

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПИКОВ МИКРОГЕОМЕТРИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ЛИСТА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ДРОБЕМЁТНОЙ УСТАНОВКИ

Огарков Н.Н., д.т.н., профессор кафедры «Технологии машиностроения» (ogarkovnikolai@mail.ru)
Звягина Е.Ю., старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения» (zviagina_mmf@mail.ru)
Залетов Ю.Д., к.т.н., доцент кафедры «Технологии машиностроения» (yzaletov@mail.ru)
Хоменко Н.Н., доцент кафедры «Механика» (ХомНН@mail.ru)
Керимова Л.Ф., студент (liliya-kerimova@mail.ru)

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
 (455000, г. Магнитогорск, Челябинская обл., ул. Ленина, 38)

Аннотация. Выполнены исследования с усовершенствованной конструкцией металлических штор в турбине дробемётной установки (ДМУ) для насечки поверхности рабочих валков дрессировочных станов 1700 и 2500 ЛПЦ-5 ОАО «ММК». Шторы помещались в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения дробемётного колеса, установленного в турбине. Определены размеры штор и места их установки, обеспечивающие повышенную плотность факела дробы при насечке прокатных валков при минимальном экранирующем действии отскакивающей от штор чугунной колотой дробы. Проведенные исследования показали, что скорость дробы после соударения со шторой меняет не только направление, но и величину. Изменение направления и уменьшение скорости дробы после соударения со шторой зависят от условий трения между дробью и поверхностью шторы, а также от угла атаки. Модернизация ДМУ позволила увеличить плотность пиков факелов дробы на поверхности рабочих валков дрессировочных станов, а соответственно плотность пиков дрессированного металла в 1,22 раза по сравнению с металлом, дрессированным до усовершенствования конструкции дробемётной установки.

Ключевые слова: прокатный валок, плотность факела дробы, дробь, дробемётная установка, плотность пиков, шероховатость.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-12-886-890

Современные конструкции дробемётных установок, используемых для насечки поверхности прокатных валков, характеризуются неравномерной плотностью факела дробы, направленного на рабочую поверхность прокатного валка [1 – 4].

Исследования по распределению плотности факела дробы в плоскости, перпендикулярной его оси, показали, что наибольшей плотностью характеризуется центральная часть факела, а наименьшей его периферийная часть, что не позволяет обеспечить равномерность параметров шероховатости насеченной поверхности [5, 6].

С целью более равномерного распределения плотности факела дробы по насечаемой поверхности был выполнен эксперимент по его воздействию на лист металла размером 2400×1100×1,8 мм, установленного на ролики вместо прокатного валка. Обработка дробью поверхности листа выполнялась при следующих режимах:

- число оборотов дробемётного колеса 2100 об/мин;
- время насечки 8 с.

Распределение плотности факела дробы при насечении поверхности по существующей технологии показано на рис. 1.

Поскольку площадь валка в плоскости, перпендикулярной оси факела дробы, значительно меньше пло-

щади, охватываемой факелом дробы, то часть дробы не участвует в процессе насечки валков и расходится вхолостую [5]. Дробь, которая участвует в насечке, использует не полностью свою кинетическую энергию. Энергия отскокившей дробы далее не используется, поскольку гасится после соударения о стенки камеры дробемётной установки [7 – 9]. След от факела дробы характеризуется тремя зонами: с плотной насечкой поверхности площадью 350×70 мм, средней плотностью насечки площадью 780×100 мм и низкой плотностью насечки площадью 1580×190 мм.

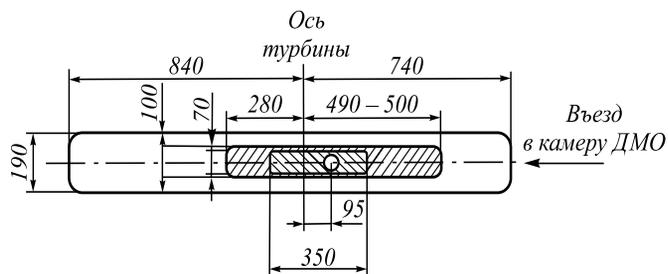


Рис. 1. След от факела дробы на листе металла после обработки по существующей технологии

Fig. 1. Shot torch trace on a metal sheet after treatment with current technology

С целью более полного использования кинетической энергии дробы и улучшения равномерности распределения плотности факела, а также уменьшения количества дробы, не участвующей в насечке, было предложено установить металлические шторы в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения дробемётного колеса. Шторы представляют собой металлические пластины из стали 30 размерами $500 \times 170 \times 10$ мм, которые прикреплялись к швеллерам дробемётной установки. Наличие штор обеспечивает формирование факела дробы с меньшей площадью и большей плотностью ударов дробы. Большая плотность факела дробы способствует формированию шероховатости насекаемой поверхности валка с большим числом пиков на единицу длины шероховатости [10 – 14].

Предварительные исследования показали, что скорость дробы после соударения со шторой меняет не только направление, но и величину. Изменение направления и уменьшение скорости дробы после соударения со шторой зависят от условий трения между дробью и поверхностью шторы, а также от угла атаки. Чрезмерное снижение скорости дробы после соударения со шторой создает нежелательный экранирующий эффект для других дробин, которые направлены непосредственно на поверхность валка. Чем больше снижение скорости дробин после соударения со шторками, тем более явно выражен экранирующий эффект [11].

Для выявления рационального расположения штор выполнены расчеты и определены зависимости между углом атаки, условиями трения и потерей скорости дробы после соударения со шторой.

Расчет предусматривает возможность скольжения и перекатывания дробы по поверхности шторы в момент их соударения. Рассмотрены три случая, когда происходит отскокивание дробы:

- 1) во время перекатывания контактирующих тел;
- 2) в условиях перекатывания и скольжения;
- 3) в условиях абсолютного скольжения.

Процесс соударения дробы с металлической шторой при наличии трения основан на взаимосвязи тангенциального и нормального импульсов при ударе. Угол трения определяется следующей зависимостью [10]:

$$\varphi = \arctg(f) = \arctg \left(\frac{\int_0^t T dt}{\int_0^t N dt} \right), \quad (1)$$

где T и N – соответственно тангенциальная и нормальная сила при ударе; t – время соударения.

Применительно к процессу соударения дробы с массивной шторой запишем следующие уравнения:

$$m\Delta V_t = \int_0^t T dt; \quad (2)$$

$$m\Delta V_n = \int_0^t N dt; \quad (3)$$

$$\frac{mr^2}{R} \Delta\omega = \int_0^t T dt, \quad (4)$$

где ΔV_t , ΔV_n и $\Delta\omega$ – изменение тангенциальной, нормальной и угловой скорости дробы; m – масса дробы; R – плечо силы трения; r – радиус инерции дробы.

Анализ уравнений (2) и (4) показывает, что дробь при соударении со шторой изменяет момент количества движения и получает импульс тангенциальных сил, равный количеству движения $m\Delta V_t$, приобретенному дробью в тангенциальном направлении:

$$m\Delta V_t = \frac{mr^2}{R} \Delta\omega. \quad (5)$$

Из зависимости (1) следует, что значения коэффициента трения скольжения и коэффициента сцепления представляют отношение тангенциального и нормального импульсов за время соударения дробы и шторы:

$$f = \frac{\int_0^t T dt}{\int_0^t N dt}. \quad (6)$$

С учетом равенства (5) выразим эту величину через изменения нормальной и тангенциальной скоростей дробы:

$$f = \frac{\Delta V_t}{\Delta V_n}. \quad (7)$$

Использование импульсного метода дает возможность описать кинематические и фрикционные характеристики процесса соударения дробы о штору с учетом скольжения и перекатывания дробы по ней.

При косом ударе дробы о штору формула (7) преобразуется к виду

$$f = \frac{V_0 \cos \alpha_0 - V_1 \cos \alpha_1}{V_0 \sin \alpha_0 + V_1 \sin \alpha_1}, \quad (8)$$

где V_0 – скорость дробы до удара о штору; α_0 – угол между вектором скорости дробы до удара и поверхностью шторы; V_1 – скорость дробы после удара о штору; α_1 – угол между вектором скорости дробы после удара о штору и поверхностью шторы.

Для приближенной оценки зависимости между V_1/V_0 и коэффициентом трения принимаем $\alpha_0 = \alpha_1$. С учетом принятого уравнение (8) после преобразования имеет вид

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_0 - V_1}{f(V_0 + V_1)}\right). \quad (9)$$

Значение коэффициента трения при соударении дроби со стальной шторой в условиях перекатывания дроби составляет 0,096; в условиях перекатывания и частичного скольжения – 0,125; в условиях скольжения – 0,105.

Зависимости между отношением V_1/V_0 и углом атаки для различных условий взаимодействия дроби со шторой приведены на рис. 2. Потеря скорости дроби после отскока от шторы на 10 % и более вызывает экранирующее действие по отношению к дроби, непосредственно направленной на поверхность валка. Согласно приведенным графикам (рис. 2) потери скорости дроби менее 10 % соответствуют углу атаки в диапазоне углов менее 23 – 28° в зависимости от характера взаимодействия дроби со шторой.

Применительно к дробемётной установке «Виллибратор» таким значениям углов атаки соответствуют вертикальное расположение штор длиной 500 мм и расстояниями между ними 600 мм (рис. 3). При потере скорости дроби после отскока от шторы менее 10 % дробь обладает достаточной кинетической энергией для дополнительной насечки поверхности валка, что увеличивает плотность пиков насекаемой поверхности при одинаковом расходе дроби.

Из рис. 3 видно, что значения углов атаки дроби по отношению к поверхности шторы, установленные по ходу вращения дробемётного колеса, изменяются в пределах 8°50' и 28°19', что соответствует соотношению V_1/V_0 от 0,97 до 0,88. Это обеспечивает допустимое экранирующее действие отскакивающей от штор дроби.

Теоретически длина пятна контакта факела дроби с насекаемой поверхностью уменьшается с 1580 до

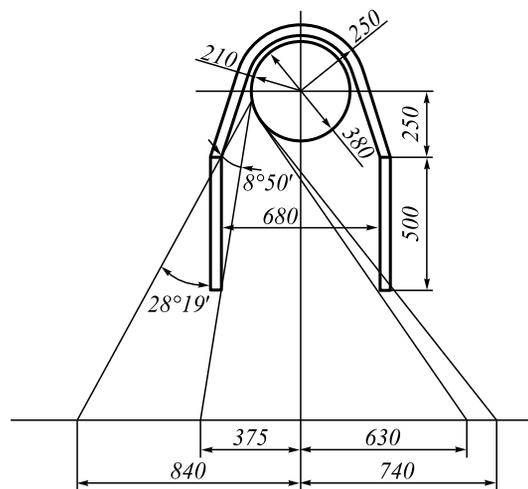


Рис. 3. Схема установки штор на дробемётной установке «Виллибратор»

Fig. 3. Curtains installation scheme of the Willibrator shot blasting machine

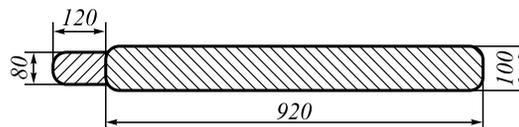


Рис. 4. След от факела дроби на листе металла после обработки дробью со специальным приспособлением в зоне колеса турбины

Fig. 4. Shot torch trace on a metal sheet after shot blasting with special tool in the zone of turbine wheel

1040 мм, что совпадает с размером следа от факела дроби на листе металла (рис. 4). Среднее значение плотности пиков по сравнению с плотностью пиков металла, дрессированного по обычной технологии, увеличилась в 1,22 раза.

Выводы. Установка штор устранила зону с низкой плотностью насечки, уменьшила зону со средней плотностью насечки до площади 120×80 мм и увеличила зону с плотной насечкой до размеров 920×100 мм. По результатам исследований получен патент на полезную модель [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Раимбеков А.М., Тевс В.И., Иващенко В.Н., Исаева Т.И. Влияние подготовки валков на формирование микрогеометрии проката при дрессировке // Сталь. 2000. № 6. С. 55 – 57.
2. Салганик В.М., Пивоваров А.В., Пивоваров Ф.В. Прогнозирование микрорельефа поверхности полосы в процессе прокатки и дрессировки. – В кн.: Теория и практика производства листового проката: Сб. тр. Ч. 1. – Липецк: изд. ЛГТУ, 2003. С. 53 – 55.
3. Митин Г.Н., Тимофеев Н.В. Исследование изменений шероховатости поверхности металла при дрессировке // Тезисы докладов международной научно-технической конференции молодых специалистов, посвященной 100-летию со дня рождения легендарного директора комбината Г.И. Носова. – Магнитогорск: изд. МГТУ, 2005. С. 75, 76.
4. Румянцев М.И. Об одном подходе к моделированию шероховатобразования полосы при холодной прокатке – В кн.: Модели-

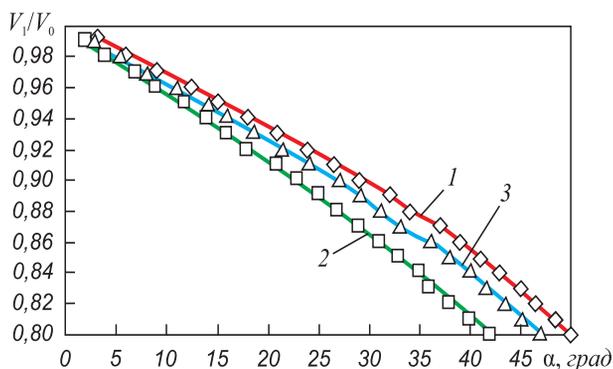


Рис. 2. Влияние угла атаки на потерю скорости дроби после взаимодействия со шторой в различных условиях:

1 – перекатывания; 2 – перекатывания и частичного скольжения; 3 – скольжения

Fig. 2. Angle-of-attack effect on speed loss of shot after interaction with curtain at different conditions:

1 – rolling; 2 – rolling and partial sliding; 3 – sliding

- рование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: изд. МГТУ им. Г.И. Носова, 2015. С. 45 – 59.
- Огарков Н.Н., Залетов Ю.Д., Ласьков С.А., Звягина Е.Ю., Пожидаев Ю.А. Совершенствование дробемётной обработки прокатных валков для производства автомобильного листа // Вестник Магнитогорского государственного технического университета. 2010. № 2 (30). С. 41 – 43.
 - Гусев Ю.В., Косоногова С.А., Дубовов Д.А. Оценка микрогеометрии поверхности листа для деталей кузовов автомобилей // Сталь. 2001. № 8. С. 84, 85.
 - Добронравов В.В., Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: Учебник для машиностроит. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983. – 575 с.
 - Огарков Н.Н. Беляев А.И., Мухаметдинова Н.П. Формирование параметров поверхностного слоя прокатных валков. – Магнитогорск: изд. МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. – 89 с.
 - Лимарев А.С., Маркварт Т.Ю. Анализ поверхностных дефектов на качество холоднокатаного автомобильного листа. – В кн.: Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. В.М. Салганика. – Магнитогорск: изд. МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. Вып. 19. С. 212 – 217.
 - Залетов Ю.Д., Шекунов Е.В., Нефедьев С.П., Воробьев А.С. Исследование нестабильности качества поверхности рабочих валков дроссировочных станов и готового автолиста. – В кн.: Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Международный сб. науч. тр. / Под ред. В.М. Салганика. – Магнитогорск: изд. МГТУ, 2012. – 326 с.
 - Бодяев Ю.А., Белов В.К. и др. Получение автолиста с регламентированной микрофотографией поверхности. – В кн.: Труды шестого конгресса прокатчиков. Липецк, 18 – 21 октября 2005 г. Т. 2. – М.: изд. ЛГТУ, 2005. С. 167 – 170.
 - Белов В.К., Беглецов Д.О. Моделирование процессов формирования микрофотографии поверхности в процессе дроссировки автолиста. – В кн.: Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. В.М. Салганика. – Магнитогорск: изд. МГТУ, 2011. С. 58 – 64.
 - Отделка поверхности листа / В.И. Мелешко, А.П. Чекмарев, В.Л. Мазур, А.П. Качайлов. – М.: Металлургия, 1976. – 272 с.
 - Гарбер Э.А., Горелик П.Б., Дилигенский Е.В. и др. Влияние режимов холодной прокатки и микрогеометрии валков на шероховатость холоднокатаных полос // Производство проката. 1999. № 6. С. 7 – 10.
 - Пат. 106579 РФ. Дробемётный аппарат / Огарков Н.Н., Звягина Е.Ю., Залетов Ю.Д. // Бюл. изобретений. 2011. № 20. С. 1076, 1077.

Поступила 17 марта 2016 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. VOL. 59. No. 12, pp. 886–890.

INCREASING THE DENSITY OF PEAKS MICROGEOMETRY OF AUTOMOBILE SHEET DUE TO IMPROVEMENT OF THE SHOT-BLASTING UNIT DESIGN

N.N. Ogarkov, E.Yu. Zvyagina, Yu.D. Zaletov, N.N. Khomenko, L.F. Kerimova

Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, Russia

Abstract. The research of the effect of installing the redesigned iron curtains in the turbine of the shot blasting machine (SBM) for notch of the work rolls surface was carried out for the temper mills “1700” and “2500” of sheet rolling shop – 5 of OJSC “MMK”. Curtains were installed in a plane perpendicular to the plane of rotation of shot blast wheel mounted in a turbine. The sizes of the curtains and place of the installation were determined, providing increased density of shot torch at notch of rolls with minimal shielding action of split shot bounces off the iron curtains. The researches have shown that a fraction speed after collision with a curtain changes not only the direction but also the magnitude. Change of direction and speed reduction of the shot after the collision with the curtain depends on the friction conditions between the shot surface and curtains, as well as the angle of attack. Shot blasting machine modernization provided opportunity to increase the density of shot torch peaks on the surface of work rolls of temper mill, and thus to increase also the density of a trained metal peaks at 1.22 times compared with metal, trained before the improvement of shot blasting machine design.

Keywords: roll, shot torch density, shot, shot blasting machine, peaks density, roll roughening.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-12-886-890

REFERENCES

- Raimbekov A.M., Tevs V.I., Ivashchenko V.N., Isaeva T.I. Influence of preparing of rollers on the formation of rolling microgeometry at tempering. *Stal'*. 2000, no. 6, pp. 55–57. (In Russ.).
- Salganik V.M., Pivovarov A.B., Pivovarov F.V. Forecasting of surface micro relief of the band at rolling. In: *Teoriya i praktika proizvodstva listovogo prokata: Sb. tr. Ch. 1* [Theory and practice of steel sheet production: Collected papers. Part 1]. Lipetsk: LGTU, 2003, pp. 53–55. (In Russ.).
- Mitin G.N., Timofeev N.V. Research of changes of metal surface roughness at tempering. In: *Tezisy докладов mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii molodykh spetsialistov, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya legendarnogo direktora kombinata G.I. Nosova* [Abstracts of the International Scientific-Technical Conference of young professionals, dedicated to the 100th Anniversary of legendary plant director G.I. Nosov]. Magnitogorsk: MGTU, 2005, pp. 75–76. (In Russ.).
- Rumyantsev M.I. On one approach to the modeling of surface roughness formation of a band at cold rolling. In: *Modelirovanie i razvitie protsessov obrabotki metallov davleniem: Mezhhregion. sb. nauch. tr.* [Modeling and development of metal forming processes: Interregional coll. of scientific works]. Salganik V.M. ed. Magnitogorsk: izd. MGTU im. G.I. Nosova, 2015, pp. 45–59. (In Russ.).
- Ogarkov N.N., Zaletov Yu.D., Las'kov S.A., Zvyagina E.Yu., Pozhidaev Yu.A. Improvement of shot blasting of rollers for the production of automobile sheet. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010, no. 2 (30), pp. 41–43. (In Russ.).
- Gusev Yu.V., Kosonogova S.A., Dubovov D.A. Evaluation of surface microgeometry of sheets for automotive body parts. *Stal'*. 2001, no. 8, pp. 66–71. (In Russ.).
- Dobronravov V.V., Nikitin N.N. *Kurs teoreticheskoi mekhaniki: uchebnik dlya mashinostroit. spets. vuzov* [Course of theoretical mechanics: Textbook for machine building institutes]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983, 575 p. (In Russ.).
- Ogarkov N.N., Belyaev A.I., Mukhametdinova N.P. *Formirovanie parametrov poverkhnostnogo sloya prokatnykh valkov* [Formation of parameters of a surface layer of rolls]. Magnitogorsk: izd. MGTU im. G.I. Nosova, 2012, 89 p. (In Russ.).
- Limarev A.S., Markvart T.Yu. Analysis of surface defects on the quality of cold-rolled automobile sheet. In: *Modelirovanie i razvitie*

- protsestov obrabotki metallov davleniem: Mezhtregion. sb. nauch. tr.* [Modeling and development of metal forming processes: Interregional coll. of scientific works]. Salganik V.M. ed. Magnitogorsk: izd. MGTU im. G.I. Nosova, 2013, no. 19. pp. 212–217.
10. Zaletov Yu.D., Shekunov E.V., Nefed'ev S.P., Vorob'ev A.S. Research of quality instability of the surface of working rollers of tempering mill and the ready-made automobile sheet. In: *Modelirovanie i razvitie protsestov obrabotki metallov davleniem: Mezhdunarodnyy sb. nauch. tr.* [Modeling and development of metal forming processes: Interregional coll. of scientific works]. Salganik V.M. ed. Magnitogorsk: MGTU, 2012, 326 p. (In Russ.).
 11. Bodyaev Yu.A., Belov V.K. etc. Production of automobile sheet with the regulated surface microtopography. In: *Trudy shestogo kongressa prokatchikov. Lipetsk, 18–21 October, 2005* [Papers of 6th Congress of roller men, Lipetsk, 18–21 October, 2005]. Vol. 2. Moscow: LGTU, 2005, pp. 167–170. (In Russ.).
 12. Belov V.K., Begletsov D.O. Modeling of the formation processes of surface microtopography in the process of automobile sheet rolling. In: *Modelirovanie i razvitie protsestov obrabotki metallov davleniem: Mezhtregion. sb. nauch. tr.* [Modeling and development of metal forming processes: Interregional coll. of scientific works]. Salganik V.M. ed. Magnitogorsk: MGTU, 2011, pp. 58–64. (In Russ.).
 13. Meleshko V.I., Chekmarev A.P., Mazur V.L., Kachailov A.P. *Otdelka poverkhnosti lista* [Sheet surface finish]. Moscow: Metallurgiya, 1976, 272 p. (In Russ.).
 14. Garber E.A., Gorelik P.B., Diligensky E.V. etc. Effect of cold rolling modes and microgeometry of rolls on roughness of cold rolled strips. *Proizvodstvo prokata*. 1999, no. 6, pp. 7–10.
 15. Ogarkov N.N., Zvyagina E.Yu., Zaletov Yu.D. *Drobemetnyi apparat* [Shot-blasting machine]. Patent RF no. 106579. *Byulleten' izobretenii*. 2011, no. 20, pp. 1076–1077. (In Russ.).
- Information about the authors:**
- N.N. Ogarkov, Dr. Sci. (Eng), Professor of the Chair "Engineering Technology" (ogarkovnikolai@mail.ru)*
- E.Yu. Zvyagina, Senior Lecturer of the Chair "Engineering Technology" (zviagina_mmf@mail.ru)*
- Yu.D. Zaletov, Cand. Sci. (Eng), Assist. Professor of the Chair "Engineering Technology" (yzaletov@mail.ru)*
- N.N. Homenko, Assist. Professor of the Chair "Mechanics" (XomHH@mail.ru)*
- L.F. Kerimova, Student (liliya-kerimova@mail.ru)*

Received March 17, 2016