

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 62-922.4

10.23947/1992-5980-2017-17-1-99-104

Исследование шума при обработке плоских деталей шарико-стержневым упрочнителем*

А. Г. Исаев¹, М. А. Тамаркин², С. А. Раздорский^{3**}

^{1,2} Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

³ Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Noise research under flat parts processing through ball-and-rod reinforcement***

A. G. Isaev¹, M. A. Tamarkin², S. A. Razdorskiy^{3**}

^{1,2} Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

³ Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. В статье представлены результаты исследований обработки поверхностей деталей шарико-стержневым упрочнителем (многоконтактный виброударный инструмент) методом поверхностно-пластического деформирования. Рассматриваемый процесс может использоваться для упрочнения как плоских, так и лекальных поверхностей, создания сжимающих остаточных напряжений, сглаживания каверн, нанесения регулярного микрорельефа на пары трения, а также для обработки сварных швов. При проведении настоящих исследований выявлены технологические возможности обработки, определены закономерности выбора конструктивных параметров устройства. Процесс обработки относится к ударным и сопровождается интенсивным звуковым излучением. Установлено, что шум при обработке значительно превышает допустимые пределы.

Материалы и методы. Исследования проводились на универсальном фрезерном станке. Упрочнению подвергались длиномерные плоские детали, которые устанавливались непосредственно на стол станка либо в специальные приспособления. Линейный источник шума принят в качестве модели.

Результаты исследования. Получены зависимости для определения звукового давления, собственных частот колебаний детали и спектров шума. Разработан комплекс мероприятий по снижению шума при обработке. Выполнен значительный объем экспериментальных исследований, подтверждающий адекватность полученных теоретических моделей.

Обсуждение и заключения. При проведении исследований установлено, что эффективность в снижении шума не может быть достигнута рациональным подбором вибропоглощающего материала. В связи с этим рекомендуется применение пассивной шумозащиты рабочей зоны станка в виде плоского экрана из поликарбонатного стекла, что позволит довести до нормативных значения шума в зоне обработки. Рассчитаны конструктивные параметры предлагаемого акустического экрана.

Introduction. Research results of the part surface treatment by a ball-and-rod reinforcer (multicontact shock-vibrating tool) through the surface plastic deformation method are provided. The considered process can be used for hardening both flat and curved surfaces, as well as for generating compressing residual voltages, pocket smoothing, regular microrelief fitting on friction pairs, and for joint weld machining. When carrying out this research, the manufacturing processability is identified, the regularities of selecting design data of the device are determined. The treatment process is percussive, and it is attended by heavy acoustic radiation. It is found that noise under processing far exceeds the allowable range.

Materials and Methods. The investigation was conducted on a universal milling machine. Long flat parts were exposed to hardening. The parts were installed directly on the machine table or in special devices. A line noise source was accepted as a model.

Research Results. Dependences are obtained for determining the sound pressure, natural frequencies of the part oscillations, and noise spectra. A set of noise abatement procedures under processing is worked out. A considerable amount of the experimental research confirming adequacy of the obtained theoretical models is undertaken.

Discussion and Conclusions. When carrying out the studies, it is established that efficiency in noise abatement cannot be obtained by the rational selection of the vibration-absorbing material. In this regard, the use of passive noise protection of the machine site in the form of a flat polycarbonate-glass screen is recommended. This will allow reducing noise in the work zone to the standard values. Design data of the offered acoustic screen are calculated.

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E-mail: Isaev 278@rambler.ru, tehn_rostov@mail.ru, OPM@rgups.ru

*** The research is done within the frame of the independent R&D.

Ключевые слова: обработка шарико-стержневым упрочнителем, уровни звукового давления, спектры шума, защитные устройства.

Keywords: processing through ball-and-rod reinforcement, sound pressure levels, noise spectra, protection devices.

Введение. Актуальной задачей современного машиностроения является увеличение жизненного цикла производимых машин, позволяющее значительно продлить срок эксплуатации выпускаемых изделий и, соответственно, получить экономический эффект за счет сокращения их выпуска. Важную роль в решении этой задачи играют методы обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД), использование которых позволяет улучшить основные эксплуатационные свойства деталей машин, такие как: контактная жесткость, износостойкость, усталостная прочность, долговечность и т. п. Для осуществления процесса обработки ППД деталей сложной конфигурации, имеющих небольшой перепад профиля по высоте, на кафедре «Технология машиностроения» ДГТУ под руководством профессора А. П. Бабичева изобретено специальное устройство — шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ). С его помощью выполняется упрочняющая обработка деталей небольшой площади либо местное упрочнение участков поверхности, содержащих концентраторы напряжений [1, 2, 3]. Схема устройства представлена на рис. 1.

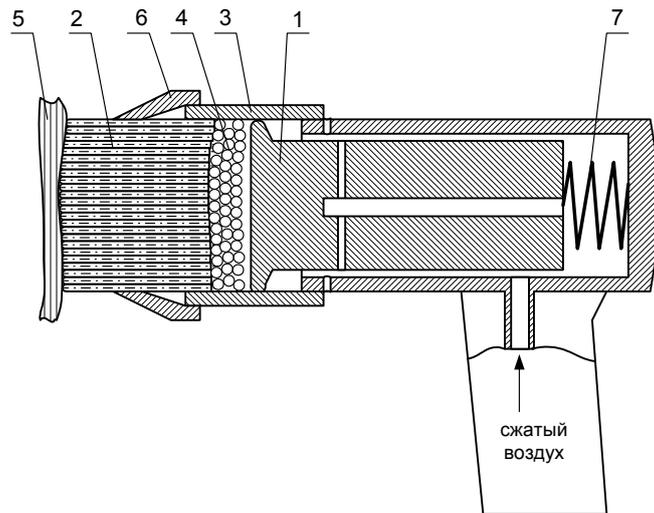


Рис. 1. Схема многоконтактного виброударного инструмента ШСУ: 1 — силовой привод, 2 — пакет круглых стержней, 3 — корпус упрочнителя, 4 — стальные шары, 5 — обрабатываемая деталь, 6 — цанговый зажим, 7 — упругий элемент

Fig. 1. Multicontact shock-vibrating ShSU tool circuit: 1 - powered drive, 2 - round rod assembly, 3 - reinforcer body, 4 - steel balls, 5 - workpiece, 6 - collet closer, 7 - elastic element

В качестве силового привода используется пневмомолоток, на котором закреплен корпус упрочнителя. Боек силового привода 1 наносит удары с частотой порядка 42 Гц по нескольким слоям стальных шаров 4. Удары передаются пакету круглых стержней 2, установленному в цанговом зажиме 6. Наличие нескольких слоев шаров позволяет стержням, имеющим сферическую заточку рабочей поверхности, копировать фасонный профиль обрабатываемой детали 5.

При исследовании технологических возможностей процесса обработки ШСУ установлено, что наибольшее влияние на качество поверхностного слоя обработанных деталей оказывает энергия удара привода, радиус заточки стержней, число стержней в пакете, подача устройства вдоль обрабатываемой поверхности [3–5]. Процесс обработки позволяет обеспечить хорошую интенсивность упрочнения, снижение шероховатости обрабатываемой поверхности и формирование сжимающих остаточных напряжений, что, в свою очередь, вызывает повышение эксплуатационных свойств обработанных деталей.

К настоящему времени в результате проведенных исследований выявлены технологические возможности обработки ШСУ, определены закономерности выбора конструктивных параметров устройства, составлены технологические рекомендации для формирования регулярных микрорельефов обрабатываемых поверхностей [1, 2, 6–10]. Вместе с тем обширен круг нерешенных вопросов, что сдерживает широкое применение процесса в производстве.

Процесс обработки ШСУ относится к ударным и сопровождается интенсивным звуковым излучением. Известно, что защита работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов является актуальной проблемой охраны труда. Среди опасных и вредных производственных факторов особое место занимают шум и вибрации. Исследователи описывают их как постоянно действующие воздействия высокой интенсивности, приводящие к ухудшению здоровья работающих и к снижению производительности труда [1, 2, 3].

К сожалению, технологический процесс обработки ШСУ сопровождается значительным шумом, который превышает санитарные нормы. Для снижения шума в рабочей зоне оператора до нормативных значений необходимо

провести всесторонние исследования шумообразования и разработать комплекс мероприятий экологического характера.

Основная часть. При обработке плоских деталей устройство для обработки ШСУ размещается на фрезерной бабке универсального фрезерного станка. При этом станок работает как привод подачи. Шпиндель станка не вращается. Соответственно, при шумообразовании в формировании звукового поля в рабочей зоне оператора вносит вклад только привод подач, который в современных фрезерных станках содержит шариковую винтовую пару, приводимую во вращение от двигателя постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения. Известно, что такие механизмы обеспечивают низкий уровень шума и вибраций. Таким образом, можно сделать следующий вывод: повышенный уровень шума в рабочей зоне определяется звуковым излучением упрочнителя и обрабатываемых деталей.

Как правило, по вышеуказанной схеме производится обработка плоских деталей значительной длины. Для них в качестве модели может быть использован линейный источник шума, звуковое давление которого согласно [1] определено по зависимости:

$$P = 9,5 \frac{v_k}{r} (f_k F l)^{0,5},$$

где v_k — скорость колебаний, f_k — собственные частоты колебаний, F — площадь излучающей звук поверхности, l — длина детали, r — расстояние от источника до расчетной точки.

При данном методе обработки детали закрепляются на столе станка с помощью прихватов либо в специальных приспособлениях. Для плоских деталей возможно применение демпфирующей прокладки из специального материала, которая будет поглощать собственные частоты колебаний. Модель плоской длинномерной детали можно представить в виде балки, частота собственных колебаний которой определяется по зависимости:

$$f_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{EJ}{m_0} + \frac{j_{np}}{m_0}},$$

где E — модуль упругости, J — момент инерции детали; m_0 — распределенная масса; j_{np} — приведенная жесткость технологической системы; k — коэффициент, определяющий собственные частоты колебаний.

Уровни звукового давления, создаваемые обрабатываемыми деталями типа балок, можно определить по следующей зависимости:

$$L = 20 \lg v_k + 10 \lg \left[\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{EJ}{\rho} + \frac{j_{np}}{\rho} \right] \times F + 20 \lg \frac{l}{r} + 106,$$

где ρ — плотность материала заготовки.

Для проведения инженерных расчетов с использованием вышеприведенной зависимости необходимо рассчитать скорость колебаний детали на собственных частотах. Она представляет собой комплексную величину. Для проведения расчетов спектров шума, которые представляют собой усредненные по октавам уровни звукового давления, достаточно вычислить действительную часть скорости колебаний:

$$Re\{v_k\} = \frac{2\pi k P}{M l} \sum \frac{k \left(\sin \frac{\pi k x_1}{l} + \sin \frac{\pi k x_2}{l} + \dots + \sin \frac{\pi k x_k}{l} \right)}{\left\{ \left[EJ \left(\frac{\pi k}{l} \right)^4 + \frac{j_{np}}{m_0} - \left(\frac{\pi k v}{l} \right)^2 \right]^2 + (\eta EJ)^2 \left(\frac{\pi k}{l} \right)^3 \right\}^{0,5} \times \sin \operatorname{arctg} \frac{-EJ \eta \left(\frac{\pi k}{l} \right)^4}{EJ \left(\frac{\pi k}{l} \right)^4 + \frac{j_{np}}{m_0} - \left(\frac{\pi k v}{l} \right)^2 + (\eta EJ)^2 \left(\frac{\pi k}{l} \right)^3},$$

где P — силовое воздействие со стороны технологического процесса, M — масса изделия, x_k — координата расположения стержня упрочнителя, v — скорость перемещения стола с упрочняемым изделием, η — эффективный коэффициент потерь колебательной энергии упрочняемого изделия.

При обработке ШСУ плоских деталей типа балок соблюдение санитарных норм шума и вибраций может быть обеспечено рациональным подбором демпфирующих прокладок, различающихся толщиной и вибропоглощающими свойствами материалов. Однако во многих случаях не удается снизить шум до нормативных значений, и тогда следует

применять пассивные методы шумозащиты рабочей зоны оператора. Для обработки ШСУ рекомендуется использовать плоский экран из поликарбонатного стекла, который может обеспечить снижение уровней шума до нормативных значений во всем нормируемом диапазоне частот (31,5–2000 Гц). Длина экрана выбирается по размерам стола фрезерного станка, а высота рассчитывается по известным зависимостям акустической эффективности [1, 3]:

$$\Delta L_{\phi} = 10 \lg \left(g \pi^2 \cdot \frac{h}{\lambda} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \cdot 10 \lg n,$$

где h — высота экрана; λ — длина волны в воздухе; φ — угол преломления звуковой волны; n — количество ребер экрана, через которые звуковая энергия проникает в расчетную точку.

Схема для расчета высоты экрана приведена на рис. 2. Здесь в точке A располагается источник шума, а в точке D — голова оператора.

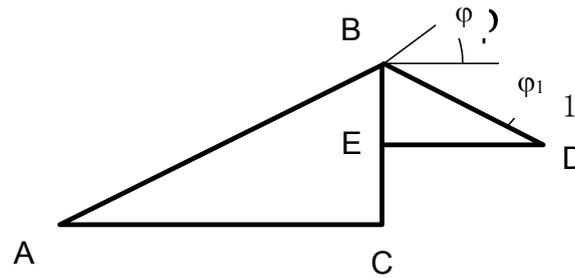


Рис. 2. Расчетная схема акустического экрана

Fig.2. Design model of acoustic baffle

В соответствии с этой схемой, $\angle \varphi = \angle A + \angle \varphi_1$.

Тогда зависимость примет вид:

$$\operatorname{tg} \angle A = \frac{CB}{AC}, \quad \operatorname{tg} \angle \varphi_1 = \frac{BE}{ED},$$

где AC и ED — расстояния от источника шума и рабочего места до акустического экрана соответственно. Тогда

$$\angle \varphi = \operatorname{arctg} \frac{CB}{AC} + \operatorname{arctg} \frac{BE}{ED}.$$

После преобразований зависимость для определения высоты акустического экрана может быть представлена следующим образом:

$$h = 10^{0,1 \left(L_{pi} - L_{ci} + 1,1 - \operatorname{tg} f_i - \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right)},$$

где L_{pi} — фактические октавные уровни звукового давления, L_{ci} — октавные предельно допустимые уровни звукового давления, f_i — среднеквадратичные частоты октавных полос.

После проведения расчетов из всех полученных значений высоты акустического экрана выбирается наибольшее. Особо следует отметить, что установка экрана также позволяет защитить оператора от получения травм при поломках технологической оснастки либо обрабатываемой детали. Для надежной защиты рекомендуется защитный экран из поликарбонатного стекла.

Внедрение результатов исследований в производство на одном из машиностроительных предприятий позволило снизить уровень шума в рабочей зоне оператора до нормативных значений (рис. 3).

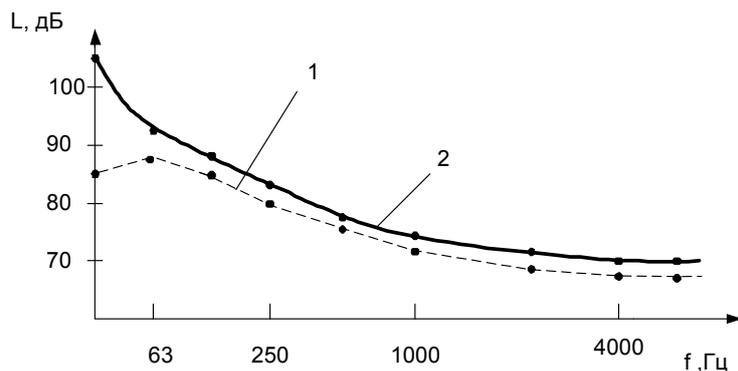


Рис. 3 Спектры шума: 1 — шум при обработке с системой шумозащиты, 2 — предельный спектр

Fig. 3 Noise spectra: 1 - noise under processing with noise protection system, 2 - limitary spectrum

Выводы. В результате проведенного исследования получены зависимости для определения звукового давления, собственных частот колебаний детали и спектров шума. Разработан комплекс мероприятий по снижению шума при обработке. Выполнен значительный объем экспериментальных исследований, подтверждающий адекватность полученных теоретических моделей.

Установлено, что эффективность в снижении шума не может быть достигнута рациональным подбором вибропоглощающего материала. В связи с этим рекомендуется применение пассивной шумозащиты рабочей зоны станка в виде плоского экрана из поликарбонатного стекла, что позволит довести до нормативных значения шума в зоне обработки. Рассчитаны конструктивные параметры предлагаемого акустического экрана.

Библиографический список

1. Чукарин, А. Н. Обеспечение комфортных условий труда при виброударной отделочной обработке фасонных деталей за счет снижения вибраций и шума / А. Н. Чукарин, Л. М. Щерба // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении : сб. ст. по мат-лам Всерос. науч.-техн. конф. — Нижний Новгород ; Арзамас, 2002. — С. 352–355.
2. Щерба, Л. М. Проектирование технологических процессов виброударной отделочной обработки шарико-стержневым упрочнителем с учетом снижения шума в рабочей зоне : дис. ... канд. техн. наук / Л. М. Щерба. — Ростов-на-Дону, 2003. — 166 с.
3. Аксенов, В. Н. Совершенствование процесса отделочно-упрочняющей обработки многоконтактным виброударным инструментом с учетом ударно-волновых явлений : дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Аксенов. — Ростов-на-Дону, 2000. — 193 с.
4. Прокопец, Г. А. Интенсификация процесса виброударной обработки на основе повышения эффективности виброударного воздействия и учета ударно-волновых процессов : дис. ... канд. техн. наук / Г. А. Прокопец. — Ростов-на-Дону, 1995. — 220 с.
5. Иванов, Н. И. Основы виброакустики / Н. И. Иванов, А. С. Никифоров. — Санкт-Петербург : Политехника, 2000. — 482 с.
6. Рыковский, Б. П. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом / Б. П. Рыковский, В. А. Смирнов, Т. М. Щетинин. — Москва : Машиностроение, 1985. — 152 с.
7. Igginson, R.-F. Errors of measurements when determining radiation of noise / R.-F. Igginson, P. Hapes // Noise Control Engineering Journal. — 1993. — Vol. 40, № 2. — P. 109–111.
8. Linear and Nonlinear Elasticity of Granular Media: Stress Induced Anisotropy of a Random Sphere Pack / D.-L. Johnson [et al.] // Journal of Applied Mechanics. — 1998. — Vol. 65. — P. 380–388.
9. Norris, A.-N. Nonlinear Elasticity of Granular Media / A.-N. Norris, D.-L. Johnson // Journal of Applied Mechanics. — 1997. — Vol. 64. — P. 39–49.
10. Radjai, F. Bimodal character of stress transmission in granular packings / F. Radjai // Physical Review Letters. — 1998. — Vol. 80, № 1. — P. 61–64.

References

1. Chukarin, A.N., Shcherba, L.M. Obespechenie komfortnykh usloviy truda pri vibroudarnoy otdelochnoy obrabotke fasonnykh detaley za schet snizheniya vibratsiy i shuma. [Comfort working environment engineering under shock-vibrating finishing of shaped parts due to vibration control and noise abatement.] Progressivnye tekhnologii v mashino- i priborostroenii: sb. st. po mat-lam Vseros. nauch.-tekhn. konf. [Advanced technologies in machine-building and instrument-making: Proc. All-Russian Sci.-Tech. Conf.] Nizhniy Novgorod; Arzamas, 2002, pp. 352–355 (in Russian).

2. Shcherba, L.M. Proektirovanie tekhnologicheskikh protsessov vibroudarnoy otdelochnoy obrabotki shariko-sterzhnevym uprochnitelem s uchetom snizheniya shuma v rabochey zone : dis. ... kand. tekhn. nauk. [Design of shock-vibrating finishing process through ball-rod reinforcement with account of noise abatement in the working area: Cand.Sci. (Eng.) diss.] Rostov-on-Don, 2003, 166 p. (in Russian).

3. Aksenov, V.N. Sovershenstvovanie protsessa otdelochno-uprochnyayushchey obrabotki mnogokontaktным vibroudarnym instrumentom s uchetom udarno-volnovykh yavleniy : dis. ... kand. tekhn. nauk. [Improvement of finishing-strengthening treatment by multicontact shock-vibrating tool with allowance for shock-and-wave propagation effects: Cand.Sci. (Eng.) diss.] Rostov-on-Don, 2000, 193 p. (in Russian).

4. Prokopets, G.A. Intensifikatsiya protsessa vibroudarnoy obrabotki na osnove povysheniya effektivnosti vibroudarnogo vozdeystviya i ucheta udarno-volnovykh protsessov : dis. ... kand. tekhn. nauk. [Intensification of shock-vibrating process on the basis of increasing the efficiency of the shock-vibrating action and with account of shock-and-wave propagation effects: Cand.Sci. (Eng.) diss.] Rostov-on-Don, 1995, 220 p. (in Russian).

5. Ivanov, N.I., Nikiforov, A.S. Osnovy vibroakustiki. [Vibroacoustics Basics.] St. Petersburg: Politehnika, 2000, 482 p. (in Russian).

6. Rykovskiy, B.P., Smirnov, V.A., Shchetinin, T.M. Mestnoe uprochnenie detaley poverkhnostnym naklepom. [Parts local hardening through surface cold working.] Moscow: Mashinostroenie, 1985, 152 p. (in Russian).

7. Igginson, R.-F., Hapes, P. Errors of measurements when determining radiation of noise. Noise Control Engineering Journal, 1993, vol. 40, no. 2, pp. 109–111.

8. Johnson, D.-L., et al. Linear and Nonlinear Elasticity of Granular Media: Stress Induced Anisotropy of a Random Sphere Pack. Journal of Applied Mechanics, 1998, vol. 65, pp. 380–388.

9. Norris, A.-N., Johnson, D.-L. Nonlinear Elasticity of Granular Media. Journal of Applied Mechanics, 1997, vol. 64, pp. 39–49.

10. Radjai, F. Bimodal character of stress transmission in granular packings. Physical Review Letters, 1998, vol. 80, no. 1, pp. 61–64.

Поступила в редакцию 05.12.2016

Сдана в редакцию 05.12.2016

Запланирована в номер 11.01.2017

Received 05.12.2016

Submitted 05.12.2016

Scheduled in the issue 11.01.2017

Об авторах:

Тамаркин Михаил Аркадьевич, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9558-8625>, tehn_rostov@mail.ru

Исаев Александр Геннадьевич, старший преподаватель кафедры «Сервис и техническая эксплуатация автотранспортных средств» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8986-7353>, Isaev278@rambler.ru

Раздорский Сергей Александрович, доцент кафедры «Основы проектирования машин» Ростовского государственного университета путей сообщения (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного ополчения, 2), OPM@rgups.ru

Authors:

Tamarkin, Mikhail A., head of the Engineering Technology Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Dr.Sci. (Eng.), professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9558-8625>, tehn_rostov@mail.ru

Isaev, Alexander G., senior lecturer of the Engineering Technology Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8986-7353>, Isaev278@rambler.ru

Razdorskiy, Sergey A., associate professor of the Machine Design Principles Department, Rostov State Transport University (RF, Rostov oblast, Rostov-on-don, square of the Rostov Shooting Regiment of the National militia, 2), OPM@rgups.ru