

interaction process of consolidations' elements of spherical type. There are established the laws of relative movements of flat and spherical surfaces of mating elements of spherical type's consolidations of multiroller rolling operating devices. There is presented a trajectory of relative movement of the flat mating surfaces of spherical consolidation.

Keywords: interoller gap, flanged or spherical consolidation, mating elements, law of movement, a trajectory.

References

1. Bobylev L. M., Bobylev A. L., Svirshhevskij V. K. *Raskatchik dlja ustrojstva nabivnyh svaj* [Roller for arranging grouted piles]. Patent RF, no 1764518, 1992.
2. Bobylev A. L., Bobylev L. M., Docenko A. I., Prohorenko G. K. *Raskatchik dlja obrazovaniya skvazhin v grunte* [Roller for forming wells in soil]. Patent RF, no 2383687, 2010.
3. Lis V., Ponomarenko Y. E., Lis M. Obektivnye faktory, sderzhivajushhie vnedrenie metoda uplotneniya grunta raskatyvaniem [The objective factors constraining the introduction of soil consolidation's method using rolling]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2011, no 1. pp. 20-24.
4. Svirshhevskij V. K. *Prohodka skvazhin v grunte sposobom raskatki* [Advancing wells in soil using rolling]. Novosibirsk, Nauka, 1982. 121 p.

5. Lis V. *Razrabotka konstrukcii i obosnovanie osnovnyh parametrov raskatyvajushhego rabocheho organa dlja prohodki skvazhin v grunte: dis. kand. tehn. nauk* [Development of a construction and justification of main parameters of a rolling operating device for advancing wells in soil: dis. cand. tech. science]. Omsk, 2005. 182 p.

6. Lis V., Ponomarenko Y. E., Lis M. Objective factors constraining introduction of a method of consolidation of soil a raskatyvaniye [The objective factors constraining introduction of a method of soil consolidation using rolling]. *Construction and road cars*, no. 1. pp. 20-24.

7. Targ S. M. *Kratkij kurs teoreticheskoj mehaniki: uchebnik dlja vtuzov* [Brief course of theoretical mechanics: textbook for technical universities]. Moscow, Vysshaja shkola, 1986. 416 p.

8. Beklemishev D. V. *Kurs analiticheskoj geometrii i linejnoj algebry: uchebnik dlja vuzov* [Course of analytical geometry and linear algebra: textbook for higher education institutions]. Moscow, Nauka, 1987. 320 p.

Лис Виктор (Германия, Mittelbiberach) – кандидат технических наук (88441, Mittelbiberach, Germany, e-mail: vidalis@kabelbw. de)

Lis Victor (Germany, Mittel) - candidate of technical sciences (88441, Mittelbiberach, Germany, e-mail: vidalis@kabelbw. de)

УДК 629.4.015

РЕССОРНОЕ ПОДВЕШИВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Ю. Ф. Савельев, В. Я. Шевченко, Н. Ю. Симак

Омский государственный университет путей сообщений (ОмГУПС), Россия, г. Омск

Аннотация. В работе представлены обобщающие результаты исследований состояния современно-типового рессорного подвешивания железнодорожных экипажей. На основании опыта эксплуатации отечественного и зарубежного подвижного состава сделан вывод о необходимости модернизации его рессорного подвешивания в современных условиях. Предложены новые принципиальные конструктивные схемы виброзащитных устройств для различных типов подвижного состава.

Ключевые слова: подвижной состав, виброзащита, рессорное подвешивание, модернизация, конструкции.

Введение

Конструкция рессорного подвешивания типового подвижного состава в настоящее время не обеспечивает полную безопасность движения, особенно при коммерческих требованиях увеличения скорости доставки грузов. Этот недостаток присущ всем типовым конструкциям и не зависит от проектировщиков. Причины неэффективности

типового рессорного подвешивания в основном связаны с невозможностью получить достаточно мягкое подвешивание, обеспечивающее заданные габариты и несущую способность. Проблему не решает двухъярусное, и даже трехъярусное подвешивание подвижного состава. В современных условиях к подвешиванию предъявляются следующие основные

требования: оно должно обладать почти нулевой жесткостью в зоне рабочих прогибов с плавным возрастанием жесткости при увеличении прогибов; быть компактным, надежным и долговечным в различных условиях эксплуатации, иметь низкую себестоимость. Традиционное подвешивание не может обеспечить выполнения этих требований. Необходимы принципиально новые способы виброзащиты подвижного состава.

Не вдаваясь в подробности теоретических исследований и конструктивных решений, отметим, что наряду с большой эффективностью активные системы имеют ряд существенных недостатков: они сложны конструктивно, дорогостоящие и не всегда надежны в эксплуатации. В настоящее время нет реальной конструкции активной системы, которая бы удовлетворяла всем требованиям по защите подвижного состава железных дорог от вибрации.

Анализ зарубежной и отечественной литературы свидетельствует о больших технических возможностях пневматических упругих элементов в подвесках грузовых автомобилей, прицепах и полуприцепах. Достоинства подвески здесь определяются следующими обстоятельствами:

1) подвеска имеет нелинейную характеристику с малой жесткостью и повышенной энергоемкостью при статической нагрузке;

2) позволяет использовать различные системы регулирования под вес, габариты при сохранении плавности хода; обладает достаточной надежностью – подвески грузовых автомобилей имеют высокую долговечность, соизмеримую с амортизационным пробегом машины, практически не требуют обслуживания и ремонта.

Эти качества пневмоподвешивания автомобилей стали определяющими при выборе перспективного способа виброзащиты подвижного состава железных дорог.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что пневматические системы рессорного подвешивания локомотивов и вагонов дают возможность устранить недостатки, которыми обладают существующие системы и решить ряд других технически необходимых для подвижного состава задач.

В настоящее время активно ведутся работы по внедрению пневматического

подвешивания, как за рубежом, так и у нас в стране.

Из анализа современных конструктивных схем пневмоподвешивания подвижного состава следует, что практически с его помощью можно реализовать минимальную жесткость, равную 40 – 50 кГс/м. Жесткостная характеристика имеет плавную (почти линейную) зависимость, поэтому при возрастании прогибов (проезд кривых малого радиуса) возможен большой наклон кузова или даже опрокидывание локомотива. Для предотвращения этого в конструкцию устанавливают запорный маятник или используют ограничительные упоры.

При всех очевидных достоинствах пневматического рессорного подвешивания у него, как и у любой конструкции, есть ряд недостатков:

1) ограничена возможность снижения жесткости по условиям габаритов и компоновки до 40 – 50 кГс/м;

2) надежность работы подвижного состава зависит от надежности пневмоподвешивания.

Натурные исследования свидетельствуют о недостаточной долговечности РКО на основе диафрагменных рессор (диафрагма работает в сложных изгибопеременных условиях). Этот недостаток диафрагменных рессор, по-видимому, является причиной того, что в настоящее время основным типом рессор в конструкциях пневмоподвешивания вагонов зарубежных железных дорог применяются пневмобаллоны, отличающиеся большой долговечностью, но явно уступающие диафрагменным по простоте и функциональным возможностям;

3) опыт эксплуатации западно-европейских железных дорог показал целесообразность установки пневмоподвешивания во вторую ступень подвешивания, что также ограничивает его достоинства;

4) как свидетельствуют результаты исследования, одним из важных вопросов, решаемых при использовании пневмоподвешивания на пассажирских вагонах, является снабжение пневморессор сжатым воздухом. Опыт показал, что при выполнении торможения состава, давления в магистрали явно не достаточно для нормальной работы пневмоподвески. Необходимо наличие второй воздушной магистрали параллельно основной;

5) сложные климатические условия России, особенности эксплуатации подвижного состава (в основном на самых грузонапряженных в мире путях – «восток – запад») требуют от него безусловной надежности и безаварийности. Пневмоподвешивание, в отличие от традиционного, все-таки в полной мере не обладает стабильными прочностными и эксплуатационными характеристиками.

Описание виброзащитной системы с «перескоком»

Перспективным направлением виброзащиты подвижного состава является конструкция, которая использует типовую подвеску плюс механические упруго-рычажные устройства, имеющие силовую характеристику с отрицательной зоной упругости [1].

Конструкция подвески состоит из двух устройств: основного и дополнительного. Основным является типовая подвеска в виде пружин, листовых рессор или торсионов. Роль дополнительного устройства играют упругие элементы, установленные параллельно основному и совмещающие следящий и силовой механизмы. Принципиальная колебательная система с виброзащитным устройством изображена на рисунке 1.

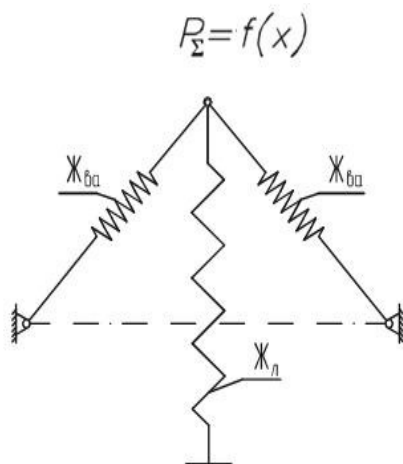


Рис. 1. Принципиальная виброзащитная система с «перескоком»

Совместная работа пружин и устройства с «перескоком» позволяет получить суммарную нелинейную характеристику подвески (рис.2).

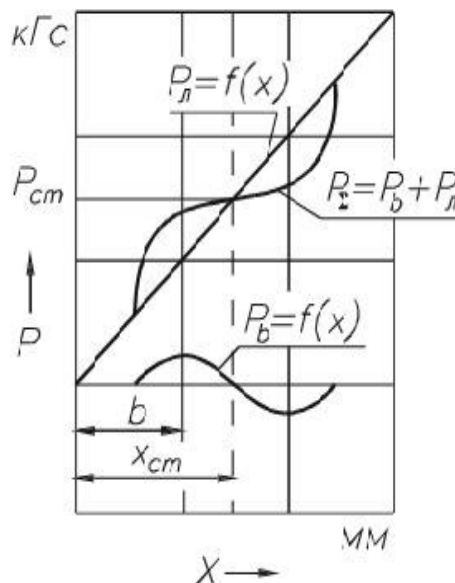


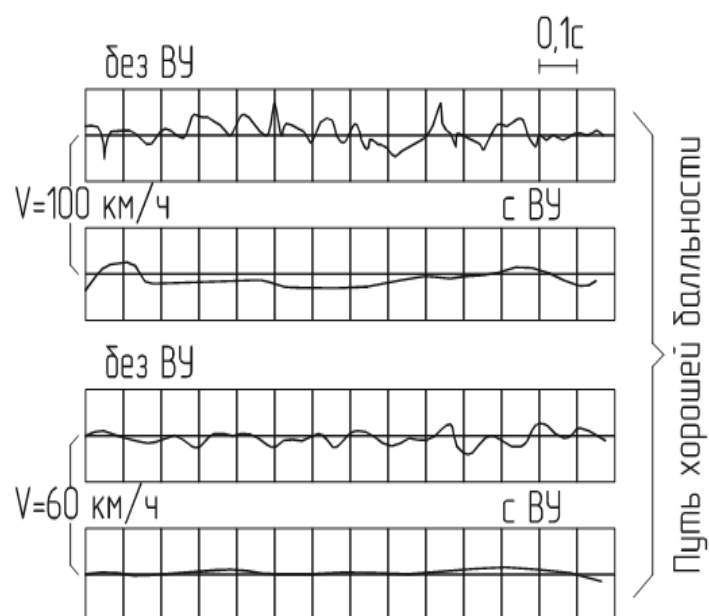
Рис. 2. Силовая характеристика виброзащитной системы

Такие устройства исследованы, разработаны и установлены на электровозе ВЛ10-019, прошли натурные испытания на действующих путях Зап-Сиб. ж.д. Получен положительный эффект – динамическое воздействие на тележку и кузов локомотива снижено в 2-3 раза [2, 6-8].

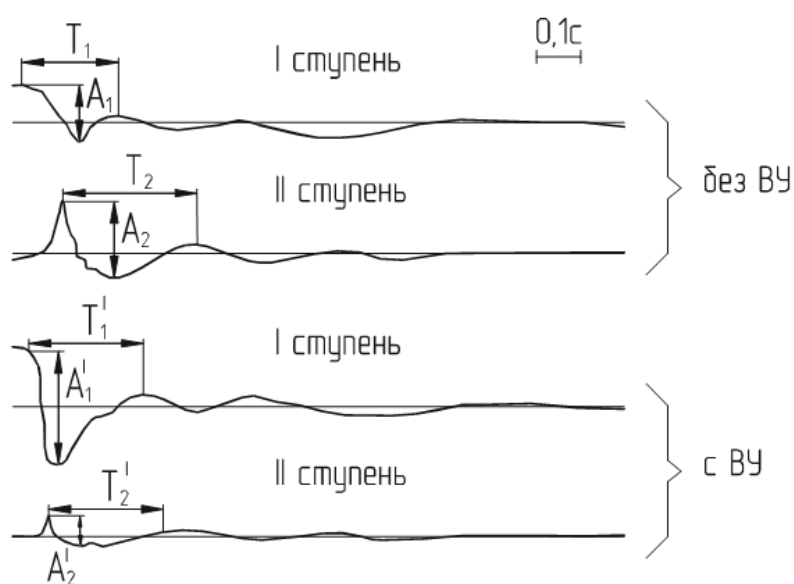
Копии осциллограмм по прогибам второй ступени подвешивания электровоза представлены на рисунке 3 (а). Характерным для них является то, что прогибы подвески с установкой ВУ имеют более «спокойный» характер изменения.

Проведенные кафедрой «Путь и путевое хозяйство» Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта путевые испытания электровоза ВЛ10У-019, оборудованного ВУ, показали, что воздействие его на путь снижено примерно на 8 – 10%.

Копии осциллограмм прогибов первой и второй ступени подвешивания при сбросе локомотива с клиньев ($h = 30$ мм) представлены на рисунке 3 (б).



а – Копии осциллограмм второй ступени подвески электровоза



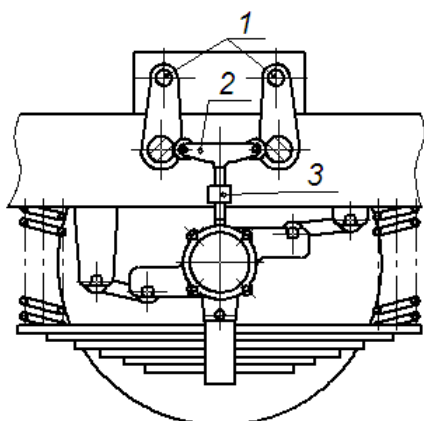
б – Свободные колебания локомотива при сбросе колесных пар с клиньев ($h = 30$ мм)

Рис. 3. Копии осциллограмм прогибов первой и второй ступени подвешивания электровоза

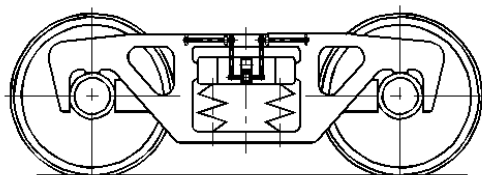
Анализ осциллограмм показывает, что виброзащитные устройства, установленные в первую ступень подвески, увеличивают прогибы этой ступени и подтверждают, что собственные частоты колебаний локомотива снижаются.

Заключение

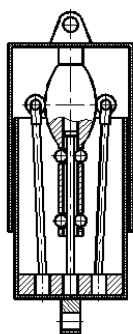
На основании комплекса проведенных исследований [3, 9-12] выполнены конструкторские проработки виброзащитных устройств [4-5] для электровозов (рис. 4а), грузовых (рис. 4б), и пассажирских вагонов (рис. 4в).



а – Схема установки дополнительного устройства в подвеску электровоза 1-торсионы; 2-роликовый блок; 3-регулирующее устройство



б – Схема установки дополнительного устройства в тележку грузового вагона 1-торсионы; 2-роликовый блок



в – Конструкция и схема установки дополнительного устройства в подвеску пассажирского вагона 1-рама тележки; 2-опорная балка кузова; 3-дополнительное устройство

Рис. 4. Конструкторские проработки виброзащитных устройств

Проектные разработки заинтересованных организаций совместно с авторами разработчиками таких устройств позволили бы создать принципиально новый способ виброзащиты подвижного состава, улучшив его динамические качества и, как следствие, существенно повысить скорость и безопасность движения.

Библиографический список

1. Галиев, И. И. Эффективная виброзащита подвижного состава и экипажа на основе упругих систем со знакопеременной упругостью / И. И. Галиев, Ю. Ф. Савельев, В. Я. Шевченко, Н. Ю. Симак // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 2. – С. 57-59.
2. Савельев, Ю. Ф. Виброзащита подвижного состава и экипажа на основе механических устройств со знакопеременной упругостью: монография / Ю. Ф. Савельев, Н. Ю. Симак; Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2010. – 131 с.
3. А.с. 49299 СССР. Устройство для уменьшения механических колебаний транспортного средства / М. П. Пахомов, А.Л. Осинковский, В. Г. Бухольц, Ю. Ф. Савельев. – № 2270118; опубл. 05.12.75, Бюл. № 45.
4. Пат. 2270118 РФ, С2 В61F 5/06. Устройство для уменьшения колебаний грузового вагона / И.И. Галиев, Ю.Ф. Савельев, В.А. Нехаев, В.Я. Шевченко, Н.Ю. Симак / № 2004111367/11; опубл. 20.02.2006, Бюл. № 5.
5. Пат. 2505437 РФ, С2 В61F 5/00 / Устройство для уменьшения колебаний пассажирского вагона / Ю. Ф. Савельев, Н. Ю. Симак, Е. А. Черников / № 2012111033/11; опубл. 27.01.2014. Бюл. № 3.
6. Елисеев, С. В. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. – 523 с.
7. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы / Д. П. Ким. – М.: Физматлит, 2003. – 288 с.
8. Вершинский С. В. Динамические характеристики центрального рессорного подвешивания пассажирских вагонов с наклонными элементами / С. В. Вершинский, И. С. Доронин // Исследование динамики вагонов, Тр. ВНИИЖТа. – 1965. – вып. 307. – С. 100-120.
9. Грачев, В. Ф. Плоские колебания сочлененных тележечных поездов с одинарным подвешиванием / В. Ф. Грачев // Исследование колебаний подвижного состава, Тр. ДИИТа. – 1974. – вып. 158. – С. 90-93.
10. Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – М.: Транспорт, 1978. – 352 с.
11. Камаев, В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава / В. А. Камаев. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.

12. Кальянов, В. И. Комбинированное демпфирование вертикальных колебаний локомотивов с пневматической рессорой в центральной ступени / В. И. Кальянов // Динамика и прочность локомотивов, Тр. ВНИИЖТа. – 1977. – вып. 574. – С. 28-35.

THE SPRING SUSPENSION OF A ROLLING STOCK PROVIDING SAFETY IMPROVEMENT AND INCREASE OF RUNNING SPEED

Y. F. Saveliev, V. Y. Shevchenko, N. Y. Simak

Abstract. The article dwells upon generalizing researches' results of a condition of modern and standard spring suspension of railway carriages. On the basis of operation's experience of domestic and foreign rolling stock there is drawn a conclusion on need of modernization of its spring suspension in modern conditions. The authors present new fundamental constructive diagrams of vibroprotection devices for various types of a rolling stock.

Keywords: rolling stock, vibroprotection, spring suspension, modernization, structures.

References

- Galiev I. I., Saveliev Y. F., Shevchenko V. Ja., Simak N. Y. *Jefferektivnaja vibrozashhita podvizhnogo sostava i jekipazha na osnove uprugih sistem so znakoperemennoj uprugost'ju* [Effective vibroprotection of a rolling stock and carriage on the basis of elastic systems with sign-variable elasticity]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2008, no 2. Pp. 57-59.
- Saveliev Y. F., Simak N. Ju. *Vibrozashhita podvizhnogo sostava i jekipazha na osnove mehanicheskikh ustrojstv so znakoperemennoj uprugost'ju: monografija* [Vibroprotection of a rolling stock and carriage on the basis of mechanical devices with sign-variable elasticity: monograph]. Omskij gos. un-t putej soobshhenija. Omsk, 2010. 131 p.
- Pahomov M. P., Osinovskij A.L., Bukholts V. G., Saveliev Y. F. *Ustrojstvo dlja umen'shenija mehanicheskikh kolebanij transportnogo sredstva* [The device for decreasing mechanical oscillations of vehicle]. A.c. no 2270118.
- Galiev I. I., Savel'ev Ju. F., Nehaev V. A., Shevchenko V. Y., Simak N. Y. *Ustrojstvo dlja umen'sh enija kolebanij gruzovogo vagona* [The device for decreasing fluctuations of a freight car]. Patent RF, no 2004111367/11.
- Saveliev Y.F., Simak N.Y., Chernikov E. A. *Ustrojstvo dlja umen'shenija kolebanij passazhirskogo vagona* [Device for decreasing fluctuations of a couch car]. Patent RF, 2012111033/11.
- Eliseev S. V. Reznik Ju. N., Homenko A. P., Zasjadko A. A. *Dinamicheskij sintez v obobshhennykh zadachah vibrozashhity i vibroizoljatsii tehniceskikh ob'ektov* [Dynamic synthesis in generalized problems of vibroprotection and vibroinsulation of technical objects]. Irkutsk, Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2008. 523 p.
- Kim D. P. *Teorija avtomaticheskogo upravlenija*. [Theory of automatic control]. Moscow, Fizmatlit, 2003. 288 p.

8. Vershinskij S. V. *Dinamicheskie harakteristiki central'nogo resornogo podveshivanija passazhirskih vagonov s naklonnymi jelementami* [Dynamic characteristics of central spring suspension of couch cars with inclined elements]. *Issledovanie dinamiki vagonov*, Tr. VNIIZhTa, 1965, no 307. Pp. 100-120.

9. Grachev V. F. *Ploskie kolebanija sochlenennyh telezhechnyh poezdov s odinarnym podveshivaniem* [Flat fluctuations of jointed bogie trains with single suspension]. *Issledovanie kolebanij podvizhnogo sostava*, 1974, no 158. Pp. 90-93.

10. Vershinskiy S. V., Danilov V. N., Chelnokov I. I. *Dinamika vagonov* [Dynamics of coaches]. Moscow, Transport, 1978. 352 pp.

11. Kamaev V. A. *Optimizacija parametrov hodovyh chastej zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Optimization of parameters of a rolling stock's running gears]. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 215 p.

12. Kalyanov V. I. *Kombinirovannoe dempfirovanie vertikal'nyh kolebanij lokomotivov s pnevmaticheskoy resoroy v central'noj stupeni* [The combined damping of vertical fluctuations of locomotives with a pneumatic spring suspension]. *Dinamika i prochnost' lokomotivov*, 1977, no 574. pp. 28-35.

Савельев Юрий Федорович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Начертательная геометрия и инженерная графика» Омского государственного университета путей сообщений (ОМГУПС). (644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35)

Шевченко Валерий Яковлевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент, Омского государственного университета путей сообщений (ОМГУПС). (644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35, e - mail: ShevchenkoVJa@omgups.ru)

Симак Надежда Юрьевна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент, Омского государственного университета путей сообщений (ОМГУПС). (644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35, e - mail: simaknu@mail.ru)

Saveliev Yuriy Fedorovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor, head of the department "Descriptive geometry and engineering graphics" of Omsk State Transport University. (644046, Omsk, Marks Ave., 35)

Shevchenko Valeriy Yakovlevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor, Omsk State Transport University. (644046, Omsk, Marks Ave., 35, e - mail: ShevchenkoVJa@omgups.ru)

Simak Nadezhda Yurievna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor, Omsk State Transport University. (644046, Omsk, Marks Ave., 35, e - mail: simaknu@mail.ru)