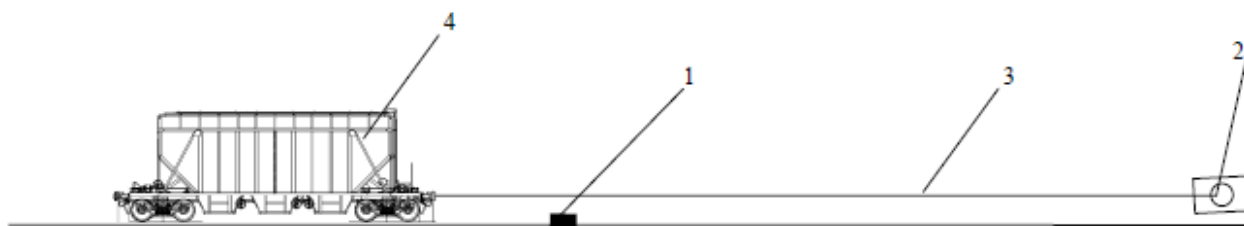


Рис. 1. Схема проведения испытаний по сбросу вагона с клиньев в эксплуатации
1 – улавливающий тормозной башмак; 2 – лебедка; 3 – трос лебедки; 4 – испытуемый вагон

Форма колебаний представляет собой отклонение масс экипажа от положения равновесия при их колебаниях с одной из собственных частот. Теоретически в данной системе возможны шесть форм колебаний, но для практических целей экспериментально трудно возбудить точно все формы колебаний. Для численной оценки значений основных собственных частот колебаний достаточно возбудить часть собственных форм колебаний. Возбуждение собственных частот колебаний осуществляется путем наезда колес КП вагона с незначительной скоростью (до 5 км/ч) на специальные металлические приспособления в форме клиньев и последующего падения колес на рельс (рис. 2.). В результате происходит удар бандажей колес о поверхность головки рельса и возбуждается колебания всего вагона. Для того чтобы возбудить требуемую форму колебаний необходимо располагать клинья перед колесами.

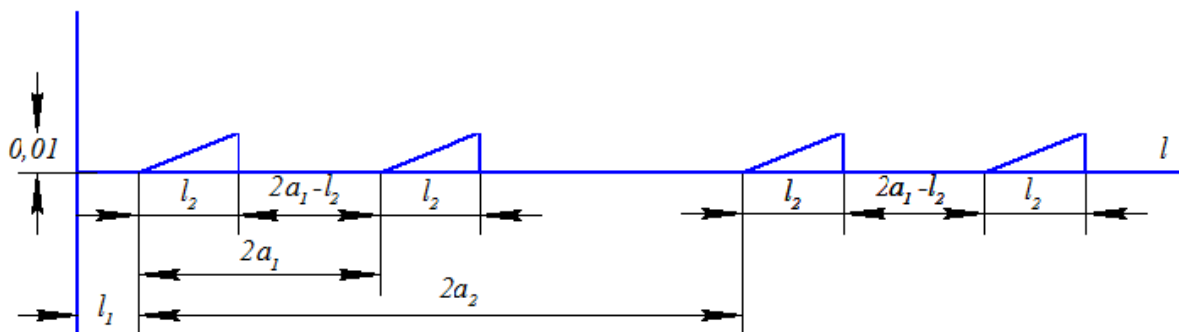
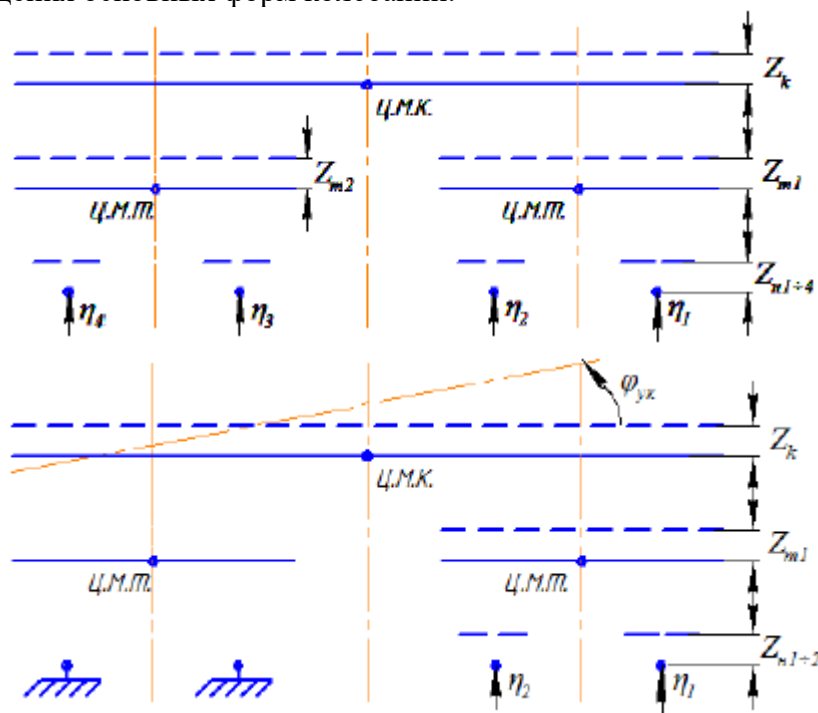


Рис. 2. Формы клиньев, их размеры и расположение для возбуждения первой формы колебаний

На рисунке 2 показаны схемы расположения клиньев ($l_1 = 0,5$; $l_2 = 0,35$; $l_3 = 2a_1 - l_2$; $l_4 = l_2$; $l_5 = 0,5$; $l_6 = l_1 + 2a_2$) для возбуждения основных форм колебаний. По зарегистрированным соответствующим колебаниям можно получить оценки частот и коэффициентов демпфирования.

Для этого необходимо по записям затухающих колебаний перемещений или скоростей перемещений определить период колебательных процессов T и с помощью формулы $f = 1/T$ вычислить собственную частоту колебаний в Гц. На рисунке 3 представлены схемы для возбуждения основных форм колебаний.



Первая форма колебаний

Форма колебаний для оценки собственной частоты колебаний по φ_{yx} и Z_{t1}

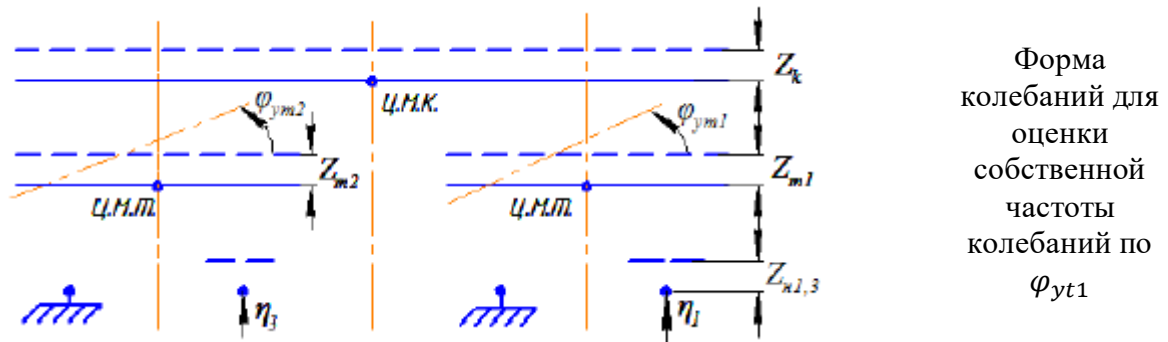


Рис. 3. Схемы расположения клиньев для возбуждения основных форм колебаний, по которым можно оценивать собственные частоты

Математическое описание модели вагона

Для того чтобы провести аналогичный опыт «сброс с клиньев» (рис. 1), представим испытуемый вагон в виде расчетной схемы (рис. 4), обозначив перемещения кузова в системе координат и перемещение ходовых частей в парциальной системе координат, а также определим основные формы колебаний [3-4].

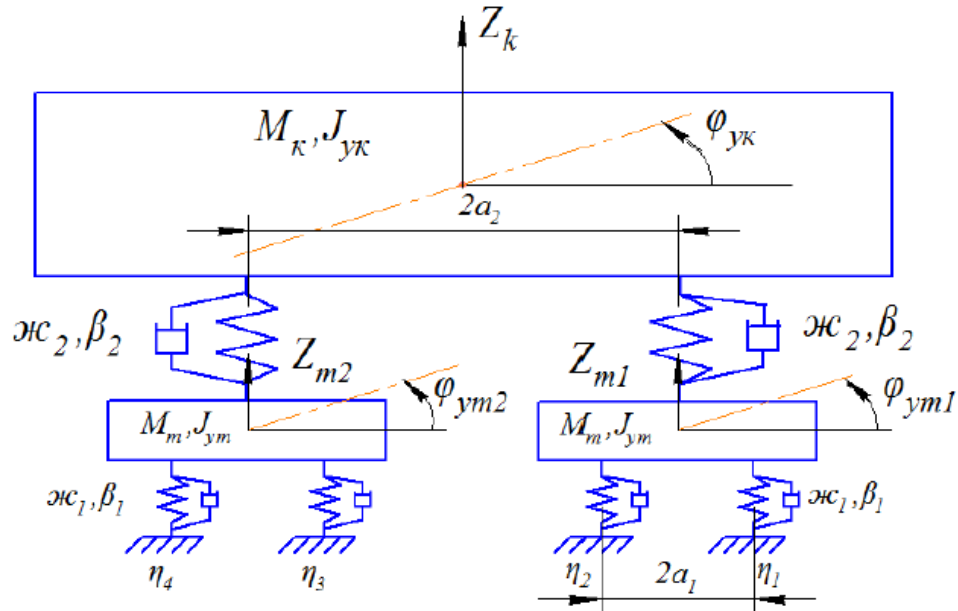


Рис. 4. Расчетная схема модели четырехосного вагона

Система дифференциальных уравнений, описывающих колебания экипажа по координатам $z_k, \varphi_{yk}, z_{m1}, \varphi_{yt1}, z_{m2}, \varphi_{yt2}$:

$$1) M_k \ddot{z}_k + \beta_2 (\dot{z}_k + \alpha_2 \dot{\varphi}_{yk} - \dot{z}_{t1}) + ж_2 (z_k + \alpha_2 \varphi_{yk} - z_{t1}) + \beta_2 (\dot{z}_k - \alpha_2 \dot{\varphi}_{yk} - \dot{z}_{t2}) + ж_2 (z_k - \alpha_2 \varphi_{yk} - z_{t2}) = 0$$

$$2) J_{yk} \ddot{\varphi}_{yk} + \beta_2 \alpha_2 (\dot{z}_k + \alpha_2 \dot{\varphi}_{yk} - \dot{z}_{t1}) + ж_2 \alpha_2 (z_k + \alpha_2 \varphi_{yk} - z_{t1}) - \beta_2 \alpha_2 (\dot{z}_k - \alpha_2 \dot{\varphi}_{yk} - \dot{z}_{t2}) - ж_2 \alpha_2 (z_k - \alpha_2 \varphi_{yk} - z_{t2}) = 0$$

$$3) M_t \ddot{z}_{t1} - \beta_2 (\dot{z}_k + \alpha_2 \dot{\varphi}_{yk} - \dot{z}_{t1}) - ж_2 (z_k + \alpha_2 \varphi_{yk} - z_{t1}) + \beta_1 (\dot{z}_{t1} - \alpha_1 \dot{\varphi}_{yt1} - k_1 \dot{\eta}_1) + ж_1 (z_{t1} - \alpha_1 \varphi_{yt1} - k_1 \eta_1) + \beta_1 (\dot{z}_{t1} - \alpha_1 \dot{\varphi}_{yt1} - k_2 \dot{\eta}_2) + ж_1 (z_{t1} - \alpha_1 \varphi_{yt1} - k_2 \eta_2) = 0$$

$$4) J_{yt} \ddot{\varphi}_{yt1} + \beta_1 \alpha_1 (\dot{z}_{t1} + \alpha_1 \dot{\varphi}_{yt1} - k_1 \dot{\eta}_1) + ж_1 \alpha_1 (z_{t1} + \alpha_1 \varphi_{yt1} - k_1 \eta_1) - \beta_1 \alpha_1 (\dot{z}_{t1} - \alpha_1 \dot{\varphi}_{yt1} - k_2 \dot{\eta}_2) - ж_1 \alpha_1 (z_{t1} - \alpha_1 \varphi_{yt1} - k_2 \eta_2) = 0$$

$$5) M_t \ddot{z}_{t2} - \beta_2 (\dot{z}_k + \alpha_2 \dot{\varphi}_{yk} - \dot{z}_{t2}) - ж_2 (z_k + \alpha_2 \varphi_{yk} - z_{t2}) + \beta_1 (\dot{z}_{t2} - \alpha_1 \dot{\varphi}_{yt2} - k_3 \dot{\eta}_3) + ж_1 (z_{t2} - \alpha_1 \varphi_{yt2} - k_3 \eta_3) + \beta_1 (\dot{z}_{t2} - \alpha_1 \dot{\varphi}_{yt2} - k_4 \dot{\eta}_4) + ж_1 (z_{t2} - \alpha_1 \varphi_{yt2} - k_4 \eta_4) = 0$$

$$6) J_{yt}\ddot{\varphi}_{yt2} + \beta_1\alpha_1(z_{t2} + \alpha_1\dot{\varphi}_{yt2} - k_3\dot{\eta}_3) + \alpha_1\alpha_1(z_{t2} + \alpha_1\varphi_{yt2} - k_3\eta_3) - \beta_1\alpha_1(z_{t2} - \alpha_1\dot{\varphi}_{yt2} - k_4\dot{\eta}_4) - \alpha_1\alpha_1(z_{t2} - \alpha_1\varphi_{yt2} - k_4\eta_4) = 0$$

Результаты расчета представлены на рисунках 5-6.

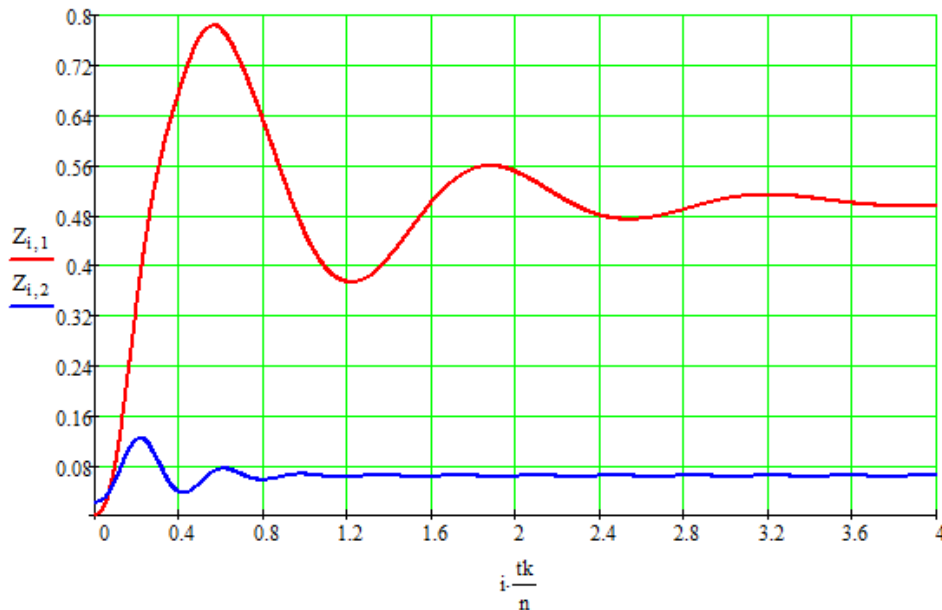


Рис. 5. Свободные колебания подпрыгивания (красная линия) и галопирования (синяя линия) кузова вагона

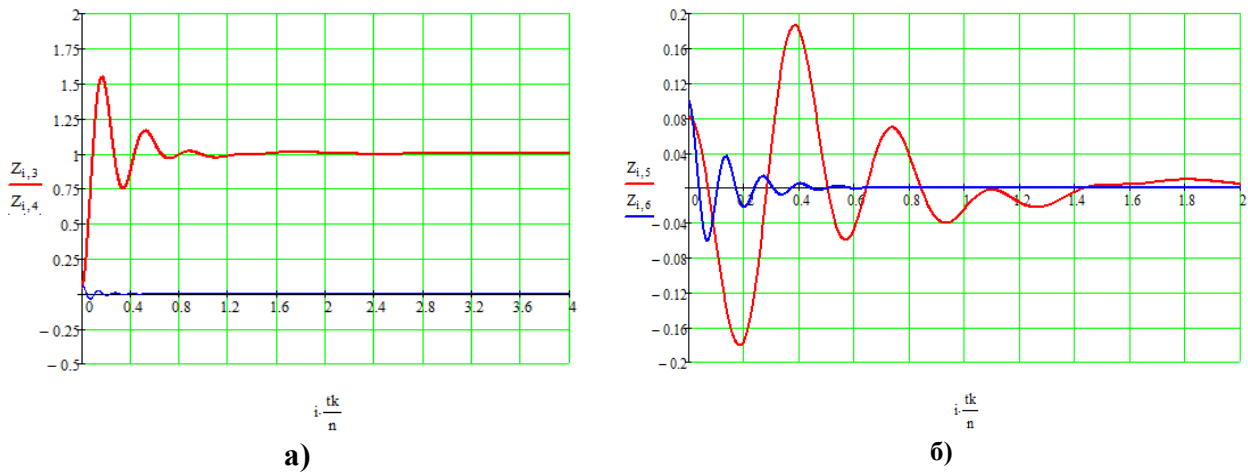


Рис. 6. Свободные колебания подпрыгивания (красная линия) и галопирования (синяя линия) тележек вагона

а – первая по ходу движения; б – вторая по ходу движения

Далее нужно выполнить обработку графика свободных колебаний для получения координат двух точек отстоящих, на величину одного периода на графике, изображающих свободные колебания (рис. 5). Для этого нужно использовать средства MathCAD, позволяющие измерять на графиках значения координат любых точек. Указать на графике требуемую точку с максимальной ординатой и в строках X и Y появятся значения координат этой точки, которые нужно записать.

Например: $A1=0,78909$; $A2=0,55969$; $T1=0,559$; $T2=1,876$. Также необходимо измерить координату, от которой будет производиться отсчет амплитуд измеряемых точек – $A0=0,494$.

Далее вычисляются собственная частота f , логарифмический декремент колебаний δ и относительный коэффициент демпфирования ζ по формулам:

$$f_{zk} = \frac{1}{(T2 - T1)} \quad (1)$$

$$\delta = \ln \left[\frac{(A1 - A0)}{(A2 - A0)} \right] \quad (2)$$

$$\xi = \frac{\delta}{2\pi} \quad (3)$$

Заключение

После произведенного эксперимента необходимо полученные значения сравнить с вычисленными значениями по параметрам модели и вычислить ошибки в процентах в соответствии с ГОСТ [5], а также сделать заключение о точности экспериментального определения собственных частот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов А.Н., Зверев М.В., Кузин С.Н., Гусев А.В. Оценка напряжений от силы тяжести брутто при сбросе вагонов с клиньев // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. X Международная научно-практическая конференция. Материалы конференции. 2015. С. 80-83.
2. Савельев Ю.Ф., Шевченко В.Я., Симак Н.Ю. Рессорное подвешивание подвижного состава, обеспечивающее повышение безопасности и скорости движения // Вестник СиБАДИ. 2015. №1 (41). С. 30-35.
3. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 1991. 360 с.
4. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. Д.: Новая идеология, 2002. 240 с.
5. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартиформ, 2016. 57 с

REFERENCES

1. Smirnov A.N., Zverev M.V., Kuzin S.N., Gusev A.V. Ocenka napryazhenij ot sily tyazhesti brutto pri sbrose vagonov s klin'ev [Estimation of stresses from gross gravity when dropping wagons from wedges]. *Podvizhnoj sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty. X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Materialy konferencii* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. X International Scientific and Practical Conference. Conference materials], 2015, pp. 80-83.
2. Savelyev Yu.F., Shevchenko V.Ya., Simak N.Yu. Ressornoe podveshivanie podvizhnogo sostava, obespechivayushchee povyshenie bezopasnosti i skorosti dvizheniya [Spring suspension of rolling stock, providing increased safety and speed of movement]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI], 2015, No. 1 (41). pp. 30-35.
3. Vershinsky S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dinamika vagona: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [Dynamics of the car: Textbook for universities of railway transport]. Moscow: Transport, 1991, 360 p.
4. Myamlin S.V. [Modeling the dynamics of rail crews]. Dnepropetrovsk: Novaya ideologiya, 2002, 240 p.
5. GOST 33211-2014. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [Freight wagons. Requirements for strength and dynamic properties]. Moscow: Standartinform, 2016, 57 p.

Информация об авторах

Анциферова Никита Вадимовна – студент гр. ПСЖ.4-18-1, кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: e: nika.n1k1@yandex.ru

Ермоленко Игорь Юрьевич – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ermolenko_iy@list.ru

Authors

Nikita Vadimovna Antsiferova – Student, Department of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: nika.n1k1@yandex.ru

Igor Yurievich Ermolenko – Ph.D. of Engineering Sciences, senior lecturer of the department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ermolenko_iy@list.ru

Для цитирования

Анциферова Н.В. Вычисление собственных частот четырехосного вагона. Опыт «сброс с клиньев» [Электронный ресурс] / Н.В. Анциферова, И.Ю. Ермоленко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №1 (11). – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

For citation

Antsiferova N.V., Ermolenko I.Yu. Vychislenie sobstvennyh chastot chetyrekhosnogo vagona. Opyt «sbros s klin'ev» [Calculation of own frequencies of a four-axle wagon. Wedge discharge experience]. Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 1 (11).