

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 621.892.2

Разработка установки для магнито-термического армирования полимерных деталей сельскохозяйственных машин

Воронин Н.В., Филатов И.С., Родионов Ю.В., Никитин Д.В.

Аннотация. Ежегодные темпы роста технологий аддитивного производства расширяют спектр применения изделий (уплотнений, шестерен и зубчатых колес, лопаток воздуходувки и насосов) из полимерных материалов в сельскохозяйственном машиностроении. Такие изделия обладают малым весом, высокой технологичностью и простотой изготовления. При этом недостаточная поверхностная твердость и износостойкость ограничивают их применение в быстроходных и тяжело нагруженных механизмах. В связи с этим разработку методов упрочнения поверхностей полимеров актуальной задачей. В работе представлена экспериментальная установка, позволяющая методом магнито-термического армирования проводить внедрение ультрадисперсных частиц ферромагнетика (порошок никеля ПНК-УТЗ размерностью 40 мкм) в поверхность изделий из термопластов и реактопластов. Определены основные режимы и параметры работы экспериментальной установки. Проведены микроскопические и триботехнические исследования упрочненных поверхностей полимерных образцов (был использован полипропилен марки «Бален 01270»). Исследованы параметры поверхностной твердости и износостойкости полученных образцов. Показана возможность получения изделий из термопластов и реактопластов с армированной металлом поверхностью непосредственно в процессе их формовки, что значительно сокращает время и затраты энергии на производство деталей.

Ключевые слова: ноль-мерное армирование, сельскохозяйственная техника, термопласты, реактопласты, износостойкость.

Для цитирования: Воронин Н.В., Филатов И.С., Родионов Ю.В., Никитин Д.В. Разработка установки для магнито-термического армирования полимерных деталей сельскохозяйственных машин // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 3. С. 32–37.

Development of an installation for magneto-thermal reinforcement of polymer parts of agricultural machines

Voronin N.V., Filatov I.S., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V.

Abstract. The annual growth rate of additive manufacturing technologies expands the range of applications for products (seals, gears and gears, blower and pump blades) made of polymer materials in agricultural engineering. Such products are lightweight, highly adaptable and easy to manufacture. At the same time, insufficient surface hardness and wear resistance limit their use in high-speed and heavily loaded mechanisms. In this regard, the development of methods for hardening polymer surfaces is an urgent task. The paper presents an experimental setup that allows using the method of magneto-thermal reinforcement to carry out the introduction of ultradispersed ferromagnetic particles (nickel powder PNK-UT3 with a dimension of 40 μm) into the surface of thermoplastic and thermosetting plastics. The main modes and parameters of the experimental setup have been determined. Microscopic and tribotechnical studies of hardened surfaces of polymer samples were carried out (polypropylene of the «Balen 01270» brand was

used). The parameters of the surface hardness and wear resistance of the obtained samples are investigated. The possibility of obtaining products from thermoplastics and thermosets with a metal-reinforced surface directly in the process of their molding is shown, which significantly reduces the time and energy consumption for the production of parts.

Keywords: zero-dimensional reinforcement, agricultural machinery, thermoplastics, thermosets, wear resistance.

For citation: Voronin N.V., Filatov I.S., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V. Development of an installation for magneto-thermal reinforcement of polymer parts of agricultural machines. *Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]*. 2021. Vol. 8. No. 3. pp. 32–37. (In Russ.).

Введение

Одной из основных проблем, сдерживающей использование полимерных деталей в сельскохозяйственном машиностроении, является низкая устойчивость термопластичных полимеров к истиранию и абразивному износу вследствие их низкой поверхностной твердости [1-4]. Одним из возможных методов повышения поверхностных свойств такого рода деталей является метод внедрения в их поверхностный слой металлических частиц в дисперсном или ультрадисперсном состоянии (ноль-мерное армирование высокой плотности). В этом случае на поверхности образца создается структура близкая по свойствам к металлической. Для реализации указанного метода на базе кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ПГТУ» была создана экспериментальная установка, позволяющая армировать поверхности изделий из термопластов с различными физико-химическими свойствами порошками ферромагнитных металлов и сплавов в ультрадисперсном состоянии.

Целью работы является разработка конструкции и изготовление экспериментальной установки для отработки метода магнито-термического поверхностного армирования деталей из термопластов.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является метод поверхностного армирования полимерных сельскохозяйственных изделий, а также оборудование для его реализации.

Для отработки метода поверхностного армирования использована разработанная и изготовленная экспериментальная установка, состоящая из следующих основных узлов:

- вертикальный штатив с креплением для термопистолета и зажимом для образцов с возможностью изменения как расстояния между ними, так и их высоты относительно магнитной системы;
- термопистолет LODESTAR L502310 с трехступенчатой регулировкой расхода воздуха и электронным датчиком температуры с жидкокристаллической индикацией;

- магнитная система, состоящая из лабораторной катушки на 480 витков (диаметр провода диаметром 0,5 мм), располагающейся вокруг сердечника из электротехнического железа диаметром 14 мм;

- лабораторный блок питания YX-P305D с регулировкой по току и напряжению, используемый для питания магнитной системы на любых режимах ее работы;

- мультиметр DT-838 и термopара типа ХК для контроля температуры во всех частях рабочей зоны установки.

Также в экспериментах для исследования структуры образцов был использован микроскоп МБС-9.

Основой метода поверхностного армирования термопластов является внедрение в расплавленный поверхностный слой детали металлических частиц ферромагнетика одновременным действием на них теплового и магнитного полей. Особенностью метода является то, что расплавленная поверхность формируется локально в местах внедрения частиц за счет более высокой их теплопроводности.

Результаты и их обсуждение

Разработанная экспериментальная установка для отработки разработанного метода представлена на рис. 1.

Основной функциональной задачей, созданной установки, являлось формирование слоя равномерно расположенных частиц из металла с обеспечением их надежной фиксации в поверхностном слое полимера за счет избыточного усилия. Для этой цели было использовано совместное воздействие внешнего теплового потока, направленного на модифицируемую поверхность полимера, и магнитного поля, действующего на металлические частицы [5-7].

Особенностью разрабатываемого метода являлось использование металлических частиц (металлического порошка) с явно выраженными ферромагнитными свойствами – например, железо, никель и кобальт.

В связи с интенсивным температурным воздействием на внедряемые частицы существует

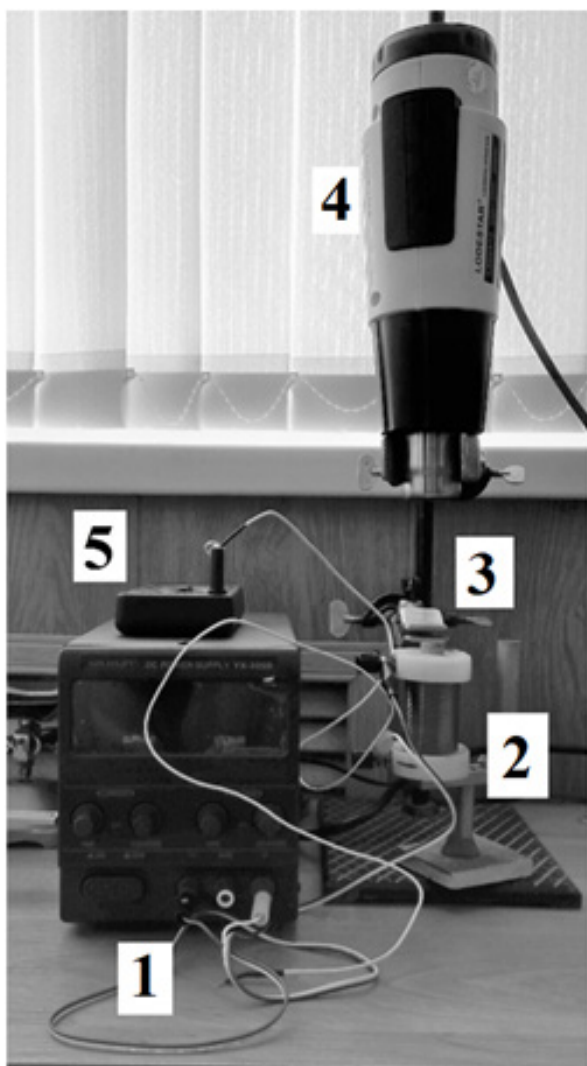


Рис. 1. Экспериментальная установка для отработки метода магнито-термического армирования: 1 – блок питания, 2 – магнитная система, 3 – держатель для образцов, 4 – термопистолет, 5 – мультиметр с термопарой типа ХК.

опасность их окисления и, как следствие, потери магнитных свойств. Поэтому в работе использовался устойчивый к окислению в процессе нагрева никелевый порошок марки ПНК-УТЗ с размерностью частиц 40 мкм.

В качестве экспериментальных образцов использовались пластины полипропилена марки «Бален 01270» квадратной формы со стороной 30 мм и толщиной 1,4 мм, что позволяло жестко зафиксировать образец в держателе и металлизировать поверхность в любой точке. Повышение поверхностной энергии образцов достигалось их шлифованием до шероховатости Rz40...Rz80.

В первой части исследований исследуемые образцы были расположены на сердечнике электромагнита для максимизации использования энергии магнитного поля. Подаваемая на многослойную катушку электрическая мощность при оптимальном режиме работы установки (ток 4 А, напряжение 10 В) составила 40 Вт, что дало

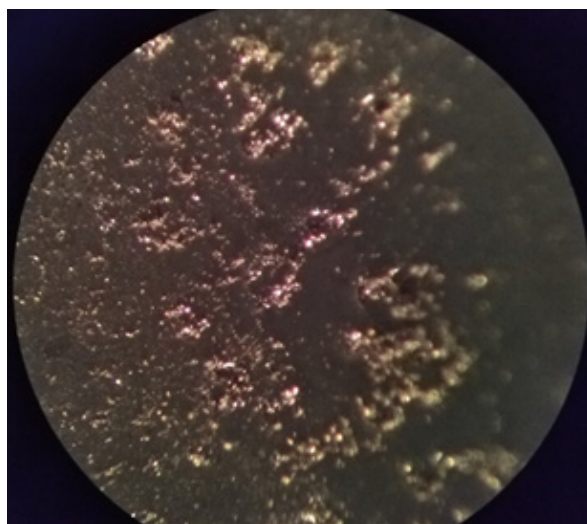


Рис. 2. Микроструктура поверхности образца. Микроскоп МБС-9, увеличение 100х.

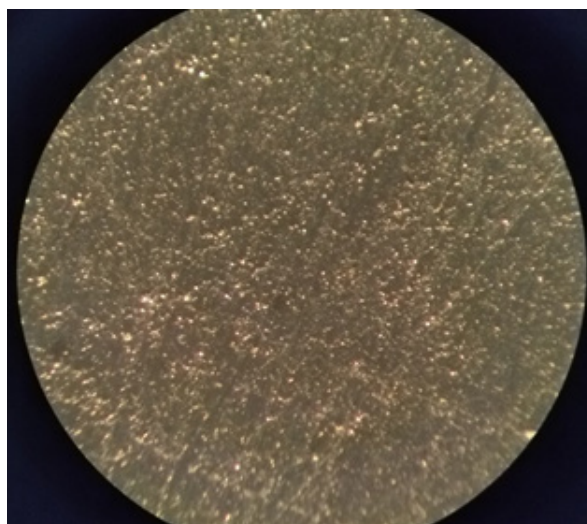


Рис. 3. Микроструктура поверхности образца термопласта после магнито-термического воздействия. Микроскоп МБС-9, увеличение 100х.

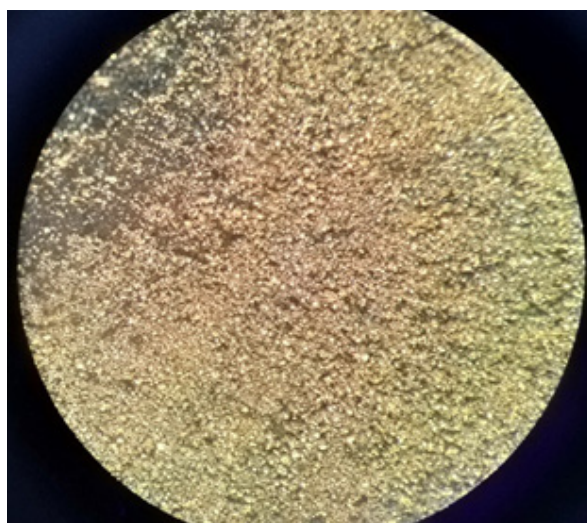


Рис.4. Микроструктура поверхности образца терморезистивного полимера после магнито-термического воздействия. Увеличение 100х.

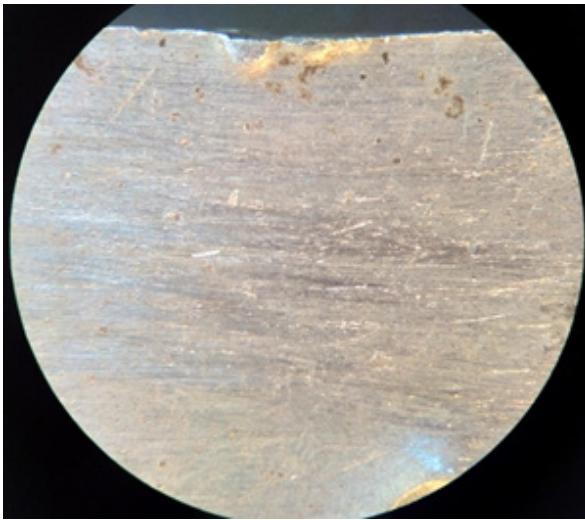


Рис. 5. Поверхность образца из дуралюмина после абразивного воздействия армированного образца. Увеличение 30х.

напряженность магнитного поля на поверхности образца 42 кА/м и намагничивающую силу катушки 1920 А-в.

Предварительная настройка экспериментальной установки показала, что расстояние в 80 мм от среза сопла термопистолета до поверхности исследуемого образца является наилучшим для эффективного протекания процесса внедрения металлических частиц при скорости потока нагретого воздуха в 7,5 м/с на первой ступени. Увеличение расстояния не обеспечивало достаточный нагрев внедряемых частиц и их проникновение в исследуемую поверхность. Вместе с тем при уменьшении расстояния от среза сопла термопистолета до поверхности исследуемого образца разогретый воздушный поток расплавлял поверхностный слой исследуемого образца и формировал структуру с высоким поверхностным натяжением, что делало невозможным внедрение частиц металла [5-7].

При проведении основной части экспериментальных исследований был обнаружен значительный отвод тепла в железный сердечник соленоида, несмотря на низкую теплопроводность используемого полимера. Из-за этого внедрение частиц в область образца, находящуюся под действием магнитного поля, было затруднительным. При этом периферийная область имела явно выраженное подплавление поверхности с внедренными частицами металлического порошка (рис. 2).

Полученные при настройке установки оптимальные расстояния от среза сопла термопистолета до поверхности образца, а также значения скорости потока нагретого воздуха позволили при дальнейших экспериментах не допустить подплавления периферийной области и получить стабильное распределение частиц порошка по поверхности.

Для решения проблемы нестабильности

распределения частиц в области намагничивания из-за значительного теплоотвода в объем сердечника электромагнита был установлен зазор 1,5 мм между пластиной и сердечником. Это позволило несущественно снизить напряженность магнитного поля, но при этом стабилизировать расположение ферромагнитных частиц по поверхности образца (рис. 3).

Для оценки полученного результата металлизированная поверхность была подвергнута трению по поверхности детали-образца из сплава Д16. Металлизированный пластик оставлял на поверхности сплава выраженные следы трения, при этом поверхностный слой металлизированного образца оставался целостным и масса образца в целом не изменялась, что говорит о достаточной прочности удержания частиц в полимере [5-7].

В результате опытов получены наиболее благоприятные режимы работы установки, обеспечивающие внедрение ферромагнитных частиц в поверхность полипропилена: напряженность магнитного поля $H=42$ кА/м, температура у кромки сопла $T=230$ °С, расстояние от кромки сопла до образца 80 мм, сила тока $I=4$ А, напряжение $U=10$ В. В этом случае температура поверхности термопласта в месте ее контакта с порошком составила 200 °С, тем не менее размягчения поверхности и внутренних слоев полипропиленовой пластины не наблюдалось.

Армирование поверхности изделий из реактопластов не требует нагрева, так как ферромагнитные частицы внедряются в поверхность на этапе формования изделия. Поэтому для проведения эксперимента была использована только магнитная система. Формовка проводилась в стальной форме, в качестве реактопласта был применен двухкомпонентный состав ЭДП на основе эпоксидной смолы. Здесь исследовалась возможность получения изделий из реактопластов с повторением внешней поверхностью внутренних контуров формы, одновременно с этим поверхность армировалась ферромагнитным порошком, аналогичным использованному ранее. Для удержания частиц порошка на внутренней поверхности стальной формы было использовано магнитное поле с тем же значением напряженности, что и ранее. Перемешанный до однородного состояния композит заполнял форму под давлением до полного ее заполнения. По окончании полимеризации состава и извлечения образца из формы была изучена структура полученной поверхности (рис. 4).

При удельном давлении запрессовки реактопласта в форму 5 кг/см² процент заполнения поверхности образца порошком ферромагнетика составил не менее 95, при этом на стенках формы остатков порошка не наблюдалось. Проверка удержания частиц в поверхности реактопласта проводилась абразивным воздействием с удельным давлением 1 кг/см² и скоростью движения 10 см/

сек, что аналогично предыдущему эксперименту. Абразивное трение в течение 10 секунд не выявило при последующем рассмотрении изменения структуры металлизированной поверхности и изменения массы испытуемого образца. Это свидетельствует о высокой поверхностной твердости и износостойкости полученного образца. Микроскопическое исследование поверхности дуралюминовой показало наличие следов абразивного износа, что означает придание поверхности полимерного образца свойств, максимально близких к свойствам внедренного порошка (рис.5).

Разработанный метод позволит существенно повысить эксплуатационные характеристики полимерных изделий, используемых в машинах и механизмах АПК – таких, как приводные шестерни и зубчатые колеса, лопатки воздухоуловков и насосов, различные уплотнения, лотки и т.д. Для расширения области использования разработанного метода в настоящее время авторами ведутся исследования армирования других марок полимеров (полиэтилен и его производные, полиамид, полистирол и

т.д.) ферромагнитными порошками разной дисперсности (от 70 нм и больше) [8].

Выводы

В работе определены основные режимы и параметры работы экспериментальной установки, позволяющей методом магнито-термического армирования проводить внедрение ультрадисперсных частиц ферромагнетика в поверхность изделий из термопластов и реактопластов. Проведены микроскопические и триботехнические исследования металлизированных поверхностей. Показаны параметры поверхностной твердости и износостойкости полученных образцов.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ «Разработка метода магнито-термического упрочнения полимеров ферромагнитными порошками различной дисперсности для деталей машин широкого спектра применения», конкурс «Аспиранты», 2020 г. № договора 20-33-90298/20.

Литература

- [1] Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы: учеб. пособие. Ч. 1. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. 118 с.
- [2] Родионов Ю.В., Селиванов Ю.Т., Никитин Д.В. и др. Новая конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2019. № 6. С. 22–25.
- [3] Воронин Н.В., Родионов Ю.В., Скоморохова А.И. и др. Теоретические исследования контактных и изгибных напряжений лопаток рабочего колеса и корпуса жидкостнокольцевого вакуумного насоса из полимеров // Наука в центральной России. 2020. № 3 (45). С. 85–97.
- [4] Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, И. С. Филатов, Д. В. Никитин. Современное состояние использования и производства деталей и узлов из полимеров для техники агропромышленного комплекса // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «ЦИФРОВИЗАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА». В 2-х т. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. Том 2, стр. 29-34.
- [5] Тагер А.А. Физико-химия полимеров. 4-е изд., перераб. и доп. Учеб. пособие для хим. фак. ун-тов / А. А. Тагер; под ред. А. А. Аскадского. М. : Научный мир, 2007. 573с.
- [6] Кишук П.С. Упрочнение композитов ориентированными макромолекулами полимеров // ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. Издательство: ИП Жукова Е.В. ISSN: 2542-2146.

References

- [1] Bondaletova L.I., Bondaletov V.G. Polimernye kompozicionnye materialy: ucheb. posobie. Ch. 1. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2013. 118 p.
- [2] Rodionov Yu.V., Selivanov Yu.T., Nikitin D.V. i dr. Novaya konstrukciya zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2019. No 6. P. 22–25.
- [3] Voronin N.V., Rodionov Yu.V., Skomorohova A.I. i dr. Teoreticheskie issledovaniya kontaktnyh i izgibnyh napryazhenij lopatok rabocheho kolesa i korpusa zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa iz polimerov // Nauka v central'noj Rossii. 2020. No 3 (45). P. 85–97.
- [4] N. V. Voronin, Yu. V. Rodionov, I. S. Filatov, D. V. Nikitin. Sovremennoe sostoyanie ispol'zovaniya i proizvodstva detalej i uzlov iz polimerov dlya tekhniki agropromyshlennogo kompleksa // Sbornik trudov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «CIFROVIZACIYA AGROPROMYSHLENNOGO KOMPLEKSA». V 2-h t. Tambov: Izdatel'skij centr FGBOU VO «TGTU», 2020. Tom 2, ppg. 29-34.
- [5] Tager A.A. Fiziko-himiya polimerov. 4-e izd., pererab. i dop. Ucheb. posobie dlya him. fak. un-tov / A. A. Tager; pod red. A. A. Askadskogo. M. : Nauchnyj mir, 2007. 573 p.
- [6] Kishchuk P.S. Uprochnenie kompozitov orientirovannymi makromolekulami polimerov // TEHNOLOGIYA MASHINOSTROENIYA I MATERIALOVEDENIE. Izdatel'stvo: IP Zhukova E.V. ISSN: 2542-2146.
- [7] Kobzev D.Y., Kombarova P.V., Baronin G.S., Rodionov

- [7] Kobzev D.Y., Kombarova P.V., Baronin G.S., Rodionov Y.V., Nikitin D.V. MANUFACTURING PRODUCTS FROM POLYMERS AND POLYMERBASED COMPOSITE MATERIALS BY SOLID PHASE PRESSURE FORMING: PROBLEMS, SOLUTIONS AND PROSPECTS // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 15th. 2015. Ppg. 127-134.
- [8] Оглезнева С.А., Князев А.А., Гревнов Л.М. Исследование влияния дисперсности порошка никеля на свойства алмазного инструмента // Фундаментальные исследования. 2017. №10-3. Стр. 497-501.
- Y.V., Nikitin D.V. MANUFACTURING PRODUCTS FROM POLYMERS AND POLYMERBASED COMPOSITE MATERIALS BY SOLID PHASE PRESSURE FORMING: PROBLEMS, SOLUTIONS AND PROSPECTS // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 15th. 2015. Ppg. 127-134.
- [8] Oglezneva S.A., Knyazev A.A., Grevnov L.M. Issledovanie vliyaniya dispersnosti poroshka nikelya na svoystva almaznogo instrumenta // Fundamental'ny'e issledovaniya. 2017. No. 10-3. Ppg. 497-501.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Воронин Николай Владимирович аспирант кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(915) 881-08-04 E-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru</p>	<p>Voronin Nikolai Vladimirovich postgraduate at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(915) 881-08-04 E-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru</p>
<p>Филатов Иван Сергеевич кандидат технических наук старший преподаватель кафедры специальных дисциплин ТОГБПОУ «Приборостроительный колледж» 392008, г. Тамбов, Моршанское шоссе, 17 Тел.: +7(905) 121-97-02 E-mail: ridder@mail.ru</p>	<p>Filatov Ivan Sergeevich senior lecturer of the department special disciplines Instrument Making College Phone: +7(905) 121-97-02 E-mail: ridder@mail.ru</p>
<p>Родионов Юрий Викторович доктор технических наук профессор кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(920) 478-04-91 E-mail: rodionow.u.w@rambler.ru</p>	<p>Rodionov Yuri Viktorovich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(920) 478-04-91 E-mail: rodionow.u.w@rambler.ru</p>
<p>Никитин Дмитрий Вячеславович кандидат технических наук доцент кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(475) 263-04-59 E-mail: vacuum2008@yandex.ru</p>	<p>Nikitin Dmitry Vyacheslavovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(475) 263-04-59 E-mail: vacuum2008@yandex.ru</p>