

УДК 613.6 : 667

DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-54-65

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА  
УСТАНОВЛЕНИЯ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ  
ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ВАЛА  
ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ***А. А. Короткий, Э. А. Панфилова,  
К. Л. Голубь*Донской государственный технический университет,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация[korot@novoch.ru](mailto:korot@novoch.ru)[korotkaya\\_elvira@mail.ru](mailto:korotkaya_elvira@mail.ru)[west.v10@mail.ru](mailto:west.v10@mail.ru)

Представлены результаты технической экспертизы эксцентрикового вала щековой дробилки СМД-111. Авторами описана процедура технической экспертизы установления причин разрушения вала, служащего для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и для передачи усилия через распорные плиты на подвижную щеку, которая является рабочим органом дробилки. Приводятся анализ исходных материалов и заключение о причине разрушения эксцентрикового вала щековой дробилки СМД-111.

**Ключевые слова:** техническая экспертиза, эксцентриковый вал, щековая дробилка СМД-111, причина разрушения, характер разрушения

**Введение.** Основным методом выявления причин разрушения элементов производственных объектов является техническая экспертиза [1–2]. В настоящей работе объектом экспертизы является эксцентриковый вал щековой дробилки СМД-111. Вал служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и для передачи усилия через распорные плиты на подвижную щеку, которая является рабочим органом дробилки. Эксцентриковый вал, выполняющий роль кривошипа, устанавливается в станину на двухрядные роликоподшипники [3]. На

UDC 613.6 : 667

DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-54-65

**TECHNICAL EXPERTISE TO  
ESTABLISH THE CAUSE OF  
FRACTURE OF JAW CRUSHER  
ECCENTRIC SHAFT***A. A. Korotkiy, E.A. Panfilova,  
K. L. Golub*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian  
Federation[korot@novoch.ru](mailto:korot@novoch.ru)[korotkaya\\_elvira@mail.ru](mailto:korotkaya_elvira@mail.ru)[west.v10@mail.ru](mailto:west.v10@mail.ru)

The article provides the results of technical expertise of the eccentric shaft of jaw crusher SMD-111. The authors describe the technical expertise procedure to establish the cause of fracture of the shaft which is used to convert rotary motion into reciprocating one and to transmit force through the toggle plate to the movable cheek, which is a working body of the crusher. The analysis of source materials and the report on the fraction cause of eccentric shaft of jaw crusher SMD-111 are provided.

**Keywords:** technical expertise, eccentric shaft of jaw crusher SMD-111, fracture cause, fracture pattern

**Introduction.** The main method of identifying fracture causes of the elements of production facilities is technical expertise [1-2]. In this paper the object of examination is an eccentric shaft of jaw crusher SMD-111. The shaft is used to convert rotary motion into reciprocating one and to transfer force through the toggle plate to the movable cheek, which is a working body of the crusher. Eccentric shaft, acting as a crank, is mounted on the base frame on double row roller bearings [3]. The crank is installed on the eccentric shaft journals using

эксцентриковые шейки вала, через аналогичные подшипники, устанавливается шатун. Вал приводится в движение электродвигателем через ременную передачу. Общий вид щековой дробилки СМД-111 представлен на рис. 1.

the same bearings. The shaft is driven by an electric motor through a belt drive. General view of the jaw crusher SMD-111 is shown in Fig. 1.



Рис. 1. Общий вид щековой дробилки СМД-111 после аварии

Fig. 1. General view of the jaw crusher SMD-111 after the breakdown

Краткая техническая характеристика объекта технической экспертизы приведена в таблице 1.

Brief technical characteristics of the object of technical expertise are shown in table 1.

Таблица 1  
 Table 1

Техническая характеристика объекта технической экспертизы  
 Technical characteristics of the object of technical expertise

№ п/п	Наименование характеристики / <i>Characteristic name</i>	Технический параметр / <i>Technical parameter</i>
1	Дата ввода дробилки в эксплуатацию, год / <i>Date of enter of the crusher into operation, year</i>	2008
2	Длина вала, мм / <i>Shaft length, mm</i>	3699
3	Максимальный диаметр вала, мм / <i>Maximum shaft diameter, mm</i>	420
4	Диаметр вала в месте разрушения, мм / <i>Diameter of the shaft at the fracture, mm</i>	260
5	Материал вала / <i>Shaft material</i>	Сталь 40X ГОСТ 4543-71 Steel 40X GOST 4543-71
6	Количество оборотов вала, об/мин / <i>Number of shaft revolutions, rev/min</i>	200+-10

7	Мощность двигателя не более, Квт / <i>Motor power, KW</i>	90
8	Количество часов работы дробилки в сутки, час / <i>Number of hours of operation of the crusher in a day, hour</i>	16
9	Количество дней работы дробилки в месяц, дн. / <i>Number of days of operation of the crusher in a month, days</i>	25
10	Количество месяцев работы дробилки в год, мес. / <i>Number of months of operation of the crusher in year, months</i>	10
11	Время эксплуатации вала, лет / <i>Shaft operation time, years</i>	8
12	Время эксплуатации вала, час / <i>Shaft operation time, hours</i>	16*25*10*8=32000
13	Средний ресурс вала до первого капитального ремонта, час / <i>Average life of the shaft to the first capital repair, hours</i>	15000
14	Период до первого капитального ремонта / <i>Period before the first capital repair</i>	30000
15	Срок службы дробилки, лет / <i>Service life of the crusher</i>	10

**Анализ представленных материалов.**

Анализ эксплуатационной документации показал, что вал был установлен в станину щековой дробилки после капитального ремонта и пущен в работу в обкаточном, а затем и в рабочем режиме [4]. Щековая дробилка проработала в рабочем режиме 33 дня. В период обкатки и во время эксплуатации до момента аварии замечаний не поступало.

По данным журнала контроля, произошло разрушение вала по шлицевой втулке в зоне установки приводного шкива: «Обрезало вал по втулке (шлицевой). Дробилка в момент аварии находилась в работоспособном состоянии без нагрузки. Шкив с остатками вала откинуло в сторону питателя натяжного барабана ЛК-11». Фотографии аварии и место разрушения вала представлены на рис. 2, 3.

**The analysis of the presented material.** The analysis of operational documentation showed that the shaft was installed in the base frame of jaw crusher after complete repairs and put into operation in running-in and then in production mode [4]. Jaw crusher has been in production mode for 33 days. In running-in period and during the operation until the time of the accident no comments were received.

According to the control record, there was the destruction of the shaft splined bush in the mounting area of the drive pulley: "The shaft was cut on the bushing (pulley). The crusher at the time of the accident was in working condition without load. The pulley with the remaining parts of the shaft was pulled back to the side of the feeder tension reel LK-11". The pictures of the accident and the fraction place of the shaft are shown in Fig. 2, 3.





Рис. 2. Общий вид разрушения эксцентрикового вала

*Fig. 2. General view of the eccentric shaft fracture*



Рис. 3. Вид шкива после аварии

*Fig. 3. View of the pulley after the accident*

Характер разрушения вала устанавливался на основе фотоматериалов. Фотографии места разрушения вала, установленного в корпусе дробилки, представлены на рис. 4, 5.

Fracture pattern of the shaft was established on photographs. The photographs of the fracture of the shaft mounted on the crusher shell are shown in Fig. 4, 5.



Рис. 4. Поверхность разрушения сечения эксцентрикового вала со следами сварки по периметру

*Fig. 4. The fracture surface of the eccentric shaft cross area with traces of welding around the perimeter*



Рис. 5. Поверхность разрушения сечения эксцентрикового вала с зоной усталостного разрушения и долома

*Fig. 5. The fracture surface of the eccentric shaft cross area with fatigue fracture area*

**Этапы и методика проведения технической экспертизы.** При изучении фотоматериалов было установлено, что разрушение произошло по галтели перехода с диаметра 260 мм на диаметр 280 мм в сечении, перпендикулярном оси вала (рис. 6) [2].

**The stages and technique of technical expertise.** When studying the photographs it was established that the destruction occurred at the fillet transition from the diameter of 260 mm to the diameter of 280 mm in a section perpendicular to the axis of the shaft (Fig. 6) [2].

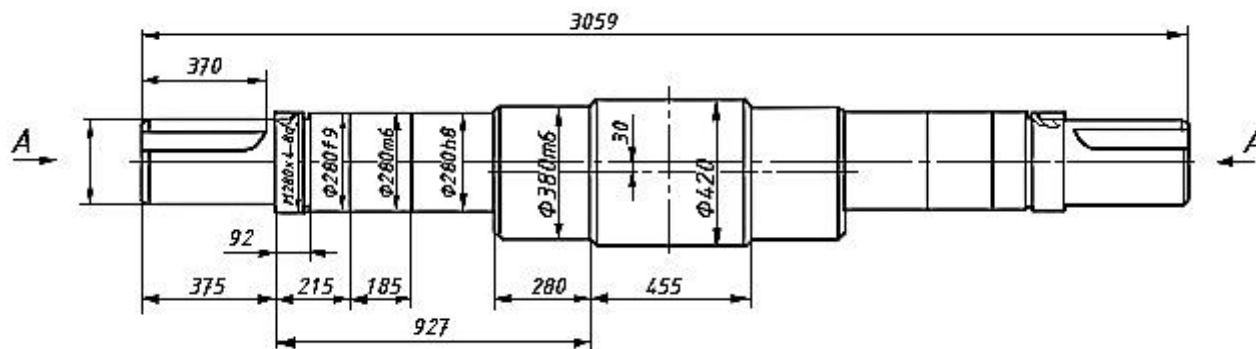


Рис. 6. Эскиз эксцентрикового вала щековой дробилки СМД-111

Fig. 6. Design of the eccentric shaft jaw crusher SMD-111

На поверхности разрушения сечения вала можно выделить три характерные области:

- область А — следы сварки (наплавки) по периметру вала толщиной около 10–12 мм;
- область Б — зона усталостного разрушения площадью около 70% поперечного сечения вала (гладкая, окисленная, с характерными линиями усталости, волнообразно расходящимися от очага разрушения);
- область В — зона остаточного разрушения (долома) сечения вала площадью около 30% поперечного сечения вала (светлого цвета с крупнозернистой структурой, не окисленная, имеет радиальные рубцы, характерные для быстрого разрушения металла) [5].

Установлено, что производился ремонт вала путем наплавки шейки вала сваркой с последующей механической обработкой в период до 2014 года, что подтверждается наличием следов окисления на наплавленной поверхности. Факт ремонта эксцентрикового вала подтверждается фотоматериалами и показаниями обслуживающего персонала. На срезе поверхности разрушения по контуру имеются следы наплавленного электродуговой сваркой металла (рис. 5). На поверхности обработанной

Three characteristic areas can be found on the surface of the shaft fracture:

- area А — traces of welding (surfacing) around the perimeter of the shaft with the thickness of about 10-12 mm;
- area В — area of the fatigue fracture of about 70% of the area of cross section of the shaft (smooth, oxidized, with the lines of fatigue, coming in a wavelike manner from the hearth of destruction);
- area С - area of the residual destruction in the shaft of about 30% of the area of cross section of the shaft (light color with a coarse structure, not oxidized, has radial scars, characteristic to rapid destruction of the metal) [5].

It was established that the shaft repairing was conducted by the shaft neck welding with subsequent mechanical treatment up to 2014, as evidenced by the presence of traces of oxidation on the weld surface. The fact of the repair of the eccentric shaft is confirmed by photographs and the testimony of staff. On the cut surface of the fracture there are traces of the weld arc welding of metal along the contour, (Fig. 5). On the surface of the shaft



шейки вала видны поверхностные поры от электродуговой сварки (рис. 7).

neck surface pores from arc welding are visible (Fig. 7).



Рис. 7. Поверхностные поры от электродуговой сварки на поверхности обработанной шейки вала

*Fig. 7. Surface pores from arc welding on the surface of the shaft neck*

Ремонт заключался в наплавке металла на шейку вала с помощью электродуговой сварки с последующей механической обработкой сварного шва, что сделало невидимой усталостную трещину в его «теле».

Технической экспертизе также подвергались подшипники, которые были установлены на вал во время ремонта. Из них три роликовых подшипника — новые, дефекты отсутствуют. Один роликовый подшипник имеет дефекты в виде выкрашивания поверхности качения внутренних обойм и роликов (рис. 8). Причиной возникновения такого дефекта явилась повышенная (выше проектных значений) нагрузка на подшипник. На этом же подшипнике имеется дефект в виде раскалывания боковой поверхности ребра внутренней обоймы (рис. 9). Причиной дефекта является механическое воздействие (удар непосредственно по кольцу) в процессе демонтажа подшипника [6].

The repair included metal welding on the shaft neck with the help of arc welding with subsequent mechanical treatment of the weld that the fatigue crack in it was made invisible.

Technical expertise was also conducted on the bearings that were installed on the shaft during repairs. Three of roller bearings are new with no defects. One roller bearing has defects in the form of pitting of the bearing race of the inner race and rollers (Fig. 8). The cause of such a defect was the raised (higher than the design values) load on the bearing. At the same bearing there is a defect in the form of cracking of the side surface of the inner cage edge (Fig. 9). The cause of this defect is the mechanical impact (impact directly on the ring) in the process of dismantling of the bearing [6].



Рис. 8. Дефекты в виде выкрашивания поверхности качения внутренних обойм и роликов

*Fig. 8. Defects in the form of pitting of the bearing race the inner race and rollers*



Рис. 9. Дефект в виде раскалывания боковой поверхности ребра внутренней обоймы

*Fig. 9. The cracking of the side surface of the inner cage edge*

По внешнему виду щековой дробилки СМД-111, представленной для осмотра экспертам, техническое состояние было оценено как

«работоспособное»<sup>1</sup> и «неисправное»<sup>2</sup> [7]. По внешнему виду система предохранения от

According to the appearance of jaw crusher SMD-111, presented for inspection to the experts, the technical condition was assessed as "healthy" and "faulty" [7]. According to the appearance the

<sup>1</sup> Работоспособное состояние (работоспособность) — состояние объекта при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Неработоспособное состояние (неработоспособность) — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации

<sup>2</sup> Исправное состояние (исправность) — состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Неисправное состояние (неисправность) — состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.



перегрузки при попадании недробильного тела находится в «неисправном» состоянии (оборван один болт, отсутствует одна пружина) [4]. Общий вид системы представлен на рис. 10.

load safety system is "faulty" if an object which is impossible to crash gets into it (one bolt is broken, one spring is missing) [4]. General view of the system is shown in Fig. 10



Рис. 10. Система предохранения от перегрузки в «неисправном» состоянии (оборван один болт, отсутствует одна пружина)

Fig. 10. Load safety system in "faulty" condition (one bolt is broken, one spring is missing)

На щековой дробилке СМД-111 был установлен электродвигатель мощностью 160 кВт, число оборотов — 750. Согласно паспортным техническим характеристикам мощность двигателя основного привода должна составлять 90 кВт. Документация, подтверждающая проведение реконструкции щековой дробилки СМД-111 путем замены двигателя большей мощности, отсутствует. Передача крутящего момента от двигателя к эксцентриковому валу щековой дробилки СМД-111 осуществляется двумя ремнями клиноременной передачи вместо восьми.

**Заключение.** На основании анализа представленных документов, проведенного осмотра и исследования экспертов сделаны следующие выводы [4]:

1. В период обкатки и эксплуатации в течение 33 дней имело место попадание

Jaw crusher SMD-111 has the motor of power 160 kW, rpm — 750 installed in it. According to passport specification the engine power of a main drive shall be 90 kW. Documentation of the reconstruction of the jaw crusher SMD-111 by replacing the engine to a more powerful one is missing. Torque transmission from motor to eccentric shaft of jaw crusher SMD-111 was conducted by two V-belts instead of eight.

**Conclusion.** According to the analysis of the submitted documents, examination and experts research the following conclusions were made [4]:

1. In running-in period and operation for 33

<sup>1</sup> *Healthy state (health) — the state of the object in which the values of all the parameters characterizing the ability to perform specified functions, meet the requirements of normative-technical and (or) design (project) documentation. Inoperable (broken) — the state of the object, wherein the at least one value of the parameter characterizing the ability to perform specified functions, meet the requirements of normative-technical and (or) design (project) documentation*

<sup>2</sup> *Good condition (serviceability) — the state of the object at which it meets all the requirements of normative-technical and (or) design (project) documentation.*

*Faulty condition (fault) — the state of the object at which it does not meet at least one of the requirements of normative-technical and (or) design (project) documentation.*

недробимого материала в щековую дробилку СМД-111, что привело к возникновению нагрузок, значительно превышающих нормативные.

2. Производился капитальный ремонт эксцентрикового вала путем наплавки шейки вала электродуговой сваркой с последующей механической обработкой. Ремонт сделал невидимой внутреннюю часть усталостной трещины в «теле» эксцентрикового вала. Контроль вала неразрушающими методами не проводился.

3. На одном роликовом подшипнике имелись дефекты в виде выкрашивания поверхности качения внутренних обойм и роликов. Причиной возникновения дефекта явилась повышенная (выше проектных значений) нагрузка на подшипник из-за установки двигателя мощностью выше паспортных характеристик и неисправности муфты предельного момента.

4. Дефект раскалывания боковой поверхности ребра внутренней обоймы подшипника образовался вследствие механического воздействия (удар непосредственно по кольцу).

5. Техническое состояние щековой дробилки СМД-111 было оценено как «работоспособное» и «неисправное» [7].

6. Электродвигатель, установленный на щековой дробилке СМД-111 (мощность 160 кВт, число оборотов — 750), превысил ее паспортные характеристики, что привело к возникновению нагрузок, значительно превышающих нормативные.

На основании выполненной технической экспертизы составлено заключение о причине разрушения эксцентрикового вала щековой дробилки СМД-111, а именно: «Длительная эксплуатация щековой дробилки СМД-111 в течение 8 лет, с нагрузками, превышающими паспортные, привела к исчерпанию расчетного ресурса эксцентрикового вала».

Способствующими факторами исчерпания ресурса явились [6]:

- некачественный предшествующий ремонт эксцентрикового вала путем наплавки шейки электросваркой с последующей механической обработкой, без проведения неразрушающего контроля;

- «неисправное» техническое состояние системы предохранения от перегрузки и повышенное натяжение ремней

days the non-crushable material got into the jaw crusher SMD-111 that led to loads significantly exceeding the standard.

2. Capital repair of the eccentric shaft was made by shaft journal welding by arc welding followed by mechanical treatment. Repairs made invisible the inner part of the fatigue crack in the body of the eccentric shaft. Shaft control was conducted using non-destructive methods.

3. One roller bearing had defects in the form of pitting of the rolling surface of the inner race and rollers. The cause of the defect was the raised (above the design values) load on the bearing due to the installation of a more powerful engine than described in the specification and faulty slipping clutch.

4. The cracking defect of the rib side surface of the inner bearing race is formed as a result of mechanical impact (impact directly on the ring).

5. The technical condition of jaw crusher SMD-111 was assessed as "healthy" and "faulty" [7].

6. A motor mounted on jaw crusher SMD-111 (capacity of 160 kW, rpm — 750), exceeded its passport characteristics that led to loads significantly exceeding the standard.

Basing on the conducted technical expertise the conclusion was made about the fracture cause of eccentric shaft of jaw crusher SMD-111, as follows: "Long-term operation of jaw crusher SMD-111 during 8 years, with loads exceeding the specification, led to the exhaustion of estimated resource of the eccentric shaft".

The factors which contributed the exhaustion of the resource were [6]:

- poor previous repair of the eccentric shaft by neck welding with subsequent mechanical treatment, without carrying out non-destructive control;

- the "faulty" technical condition of the load

клиноремной передачи;

- установка электродвигателя с мощностью и числом оборотов, превышающими паспортные характеристики.

**Выводы.** Проведенная техническая экспертиза позволила сделать вывод о том, что нагрузки, значительно превышающие нормативные, способствовали зарождению усталостной трещины, развитию ее до критического значения с последующим полным разрушением в процессе эксплуатации.

### Библиографический список.

1. Короткий, А. А. Технические причины обрывов проволок несущего каната на пассажирской подвесной канатной дороге / А. А. Короткий, Э. В. Марченко, А. В. Панфилов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2017. — № 1. — С. 18–25.
2. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения : ГОСТ 27.002–2015 / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. — Москва : Стандартиформ, 2015. — 23 с.
3. Короткий, А. А. Словарь терминов и определений по подъемным сооружениям / А. А. Короткий, Л. В. Стоцкая, В. С. Котельников, А. А. Зарецкий, А. С. Липатов. — Москва : Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2003. — 115 с.
4. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс] : федеральный закон № 116-ФЗ от 21 июля 1997 г. / Государственная Дума РФ ; Совет Федерации Фед. Собр. РФ // Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. Документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/9046058> (дата обращения 03.03.17).
5. Ivanov V.V., Popov S.I., Kirichek A.V.

safety system and the raised tension of V-belts;

- installation of a more powerful motor with rotations, which exceeded specifications.

**Summary.** The conducted technical expertise made it possible to conclude that loads that significantly exceed specifications contributed to the appearance of fatigue cracks, developing it to a critical state followed by the complete fraction in the process of operation.

### References:

1. Korotkiy, A.A., Marchenko, E.V., Panfilov, A.V. Tekhnicheskie prichiny obryvov provolok nesushche-tyagovogo kanata na passazhirskoy podvesnoy doroge. [Technical reasons for breakages of the wire carrier-traction rope of the passenger cable car.] Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnykh system, 2017, no. 1, pp. 18-25 (in Russian).
2. Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Terminy i opredeleniya: GOST 27.002-2015 / Mezghosudarstvennyy Sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii. [Reliability in technology (SSNT). Terms and definitions: GOST 27.002–2015 / Interstate Council for standardization, metrology and certification.] Moscow, Standartinform, 2015, 23 p. (in Russian).
3. Korotkiy, A.A., Stotskaya, L.V., Kotelnikov, V.S., Zaretskiy, A.A., Lipatov, A.S. Slovar' terinov i opredeleniy po pod'emnym sooruzheniy. [Dictionary of terms and definitions for lift construction.] Moscow, State unitary enterprise "Scientific-technical center for industrial safety of Gosgortekhnadzor of Russia, 2003, 115 p. (in Russian).
4. O promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov. Federal'nyy zakon no. 116-FZ ot 21 iyulya 1991 g., Gosudarstvennaya Duma RF, Sovet Federatsii Fed. Sobr. RF, Elektron. Fond pravovoy i normativ.-tekhn. Dokumentatsii, Konsortsium "Kodeks". [On industrial safety of hazardous industrial facilities. Federal law no. 116-FZ from 21<sup>st</sup> July 1997, the State Duma, Federal Assembly of the Russian Federation, Electron. fund of legal and norm.-tech. documentation, Consortium "Kodeks".] Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9046058> (in



Qualitative Characteristics of MoS<sub>2</sub> Solid-Lubricant Coating Formed by Vibro-Wave Impact of Free-Moving Indenters // Key Engineering Materials. — Vol. 736. — 2017. — pp. 18–22.

6. Короткий, А. А. Испытания наземных транспортно-технологических машин и их элементов / А. А. Короткий, А. С. Логвинов, М. Н. Хальфин, Б. Ф. Иванов, А. В. Панфилов. — Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2015. — 116 с.

7. Куксин, В. В. Нарушения владельцев подвижного состава и подъезного пути и некачественный осмотр, влекущие за собой сход вагонов / В. В. Куксин, Э. А. Панфилова / Priority directions of science and education development : материалы VI междунар. науч.–практ. конф. — Cheboksary, 2015. — № 3 (6). — С. 222–226.

Поступила в редакцию 21.02.2017

Сдана в редакцию 22.02.2017

Запланирована в номер 20.05.2017

**Короткий Анатолий Аркадьевич,**  
Доктор технических наук, профессор,  
Заведующий кафедрой «Транспортные системы и логистика» Донского государственного технического университета  
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),  
[korot@novoch.ru](mailto:korot@novoch.ru)

**Панфилов Алексей Викторович,**  
кандидат социологических наук,  
аспирант кафедры «Транспортные системы и логистика» Донского государственного технического университета  
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),  
[a.panfilov@bk.ru](mailto:a.panfilov@bk.ru)

**Голубь Кирилл Леонидович,**  
магистрант кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета  
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),  
[west.v10@mail.ru](mailto:west.v10@mail.ru)

Russian).

5. Ivanov, V.V., Popov, S.I., Kirichek, A.V. Qualitative Characteristics of MoS<sub>2</sub> Solid-Lubricant Coating Formed by Vibro-Wave Impact of Free-Moving Indenters. Key Engineering Materials, vol. 736, 2017, pp. 18-22.

6. Korotkiy, A.A., Logvinov, A.S., Halfin, M.N., Ivanov, B.F., Panfilov, A.V. Ispytaniya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i ikh elementov. [Testing of ground transport-technological machines and their elements.] Rostov-on-Don, Publishing Center DSTU, 2015, 116 p. (in Russian).

7. Kuksin, V.V., Panfilova, E.A. Narusheniya vladel'tsev podvizhnogo sostava i pod'eznogo puti i nekachestvennyy osmotr, vlekushchie za soboy shod vagonov. [Violations by the owners of rolling stock and entry lines and poor inspection resulting in derailment.] Priority directions of science and education development : materials of the VI Intern. scientific.–pract. Conf., Cheboksary, 2015, no. 3 (6), no. 222-226 (in Russian).

Received 21.02.2017

Submitted 22.02.2017

Scheduled in the issue 20.05.2017

**Anatoly Arkadevich Korotkiy**  
Doctor of technical Science, Professor,  
Head, Transport systems and logistics Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)  
[korot@novoch.ru](mailto:korot@novoch.ru)

**Panfilov Alexey Viktorovich**  
Candidate of sociological Science,  
Postgraduate-student, Transport systems and logistics Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)  
[a.panfilov@bk.ru](mailto:a.panfilov@bk.ru)

**Kirill Leonidovich Golub,**  
Graduate student, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)  
[west.v10@mail.ru](mailto:west.v10@mail.ru)