ҒТАМР 50.13.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1273**

SLM ӘДІСІМЕН ҮШ ӨЛШЕМДІ ОБЪЕКТІНІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУҒА АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР

[1]А.Д. Тулегулов, [1]К.М. Акишев, [1]А.М. Джумагалиева, [2]М.А. Байжарикова, [2]С.М. Исаев

[1]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

Корреспондент-автор: akmail04cx@mail.ru

Қазіргі жағдайда автоматтандырылған бағдарламаланатын автономды өндірістік жүйелерді құру қажеттілігі әсіресе әскери және далалық инженерлік бөлімшелер үшін өзекті болып отыр. Дәстүрлі селективті лазерлік балқыту қондырғылары (SLM), алынған өнімдердің жоғары дәлдігі мен сапасына қарамастан, дизайнның күрделілігіне, компоненттердің қымбаттығына және қоршаған орта параметрлеріне жоғары сезімталдыққа байланысты зертханалық жағдайлардан тыс жұмыс істеуге жарамсыз. Осыған байланысты мақалада SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құралдарды зерттеу мақсаты қойылған. Бұл өз кезегінде шектеулі ресурстар мен мамандандырылған Инфрақұрылым болмаған жағдайда металл бөлшектерін қалпына келтіруді және өндіруді қамтамасыз етуге қабілетті далалық және әскери жағдайларда пайдалануға бағытталған қосымша қондырғыны одан әрі құру үшін жағдай жасайды.

Түйін сөздер: бағдарламалау, аддитивті технологиялар, Автоматтандыру, алгоритм, ұнтақ, G-code.

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА МЕТОДОМ SLM

[1]А.Д. Тулегулов, [1]К.М. Акишев, [1]А.М. Джумагалиева, [2]М.А. Байжарикова, [2]С.М. Исаев

[1]Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru

В современных условиях необходимость создания автоматизированных программируемых автономных производственных систем становится особенно актуальной для военных и полевых инженерных подразделений. Традиционные установки селективного лазерного плавления (SLM), несмотря на высокую точность и качество получаемых изделий, практически непригодны для эксплуатации вне лабораторных условий из-за сложности конструкции, дороговизны компонентов и высокой чувствительности к параметрам среды. В связи с этим в статье поставлена цель исследовать программно-технические средства для автоматизации процесса формирования трехмерного объекта методом SLM. Это в свою очередь обеспечит условия для создания в дальнейшем аддитивной установки, ориентированной на использование в полевых и военных условиях, способную обеспечивать восстановление и изготовление металлических деталей в условиях ограниченных ресурсов и отсутствия специализированной инфраструктуры.

Ключевые слова: программирование, аддитивные технологии, автоматизация, алгоритм, порошок, G-code.

SOFTWARE AND TECHNICAL DEVICES FOR AUTOMATING THE PROCESS OF FORMING A THREE-DIMENSIONAL OBJECT USING THE SLM METHOD

[1]A.D. Tulegulov, [1]K.M. Akishev, [1]A.M. Jumagaliyeva, [2]M.A. Baizharikova, [2]S.M. Issayev

[1]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]M.Kh. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan,
e-mail:akmail04cx@mail.ru

In modern conditions, the need to create automated, programmable, and autonomous production systems is becoming particularly relevant for military and field engineering units. Traditional selective laser melting (SLM) systems, despite their high accuracy and quality, are practically unsuitable for use outside of laboratory settings due to their complex design, expensive components, and sensitivity to environmental parameters. Therefore, this article aims to explore software and hardware solutions for automating the process of creating three-dimensional objects using SLM. This, in turn, will provide the conditions for the further development of an additive manufacturing system designed for use in field and military environments, capable of restoring and manufacturing metal parts in the face of limited resources and a lack of specialized infrastructure.

Key words. programming, additive technologies, automation, algorithm, powder, G-code.

Кіріспе. Қазіргі жағдайда автоматтандырылған бағдарламаланатын автономды өндірістік жүйелерді құру қажеттілігі әсіресе әскери және далалық инженерлік бөлімшелер үшін өзекті болып отыр. Дәстүрлі селективті лазерлік балқыту қондырғылары (SLM), алынған өнімдердің жоғары дәлдігі мен сапасына қарамастан, дизайнның күрделілігіне, компоненттердің қымбаттығына және қоршаған орта параметрлеріне жоғары сезімталдыққа байланысты зертханалық жағдайлардан тыс жұмыс істеуге жарамсыз [1]. Осыған байланысты мақалада SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құралдарды зерттеу мақсаты қойылған. Бұл өз кезегінде шектеулі ресурстар мен мамандандырылған Инфрақұрылым болмаған жағдайда металл бөлшектерін қалпына келтіруді және өндіруді қамтамасыз етуге қабілетті далалық және әскери жағдайларда пайдалануға бағытталған қосымша қондырғыны одан әрі құру үшін жағдай жасайды [2].

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

1. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін эксперименттік зерттеу нәтижелеріне жүйелі талдау жүргізу.

2. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құрылғыларды әзірлеу.

3. Инновациялық бағдарламалық-техникалық шешімдерді ескере отырып, аддитивті қондырғының прототипін негіздеу

Материалдар мен әдістер. Біз SLM әдісімен үш өлшемді объектілерді қабаттастыру процесін эксперименттік зерттеу нәтижелеріне талдау жасадық, олардың негізінде түйіршіктері еркін пішінді және 3D басып шығару процесі түйіршіктердің қаптамасының тығыздығын бұзатын және лазерлік энергияның фокус нүктесінде металл ұнтағының көлемдік шөгуі мен біркелкі емес балқуы байқалады, бұл басып шығарылатын бөліктің сапасын төмендетеді (сурет.1).

Әдетте іс жүзінде бұл мәселені шешу ұнтақтардың екі түрін қолдану арқылы ұсынылады:

1-еркін нысандағы металл ұнтағы (бұдан әрі-ПФФ);

2-пішіні идеалды сфераға жақын сферитизатормен қосымша өңдеуден өткен металл ұнтағы - сфералық пішінді ұнтақ (бұдан әрі-ПСФ).

Зерттеуде 2 сатыда орындалатын 3D қабатты басып шығару әдісі қолданылды:

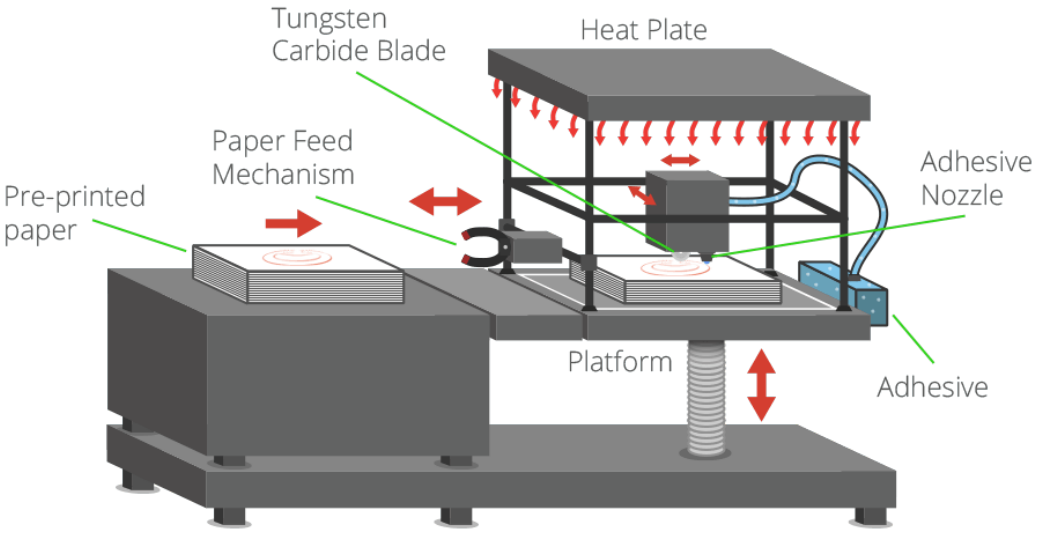
1 кезең-PPF-ті басып шығару бетіне тарату, содан кейін металл ұнтағын іріктеп лазерлік балқыту.

2 кезең-PSF-ті басып шығару бетіне қазірдің өзінде жүргізілген таңдамалы лазерлік балқытумен, қайталама таңдамалы лазерлік балқытумен тарату.

Бірінші кезеңде объектінің негізгі қабаты қалыптасады. Ұнтақ түрінің еріктілігіне байланы-

сты түйіршіктердің бос қаптамасы пайда болады, ал лазерлік сәулемен өңдеу орындарында шөгу пайда болады [3].

Екінші кезеңде PSF түсуі пайда болған орындар толтырылады. Ұнтақтың пішініне байланысты идеалды PSF сферасына жақын, сондай-ақ PSF түйіршіктерінің радиусы бірдей болғандықтан, шөгу орындарында тараған кезде тығыз толтыру пайда болады. Лазермен өңдеу кезінде PFS іс жүзінде кішіреймейді [4].



1-сурет. Селективті лазерлік балқытуды орнату (SLM)

Осылайша, металл ұнтағы формасының еріктілігі өтеледі. Екі кезеңді орындау нәтижесінде объект ақаусыз басып шығарылады.

Сфералық және еркін пішінді қолдана отырып, селективті лазерлік балқыту әдісімен үш өлшемді объектіні синтездеу әдісінің техникалық нәтижесіне басып шығару бетіне ұнтақ таратқыштардың екі контейнерін қолдану арқылы қол жеткізіледі.

Бұл әдіске Рег өнертабысына Патент алуға өтінім берілді. өтінім нөмірі 2025/0348.1, 16.04.2025 ж. сфералық және еркін пішінді металл ұнтақтарын қолдана отырып, селективті лазерлік балқыту әдісімен үш өлшемді объектіні синтездеу тәсілі.

Нәтижелер мен талқылаулар. Нәтижесінде, осы ғылыми мақалада біз металл ұнтағының пішінінің сфералық емес және гетерогенділігінің баспа сапасына әсерін өтеуге арналған бағдарламалық-техникалық құрылғыларды ұсынамыз [5].

Бастапқыда, зерттеу бағытына сәйкес, аддитивті қондырғы Төтенше жағдайлар мен соғыс жағдайларын қанағаттандыруы керек деп болжануда, сондықтан біз стандартты аддитивті қондырғылардың функционалдығының техникалық дизайнына талдау жасадық, нәтижесінде оларды далада қолдануға кедергі келтіретін екі негізгі проблема анықталды:

1) басып шығару камерасына металл ұнтағын берудің дәл механикасына тәуелділік;

2) Дайын бөлікті шығарудың және платформаны келесі циклге дайындаудың қиындығы.

Бірінші мәселе дәстүрлі SLM қондырғыларының ұнтақты дәл жеткізуге тәуелділігіне байланысты. Қабатты қалыптастыру цилиндрлер мен ұнтақты тарату жүйесін қолдану арқылы жүреді, бұл ұнтақтың ондаған микронға дейін біркелкі таралуын қамтамасыз етеді.

Екінші мәселе басып шығару циклін аяқтау процесінің шектеулеріне байланысты. Өнімді қалыптастырғаннан кейін көп сатылы операция қажет: бөлшекті байланыссыз ұнтақтан тазарту, оны платформадан ұқыпты бөлу (көбінесе

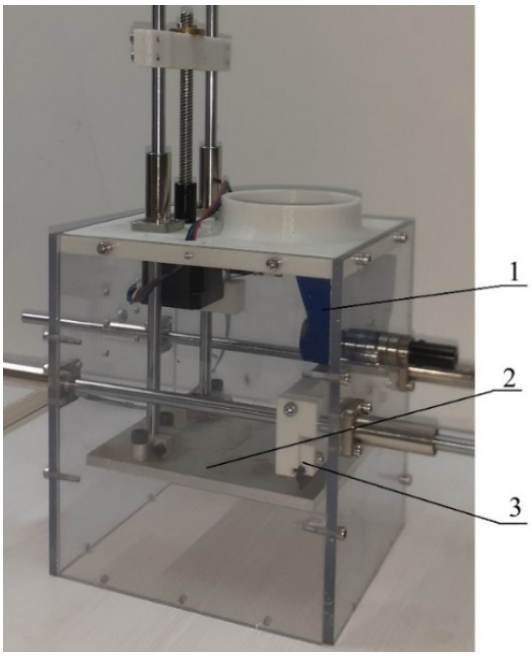
электр эрозиясын немесе гауһар кесуді қолдану), сондай-ақ платформаның бетін міндетті түрде фрезерлеу. Себебі платформада қалдық балқымалар, термиялық деформациялар пайда болады, бұл оны қосымша механикалық өңдеусіз қайта пайдалануға жол бермейді [6].

Ұнтақ қабатын қалыптастырудың балама тәсілдерін іздеу аясында сусымалы ортаға тән физикалық принциптерді қолдану мүмкіндігі қарастырылды. Өздігінен құю процесінде ұнтақтар табиғи беткейге тән бұрышы бар тұрақты бетті құрайтыны белгілі. Мұндай бет қолданылатын материалдың пішініне, массасына және динамикасына автоматты түрде бейімделіп, өзін-өзі тегістеу және бейімделу тұрақтандыру қабілетін көрсетеді. Бұл механикалық бөлімге, фрезерлеуге немесе негізді туралауға жүгінбестен металды жағуға және балқытуға болатын ашық борпылдақ жастықтың пайдасына жаппай қатты платформадан бас тартуға мүмкіндік береді [7].

Осы негізде инновациялық шешімдер кешені ұсынылды: ”толып кету және өзін-өзі теңестіру”қағидаты бойынша мөлшерлеу. Ұсынылған шешімдер қарапайымдылықты, жөндеуге жарамдылықты және далалық пайдалану үшін маңызды шығындарды сақтай отырып, тығыздық пен қайталануды арттыруға бағытталған.

Бұл тәсіл ұнтақтардың екі түрін қолдануды техникалық іске асыруды жеңілдетеді: еркін пішінді металл ұнтағы (бұдан әрі-пфф) және сфералық пішінді ұнтақ (бұдан әрі-ПФФ). Ашық бетті басып шығару PPF және PSF бөлек сақтау сыйымдылықтарын ұнтақты тегістеу жүйесіне біріктіруді айтарлықтай жеңілдетеді.

Жоғарыда сипатталған технологияны пысықтау үшін контейнерді әртүрлі сортты металл ұнтақтарымен біріктіру мүмкіндігін анықтау үшін зертханалық қондырғы жасалды, онда ашық көлденең бетке басып шығару мүмкіндігі тексерілді (сурет.2).



2-сурет. Қабатты механизмді өңдеуге арналған зертханалық қондырғы ашық көлденең бетінде ұнтақ материал қалыптастыру

1-металл ұнтағы контейнері; 2-ашық көлденең беті; 3-ұнтақты тегістеуге арналған қырғыш

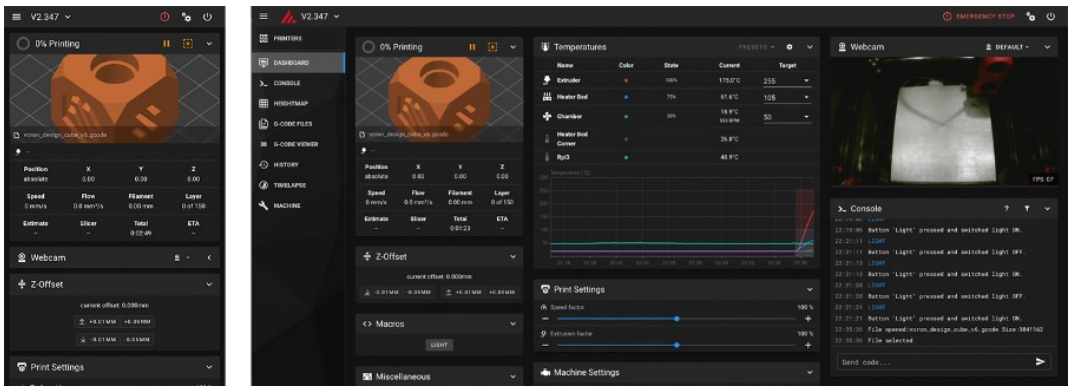
Экструзия және лазерлік балқу процестерінің физикалық және логикалық ұқсастығы бар микробағдарламаларды макростар арқылы өзгерту, G-code командаларын қайта бөлу және экструдерді лазерлік модульге ауыстыру үшін конфигурацияларды қайта конфигурациялау арқылы пайдалануға мүмкіндік береді [8]. Бұл тәсіл дәлелденген архитектуралар мен жоспарлау алгоритмдерін қайта пайдалануды қамтамасыз етеді (сурет.3)

```
;Layer count: 121
;LAYER:0
GO F3600 X66.354 Y67.539 Z0.300
;TYPE:SKIRT
G1 F1200 X99.570 Y97.539 E0.45381
G1 X99.743 Y97.444 E0.42765
G1 X100.546 Y67.324 E0.46545
```

```
G1 X101.657 Y77.674 E0.47685
G1 X102.573 Y97.564 E0.42789
G1 X103.745 Y97.235 E0.48765
G1 X104.456 Y97.546 E0.52345
G1 X105.756 Y97.436 E0.67845
G1 X106.564 Y97.476 E0.59876
G1 X107.856 Y97.657 E0.87659
G1 X108.763 Y97.239 E0.67657
G1 X109.743 Y97.876 E0.34267
G1 X110.943 Y97.435 E0.87986
G1 X111.563 Y97.438 E0.54876
G1 X112.793 Y97.476 E0.65876
G1 X113.123 Y97.487 E0.76889
G1 X114.983 Y97.498 E0.65987
```

3 - сурет. G-Code қолдану фрагменті

Marlin, Repetier және Smoothieware сияқты танымал микробағдарламаларды талдау олардың селективті лазерлік балқыту сияқты күрделі технологиялық процестерді басқаруға арналмағанын көрсетті. Бұл жүйелер бастапқыда термопластикалық басып шығару үшін жасалған және көбінесе олардың архитектурасымен шектелген: қатаң берілген логика, кеңейтудің минималды мүмкіндіктері, сыртқы жетектерге әлсіз қолдау. Сонымен қатар, SLM үшін басқарудың басқа деңгейі қажет: траекторияларды дәл есептеу, лазерлік Қуат модуляциясымен жұмыс істеу, ұнтақтардың екі түрін беру және тегістеу түйіндерімен синхрондау. Осыған байланысты Klipper ортасы таңдамалы лазерлік балқытудың аддитивті қондырғысын жасау үшін негізгі бағдарламалық платформа ретінде таңдалды. Klipper микробағдарламасы негізінде басқарылатын селективті лазерлік балқыту қондырғысының прототипін енгізу ұсынылған архитектураның өнімділігін растады [9].



4-сурет. Mainsail веб-интерфейсі

Klipper-бұл көптеген 3D басып шығарумен жұмыс істейтін әмбебап микробағдарлама. Klipper қолданыстағы микробағдарламаның үстіне орнатылмағандықтан, онымен жұмыс істеу үшін оны толығымен klipper микробағдарламасымен ауыстыру қажет.

Желілік интерфейстер арқылы басқару

Mainsail және Fluidd - бұл Klipper-мен жұмыс

істеу үшін арнайы жасалған ашық бастапқы веб-интерфейстер [10]. OctoPrint-ті қолдануға болатынына қарамастан, егер ол сізге таныс болса, Mainsail және Fluidd пайдаланушыға OctoPrint-те қол жетімді емес қосымша мүмкіндіктер береді.Mainsail. Mainsail веб-интерфейсі осылай көрінеді (сурет.4).

Klipper-ді Linux отбасылық ОЖ басқаратын көптеген құрылғыларға орнатуға болады. Орнату және жұмыс істеу үшін Raspberry Pi микрокомпьютерлерін пайдалануға болады, бұл Klipper пайдаланушылары, сондай-ақ Orange Pi, Beaglebone немесе тіпті жұмыс үстелі компьютерлері арасында ең танымал таңдау [11].

Шын мәнінде, аталған типтегі кез-келген құрылғы нарықта бар кез-келген ашық сатылымдағы 3D принтермен жұмыс істеуі керек. Жабық жүйесі бар меншікті құрылғылардан басқа.

Қорытынды. Қорытындылай келе, қойылған мақсатқа қол жеткізілгенін атап өтуге болады. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесінің эксперименттік зерттеулерінің нәтижелеріне жүйелі талдау жүргізу, осындай міндеттер шешілді. SLM әдісімен үш өлшемді нысанды қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құрылғылар да әзірленді. Бұл өте маңызды инновациялық бағдарламалық-техникалық шешімдерді ескере отырып, аддитивті қондырғының прототипін әзірлеу үшін негіздеме берілді.

Қаржыландыру. *Бұл зерттеуді ғылым және жоғары білім комитеті қаржыландырады (№AP23490424 ”Қорғаныс өнеркәсібі үшін металл нысандарын жасау үшін аддитивті қондырғыны әзірлеу”.)*

Әдебиеттер

1. Тулегулов А.Д., Юрков Н.К. Аддитивные технологии для создания металлических объектов для военной техники и вооружения//Вестник Академии национальной гвардии Республики Казахстан. - 2024. - № 3(53). - С.151-157.

2. K. Akishev, Zh. Nurtai, L. Akisheva. Automation of selection of construction mix with additives of technogenic raw materials//Вестник КазУТБ. - 2025. - №1 (26). - С.1-14. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-808.

3. Зорин В.А., Полухин Е.В. Аддитивные технологии. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве дорожно-строительных машин // Строительная техника и технологии. - 2016. - №3 (119). - С. 54-57.

4. Шевченко Д.Ю. Аддитивные технологии в машиностроении // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона: Научно-практический журнал Коломенского института (филиала) МГМУ (МАМИ). - 2015. - № 2 (7). - С.89-97.

5. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // Авиационная промышленность. - 2015. - № 2. - С.22-25.

6. Смуров И.Ю., Конов С.Г., Котобан Д.В. О внедрении аддитивных технологий и производства в отечественную промышленность // Новости материаловедения. Наука и техника. - 2015. - № 2. - С.11-22.

7. Советников Е.И. Оценки развития аддитивных технологий // Технология легких сплавов. - 2015. - № 3. - С.17-31.

8. Дьячков В.Н., Баринов А.Ю., Никитин К.В. Применение аддитивных технологий в производстве литых изделий // Литейное производство. - 2016. - № 5. - С.30-32.

9. Аббасов А.Э. Перспективы развития аддитивных технологий // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. - 2015. - № 5-1. - С.21-26.

10. Кузнецов П.А., Васильева О.В., Теленков А.И., Савин В.И., Бобырь В.В. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности // Новости материаловедения. Наука и техника. - 2015. - № 2. - С.4-10.

11. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Труды МАИ. - 2014. - № 78. - С.31-36.

References

1. Tulegulov A.D., Jurkov N.K. Additivnye tehnologii dlja sozdanija metallicheskih ob#ektov dlja voennoj tehniki i vooruzhenija//Vestnik Akademii nacional' noj gvardii Respubliki Kazahstan. - 2024. - № 3(53). - S.151-157. [in Russian]

2. K. Akishev, Zh. Nurtai, L. Akisheva. Automation of selection of construction mix with additives of technogenic raw materials//Vestnik KazUTB. - 2025. - №1 (26). - S.1-14. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-808. [in Russian]

3. Zorin V.A., Poluhin E.V. Additivnye tehnologii. Perspektivy primenenija additivnyh tehnologij pri proizvodstve dorozhno-stroitel' nyh mashin // Stroitel' naja tehnika i tehnologii. - 2016. - №3 (119). - S.54-57. [in Russian]

4. Shevchenko D.Ju. Additivnye tehnologii v mashinostroenii // Kompleksnye problemy razvitija nauki, obrazovanija i jekonomiki regiona: Nauchno-prakticheskij zhurnal Kolomenskogo instituta (filiala) MGMU (MAMI). - 2015. - № 2 (7). - S.89-97. [in Russian]

5. Sirotkin O.S. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija additivnyh tehnologij // Aviacionnaja promyshlennost'. - 2015. - № 2. - S.22-25. [in Russian]

6. Smurov I.Ju., Konov S.G., Kotoban D.V. O vnedrenii additivnyh tehnologij i proizvodstva v otechestvennuju promyshlennost' // Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. - 2015. - № 2. - S.11-22. [in Russian]

7. Sovetnikov E.I. Ocenki razvitija additivnyh tehnologij // Tehnologija legkih splavov. - 2015. - № 3. - S.17-31. [in Russian]

8. D' jachkov V.N., Barinov A.Ju., Nikitin K.V. Primenenie additivnyh tehnologij v proizvodstve lityh izdelij // Litejnoe proizvodstvo. - 2016. - № 5. - S.30-32. [in Russian]

9. Abbasov A.Je. Perspektivy razvitija additivnyh tehnologij // Informacionnye tehnologii. Radiojelektronika. Telekommunikacii. - 2015. - № 5-1. - S.21-26. [in Russian]

10. Kuznecov P.A., Vasil' eva O.V., Telenkov A.I., Savin V.I., Bobyr' V.V. Additivnye tehnologii na baze metallicheskih poroshkovyh materialov dlja rossijskoj promyshlennosti // Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. - 2015. - № 2. - S.4-10. [in Russian]

11. Chumakov D.M. Perspektivy ispol' zovanija additivnyh tehnologij pri sozdanii aviacionnoj i raketno-kosmicheskoj tehniki // Trudy MAI. - 2014. - № 78. - S.31-36. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Тулегулов А.Д.- физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tad62@ya.ru;

Акишев К. М.-техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: akmail04@mail.ru;

Джұмағалиева А.М. -магистр, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Dzhum@mail.ru;

Байжарикова М.А. - техника ғылымдарының кандидаты, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан, e-mail: marina.2288@mail.ru;

Исаев С. М. - техника ғылымдарының магистрі, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан, e-mail: sagiissayev.1993kz@gmail.com.

Information about the authors

Tulegulov A.D. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: tad62@ya.ru;

Akishev K.M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04@mail.ru;

Jumagaliyeva A.M.- Master' s degree, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Dzhum@mail.ru;

Baizharikova M. A. - Candidate of Technical Sciences, M.Kh. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: marina.2288@mail.ru;

Issayev S. M. - Master of Technical Sciences. M.Kh, Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: sagiissayev.1993kz@gmail.com.