

УДК: 658.5.011

DOI: 10.30987/article_5c9b8b2dc7e218.14508954

Е.Г. Семенова, Н.Г. Махров, С.Г. Борисов

ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В статье рассмотрены перспективы применения новых технологий аддитивного производства для промышленных индустрий, основные проблемы качества изготавливаемых изделий при аддитивном производстве. Предложен метод настройки программно-аппаратной части устройства для повышения результативности печати и снижения уровня брака в прототипах промышленного производства.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прототипы, терморегуляция, программное обеспечение, g code, управление технологическим процессом, качество.

E.G. Semenova, N.G. Makhrov, S.G. Borisov

INTRODUCTION OF NEW METHODS OF DIGITALIZATION OF HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEMS IN ADDITIVE PRODUCTION

The article describes the prospects of applications new technologies of additive production for the industrial industries, the main problems of quality of manufactured products by additive production. A method of adjusting the hardware and software part of the device to improve the efficiency of printing and reduce the level of defects in prototypes of industrial production is proposed.

Keywords: additive technologies, prototypes, thermoregulation, software, g code, process control, quality.

Введение

Согласно директивным документам Правительства Российской Федерации — «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной Правительством Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р, «Прогноз научно-технологического развития РФ: 2030. Информационно-коммуникационные технологии» и Постановлению Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» — одним из приоритетных направлений технологического развития страны является «Цифровые устройства, обладающие свойствами репликации и самовосстановления технологий послойной (аддитивной) 3D-печати». В ключе цифровой экономики перспективными выделяются технологии, способствующие перестроению промышленно-производственного сектора в ключе внедрения «новых производственных технологий».

1. Влияние стандартов на трансформацию производственных процессов

Главными аспектами индустриального развития четвертого поколения являются новые технологические решения, на базе которых осуществляется цифровая трансформация глобальных отраслей, как и в Российской, так и Мировой промышленности. Современные методы цифровизации позволяют достигать новых результатов качества и конкурентоспособности не только в рамках производственных процессов, но и в общих аспектах повышения операционной эффективности предприятий.

Исследование, проведенное PWC с участием производителей, показало, что 71 % опрошенных использует 3D-печать в той или иной степени (по сравнению с 66 % в прошлом году). Также было обнаружено, что 20 % производителей применяют 3D-принтеры для производства готовых деталей по сравнению с 10 % в предыдущем году.

50 % производителей планируют увеличить бюджет на 3D-печать в течение ближайшего года. Согласно данным Fast Radius, производители не только освоили технологию, но и добились положительных результатов, в связи с чем планируют увеличить расходы на 3D-печать в течение ближайшего года. Это касается более 50 % опрошенных, при этом 33 % отметили, что увеличат соответствующие статьи бюджета более чем на 50 % по сравнению с предыдущим годом.

Производители, внедрившие 3D-печать, будут использовать ее в самых различных целях, начиная с простых экспериментов и заканчивая прототипированием и печатью функциональных узлов. Согласно исследованию Fast Radius, производители в основном применяют трехмерную печать для прототипирования (77 %), а печать функциональных узлов немного не дотягивает до этой цифры (60 %).

Объем мирового рынка 3D-печати будет расти в среднем на 22,3 % в период с 2015 по 2020 годы и достигнет \$28,9 млрд к концу этого временного отрезка, говорится в исследовании аналитиков. Касаясь географической структуры, мировой рынок 3D-принтеров сегментирован следующим образом: США (38 %), Япония (18 %) и Германия (9%). Свои разработки в этой области ведутся и в Российской Федерации – вполне вероятно, что пьедестал почета может существенно измениться уже в ближайшие 5 лет.

Для ускорения темпов развития технологий печати в Российской Федерации принят ряд стандартов, регулирующих технологические, метрологические и программно-аппаратные особенности, являющиеся важным составляющим для процесса трансформации аддитивной печати в рамках глобального индустриального развития (рис. 1). К таким стандартам относятся:

1. ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 (Аддитивные технологические процессы. базовые принципы Часть 1 Термины и определения);
2. ГОСТ Р 57589-2017 (Аддитивные технологические процессы. базовые принципы — часть 2 Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования);
3. ГОСТ Р 57590-2017 (Аддитивные технологические процессы базовые принципы — часть 3 Общие требования);
4. ГОСТ Р 57591-2017 (Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы - часть 4. Обработка данных).

На данный момент присутствует недостаток в методах, описывающих влияние процессов аддитивной печати на индустриальное развитие, что, в частности, способствует замедлению темпов роста аддитивных технологий в индустриальном секторе Российской промышленности. В комплексном развитии крупнейших технологических лидеров мировой промышленности предполагается активно внедрять методы и модели цифровизации производства, а также производить исследования, направленные на разработку методологии управления качеством на всех стадиях жизненного цикла.

2. Использование программного кода для машинного обучения

На данный момент существует ряд ограничений, который препятствуют активному внедрению аддитивной печати в сектор масштабного производства. Зачастую, при использовании полимеров, проще использовать технологические решения по «заливке» форм и созданию однотипных матриц. При конвейерном производстве изделий из металла уже применяется различное станковое оборудование и роботизированная техника, ориентированная на большую загрузку производственных мощностей. Промежуточный переход от единичного изделия к массовому производству может быть достигнут с максимальной результативностью при применении аддитивных технологий и внедрении элементов цифровизации в операционную эффективность процессов.

Известно, что устройства аддитивной печати выполняют печать посредством команд, считываемых из кода (G-code), который формируется на базе специализированного

программного обеспечения. G-code (рис. 2) — условное именование языка программирования устройств с ЧПУ. Был создан компанией Electronic Industries Alliance в начале 1960-х. Финальная доработка была одобрена в феврале 1980 года как стандарт RS274D. Комитет ISO утвердил G-код, как стандарт ISO 6983-1:1982, Госкомитет по стандартам СССР — как ГОСТ 20999-83.

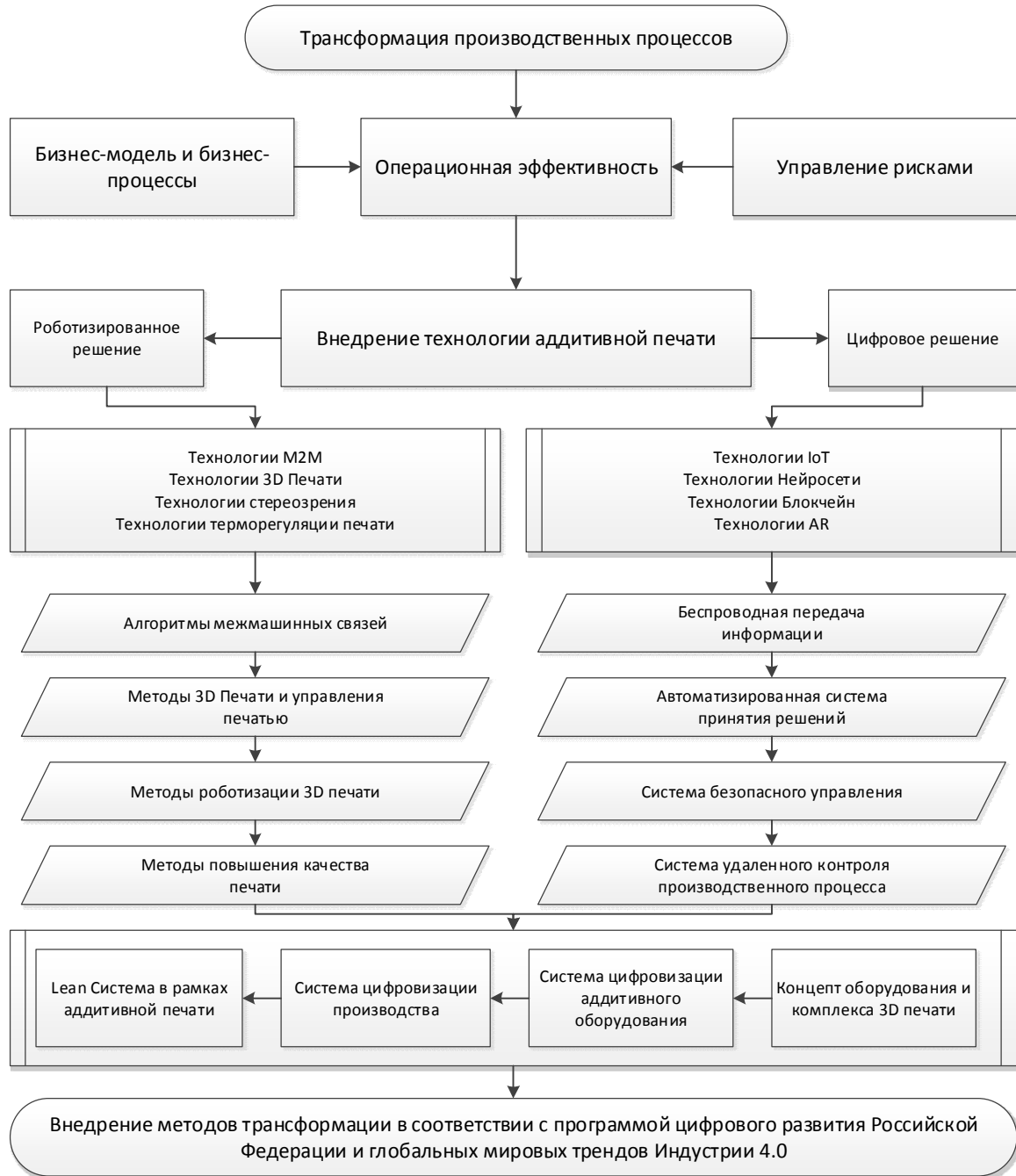


Рис. 1. Процесс трансформации аддитивной печати в рамках глобального индустриального развития

Ключевой особенностью языка программирования является возможность назначения многоуровневого управления всеми узлами устройства, благодаря чему возможно создание результативных компоновок программно-аппаратной части, что позволяет реализовывать новые технологические методы повышения качества при производстве. Отмечается, что основными причинами низкого качества получаемых изделий являются: несовершенство оснастки и несоблюдение технологической процедуры печати и температурных режимов.

Возникает потребность в доработке программно-аппаратной части и точной настройки оборудования, для устранения проблем при печати посредством внедрения методов (рис. 3), закладываемых при формировании G-code и на уровне CAD-моделирования.

```

;Generated with Cura_SteamEngine 18.09.05
;Cura18.09.05-MakerPi32
M190 S50.000000
M140 S70.000000
M109 S230.000000
;Sliced at: Sat 02-02-2019 13:22:10
;Basic settings: Layer height: 0.2 Walls: 0.8 Fill: 20
;Print time: 6 hours 23 minutes
;Filament used: 22.769m 67.0g
;Filament cost: None
;M190 S70 ;Uncomment to add your own bed temperature line
;M109 S230 ;Uncomment to add your own temperature line
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
M82 ;set extruder to absolute mode
M107 ;start with the fan off
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops
G28 Z0 ;move Z to min endstops
G1 Z1.50 F4800 ;move the platform down 1.5mm
G92 E0 B0 ;zero the extruded length
G1 F200 E8 B2 ;extrude 8mm of feed stock
G92 E0 B0 ;zero the extruded length again
G1 F4800
;Put printing message on LCD screen
M117 Printing...

M305 S1 $57 ;check Command
;Layer count: 509
;LAYER:-2
;RAFT
G0 F4800 X24.767 Y52.314 Z0.300 E 5.77535 B0.00000 $107
G92 E0 B0 $75
G92 E0.5 B0.5 $75
G92 E0 B0 $75
;TYPE:SUPPORT
G1 F1200 X25.601 Y52.073 E0.21655 $95
G1 X26.463 Y51.927 E0.43464 $48
    
```

Рис. 2. Пример программного кода, с заложенными характеристиками по терморегуляции, скорости печати, температуре рабочих областей, координатных точек и иных параметров

Для улучшения качества печати разработан метод формирования температурных режимов, достигаемых благодаря изменению программного кода, созданного на базе высокоуровневого ПО «Cura-MakerPi». Для регулирования температурных режимов необходимо изменять достаточно большое количество функций печати, жертвуя при этом такими важными характеристиками, как скорость печати и конструкционную прочность. Для комплексного преодоления установленных проблем рассматривается последовательность процессов (Рис. 4) параметров печати.

В основном, искажение форм изделий обусловлено влиянием расплавленного потока при проскальзывании на отдельных участках формирующего элемента за счет сохранения температурных показателей. В следствии данного эффекта накладываемый слой становится нерегулируемым под воздействием исходящего потока (рис. 4). При построении математической модели формирования температурных режимов относительно подачи направленных воздушных потоков на изделие были рассмотрены только вопросы, специфичные для процесса формования полимерного слоя относительно степеней продувки.

Теплообмен между расплавом полимера и окружающей средой в общем случае осуществляется по трем механизмам: вынужденной конвекцией, свободной конвекцией и лучеиспусканием. Величина критической скорости сдвига, при которой начинают проявляться неньютоновские свойства расплавов, с повышением температуры повышается в зависимости от скорости продувки (Рис.5).



Рис. 3. Проблемы печати и методы решения

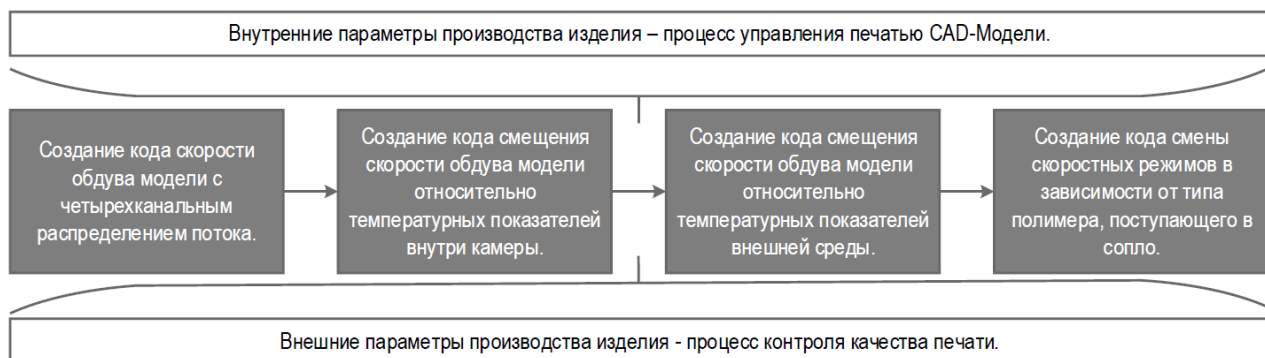


Рис. 4. Процесс управления программным кодом

Увеличение скорости потока напрямую воздействует на время релаксации полимерного изделия, при котором расплав начинает вести себя как ньютоновская жидкость при сохранении полной температуры (Рис.6).

Учитывая представленные расчеты, необходимо выделить энергию активации вязкого течения термопластов, позволяющую организовать наилучшие условия при печати трехмерной модели, принимая во внимание закладываемые параметры терморегуляции в структуру программного кода. Исходные параметры возможно закладывать в программную часть для прототипов изделий, производимых на основе различных видов полимера.



Рис. 5. Зависимость теплового потока от продувок

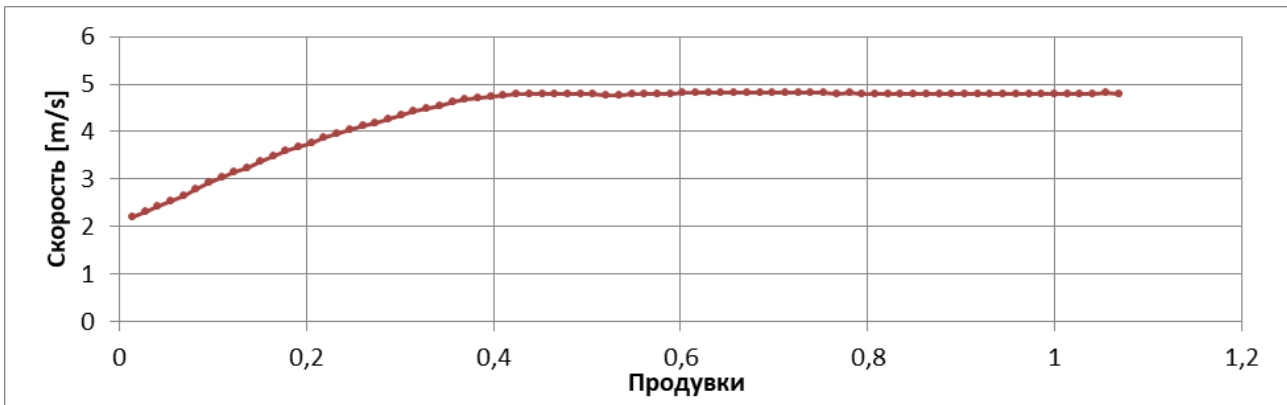


Рис. 6. Зависимость скорости потока от продувок

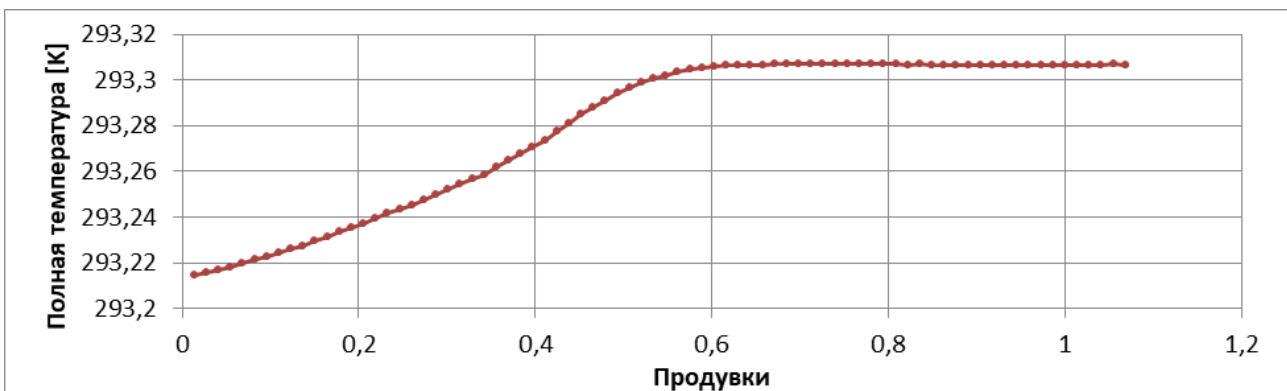


Рис. 7. Зависимость температурного потока от продувок

Также, современные установки аддитивной печати позволяют изменять параметры температурного регулирования непосредственно во время печати, что в значительной степени может повлиять на качество конечных изделий и производить отладку оборудования под конкретные производственные процессы.

Заключение

Аспект качества моделей является одним из главных свойств развития аддитивных технологий и имеет ключевой аспект при разработке системы автоматизированного управления производственными процессами изготовления трехмерных моделей промышленными и научными предприятиями.

Внедрение новых методов цифровизации программно-аппаратных комплексов аддитивной печати позволяет создавать базовые прототипы и проводить натурные исследования в рамках НИОКР в более короткие промежутки времени. Благодаря внедрению предупреждающих действий на основе изменения параметров печати и обучению аддитивного оборудования при помощи программного кода удается снизить хрупкости изделий и повысить эксплуатационные характеристики при данном за счет повышения адгезии наполнителя в полимерной матрице при определенных режимах нагрузки.

Грант: «Фонд содействия инновациям». Участник: Махров Николай Геннадьевич. Этап: «УМНИК-17 (б)». Тема: «Разработка технологии повышения качества охлаждения полимерных изделий посредством внедрения портативного устройства терморегуляции 3D печати». Номер договора: 13478ГУ/2018 от 20.07.2018.

Список литературы:

1. Семенова Е.Г., Чабаненко А.В. Анализ и синтез организационно-технических решений при аддитивном производстве // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. № 1 (01), 2018 С. 33-41.
2. Новиков В.Д. Сопряженный теплообмен непрерывных тел, движущихся через теплоноситель. Электронный ресурс: <http://www.dissercat.com/content/sopryazhennyi-teploobmen-nepreryvnykh-tel-dvizhushchikhsya-cherez-teplonositel>
3. Галыгин В.Е., Баронин Г.С. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов. - о ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. (<http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2012/galigin.pdf>)
4. ГОСТ Р 57558-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. (http://allgosts.ru/01/020/gost_r_57558-2017.pdf)
5. ГОСТ Р 57589-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы - часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования. (http://allgosts.ru/71/020/gost_r_57589-2017.pdf)
6. Спинсанте С. IIoT с точки зрения обработки сигналов. Control Engineering Россия №3, май 2018 Электронный ресурс: <https://ptelectronics.ru/stati/iiot%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2/>

References:

1. Semyonova E.G., Chabanenko A.V. The analysis and synthesis of organizational technical solutions by additive production//Automation and modeling in design and management. No. 1 (01), 2018 P. 33-41.
2. Novikov V. D. The interfaced heat exchange of the continuous bodies moving via the heat carrier. Electronic resource: <http://www.dissercat.com/content/sopryazhennyi-teploobmen-nepreryvnykh-tel-dvizhushchikhsya-cherez-teplonositel>
3. Galygin V.E., Baronin G.S. Modern technologies of receiving and processing of polymeric and composite materials. - about FSBEI HE "TSTU", 2012. (<http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2012/galigin.pdf>)
4. GOST R 57558-2017 Additive technological processes. Basic principles. Part 1. Terms and definitions. (http://allgosts.ru/01/020/gost_r_57558-2017.pdf)
5. GOST R 57589-2017 Additive technological processes. The basic principles - Part 2. Materials for additive technological processes. General requirements. (http://allgosts.ru/71/020/gost_r_57589-2017.pdf)
6. Spinsante S. IIoT from the point of view of processing of signals. Control Engineering Russia №3, may 2018 Electronic resource: <https://ptelectronics.ru/stati/iiot%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2/>

Статья поступила в редколлегию 20.02.19.

Рецензент: д.т.н., доцент Брянского государственного технического университета

Аверченков А.В.

Статья принята к публикации 25.02.19.

Сведения об авторах:

Семенова Елена Георгиевна

д.т.н., профессор
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»,
Зав. кафедрой № 5 инноватики и интегрированных систем качества
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000, Россия
Тел. (раб.) (812) 494-70-69
Тел.н (дом.) (812) 494-70-69
E-mail: egsemenova@mail.ru

Махров Николай Геннадьевич

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»,
Аспирант кафедры № 5 инноватики и интегрированных систем качества
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000, Россия
Тел. (раб.) 8-812-600-04-49 (1109)
Тел. (дом.) 8-931-307-14-25
E-mail: nikolay.makhrov@gmail.com

Борисов Станислав Геннадьевич

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»,
Студент кафедры № 5 инноватики и интегрированных систем качества
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000, Россия
Тел. (раб.) 8-900-655-72-32
E-mail: stas.borisov2012@yandex.ru

Information about authors:

Semenova Elena Georgievna

Doctor of technical sciences, Professor
FSBEI HE «Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»,
Manager of department № 5 innovation and integrated quality systems
FSBEI HE «Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»,
Bolshaya Morskaya St., 67A, St. Petersburg, 190000, Russia
Tel. (812) 494-70-69
Tel. (812) 494-70-69
E-mail: egsemenova@mail.ru

Makhrov Nikolay Gennadievich

FSBEI HE «Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»,
Graduate student of department № 5 innovation and integrated quality systems
FSBEI HE «Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»,
Bolshaya Morskaya St., 67A, St. Petersburg, 190000, Russia
Tel. 8-812-600-04-49 (1109)
Tel. 8-931-307-14-25
E-mail: nikolay.makhrov@gmail.com

Borisov Stanislav Gennadievich

FSBEI HE «Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»,
Graduate student of department № 5 innovation and integrated quality systems
FSBEI HE «Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»,
Bolshaya Morskaya St., 67A, St. Petersburg, 190000, Russia
Tel. 8-900-655-72-32
E-mail: stas.borisov2012@yandex.ru

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: (4832) 56-49-90. E-mail: aim-pu@mail.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Корректор А.Ю. Малюкина.

Сдано в набор 25.03.2019. Выход в свет 30.03.2019.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.



Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
"Брянский государственный технический университет"
241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16