$$\sqrt{k} = 0,0667h - 0,0180h_{kn}. \tag{8}$$

Для неньютоновских жидкостей при нагнетании

$$\sqrt{k} = 0.1761h - 0.06801h_{ln}; (9)$$

при добыче

$$\sqrt{k} = 0.1637h - 0.0638h_{kp}. \tag{10}$$

где μ_0 — структурная вязкость при критическом значении раскрытости щели, Пас.

 h_{kp} — значение раскрытости щели, при котором практически отсутствует молекулярное взаимодействие между жидкостью и стенкой щели, м;

Отметим, что оценка коэффициента проницаемости ПЗС по формулам (7), (8) и (9), (10), соответственно, для ньютоновских и неньютоновских жидкостей при нагнетании и добыче дает возможность косвенно судить о состоянии призабойной зоны, что имеет большое значение для повышения успешности проведенных различных методов воздействия на пласт, а также избежать проведения необоснованных мероприятий.

С этой целью на основе исследования скважины строят индикаторную диаграмму и определяют величину раскрытости трещины и коэффициент проницаемости пласта в ПЗС.

Сравнением найденных значений h и h_{kp} принимается решение о целесообразности проведения мероприятия по воздействия на ПЗС. Если $h < h_{kp}$ то мероприятие по воздействию на ПЗС проводится, а в противном случае нет.

Выводы:

- 1. С целью привлечения в разработку геологических запасов нефти необходимо обеспечивать условие, что бы в ПЗП раскрытость трещины была бы больше критического значения для данной пластовой жидкости.
- 2. Для достижения цели требуется применение в качестве аналога площадного заводнения полезных мероприятий по воздействию на пласт мощными ультразвуковыми, гидродинамическими, акустическими и другими волнами.

- 3.Установлено, что для увеличения коэффициента нефтеотдачи, необходимо не совершенствование существующих или и разработке новых мероприятий, а определение в процессе разработки местонахождения зон «не входящих в разработку», которые расположен между скважинами (на суше) и между платформами (в море) и обеспечению пути извлечения остаточных нефтей из этих зон.
- 4. Разработаны приближенные способы расчета добычи и запасов нефтей для определения местонахождения «Застойных» зон.

Литература

- 1. Гурбанов Р.С., Мамедова М.А., Мириев Г.М. Методическое руководство по определению параметров пластовых систем и эффективности применения полимерного воздействия в трещинных коллекторах. Баку: АзНИПИнефть, 1986. —35с.
- 2. Мамедова М.А., Гурбанов Р.С. Исследование реологии жидкостей в трещинных и поровых каналах и определение их раскрытости // Инженерно-физический журнал 2015, Том 88, №4, с.790-799. (Journal of Engineering Physics and Thermophysics: Volume 88, Issue 4 (2015), Page 815-824.) http://link.springer.com/article/10.1007/s10891-015-1256-9)
- 3. Мамедова М.А. Экспериментальное исследование движения неньютоновских жидкостей в плоскорадиальной микротрещине // Научное обозрение. —2010. —№5. С. —51—57.
- 4. Мамедова М.А. Исследование параметров призабойной зоны трещинных пластов при установившемся режиме. Изв. вузов. «Нефть, Газ и Бизнес» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. —2013. —№1.—С.39-43.

УСТАНОВКА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРОВ*

* Данная работа проводилась в рамках государственного контракта № 14.Z56.17.21.49-MK от 22 февраля 2017 г.

ЧАСТЬ 1

Назаров Алексей Петрович^{1, а}, Скорняков Иннокентий Алексеевич^{1, b}, Шишковский Игорь Владимирович^{2, c}
¹ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Россия 127055, Москва, Вадковский пер. 1
²ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

АННОТАЦИЯ: В данной работе представлена конструкция аддитивной установки для селективного лазерного спекания высокотемпературных полимерных материалов, отличающаяся оригинальной системой контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка полиэфирэфиркетона. Приведены ее кинематическая и лазерно-оптическая схемы. Описаны основные контуры охлаждения. Технические и конструкторские решения, предложенные нами, позволяют проводить селективное лазерное спекание целого

спектра различных порошковых материалов на основе полиэфиэфиркетона. Раскрыты принципы юстировки устройства нанесения слоев порошка, основанные на интегральном тепловом анализе нагрева наносимых слоев порошка. Описаны эксперименты, проводимые при пуско-наладке установки.

Ключевые слова: селективное лазерное спекание, установка, конструкция, высокотемпературные полимеры, полиэфиркетон.

1. Введение

Селективное лазерное спекание (СЛС) является одним из наиболее известных и коммерчески успешных методов аддитивных технологий [1-5]. СЛС позволяет изготавливать изделия с уникальной внутренней и/или внешней формой поверхности и перспективными физико-механическими свойствами [1-5]. При этом существует ряд перспективных полимерных порошковых материалов, которые отличаются от традиционно и давно используемых в технологии СЛС - нейлона [6, 7], поликарбоната [8-12], полиамидов [13-17], вплоть до полиэтиленов [18, 19] или сегнето специфических поливинилиденфторидов [20] и проч. сочетанием высокой теплостойкости, прочности и широким спектром интересных физико-механических и химико-биологических свойств [21-26].

Особый интерес представляют собою детали, изготовленные по технологии СЛС из некоторых видов порошков на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). Они имеют высокие значения предела прочности (до 95 МПа против 45 МПа для обычных полиамидов) и модуля Юнга (до 4400 МПа против 1500 МПа для обычных полиамидов) [3, 27-29], обладают высокой теплостойкостью (сохранение физико-механических свойств при кратковременном воздействии температуры до $310~^{0}$ С и при долговременном воздействии температуры 260 °C), а также отличной биосовместимостью и изолирующими (диэлектрическими) свойствами [29-32]. Набор данных свойств в сочетании с возможностями метода СЛС позволяет создавать уникальные детали. Данные детали все чаще находят применение в аэрокосмической отрасли, медицине, авто- и мотоспорте [29-32]. Авторам известно ограниченное количество аддитивных установок, работающих по технологии СЛС с различными типами полимерных порошков. В основном их производят известные в мире аддитивного производства технологические гиганты - 3D Systems and EOS GmbH (Germany) [33, 34], однако с теплостойкими полимерами работают только несколько установок фирмы EOS GmbH. Единичное количество установок, работающих по технологии СЛС именно с перспективными теплостойкими полимерными порошками, ограничивает возможности бизнеса и промышленности, занимающихся развитием и выпуском наукоемкой продукции.

Целью данной работы является представление разработанной нами конструкции установки СЛС (далее SLS-machine), использующей высокотемпературные полимеры. Нами предложены оригинальные решения для системы контроля юстировки

устройства нанесения слоев порошка при послойном СЛС материалов на основе ПЭЭК.

2. Современные установки для селективного лазерного плавления высокотемпературных полимеров

2.1 Установки-аналоги

Литературный анализ установок-аналогов ведущих мировых производителей [33-34] показал, что в мире существует только один производитель аддитивных установок (фирма Electro Optical Systems (EOS, Германия), который успешно реализовал процесс СЛС высокотемпературного ПЭЭК [27]. Это известное семейство установок типа Eosint P, из которых именно с ПЭЭК работают установки Р500 и Р800 [35,36], параметры которых представлены по указанным ссылкам на сайте производителя. Политика данной фирмы сводится к тому, что вместе с установкой покупателю поставляется закрытое программное обеспечение, которое не позволяет управлять процессом изготовления детали, а также установка может работать только с тем типом порошка EOS PEEK HP3 [27], который тестирован и поставляется только фирмой производителем установки. Информация о технических характеристиках (помимо приведенных в рекламных проспектах и на официальном сайте) установок Eosint P500/P800 в научной и технической литературе скудна, не говоря уже о конструктивных решениях, принятых при ее разработке. Известно, что установка Eosint P800 разработана в результате серьезной доработки установки Eosint P760 с учетом подогрева рабочего пространства до температуры стеклования EOS PEEK HP3 ~ 385 °C. В установке Eosint P500 рабочая температура уже составляет ~ 300 °C. Однако создателями отмечается, что в Eosint P500 работают одновременно два лазера по 70 Вт, а также применена новая конструкция разравнивателя и предварительный подогрев сменного бункера. Эти новшества по утверждению создателей, значительно позволили повысить производительность процесса изготовления деталей из высокотемпературных полимеров [35]. По словам конструкторов, это позволило довести скорость нанесения слоев до 0,6 м/с.

2.2 Особенности технологического процесса селективного лазерного спекания полиэфирэфиркетонов

Из литературных источников [27, 30, 31] известно, что наилучшими физико-механическими характеристиками обладают детали из ПЭЭК, полученные по специальной технологии СЛС, имеющей ряд принципиальных отличий от технологии СЛС традиционных полимеров.

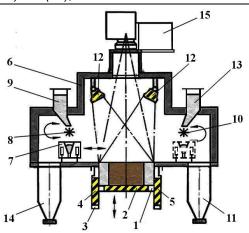


Рис. 1. Схематическое изображение СЛС для изготовления деталей из ПЭЭК: 1- платформа, 2 — нагреватель, 3 — бункер изготовления, 4 и 5 —нагреватели, 6 — герметичная камера, 7 —двойной нож, 8 — шлицевой вал, 9 — бункер подачи порошка, 10 — шлицевой вал, 11 — бункер сбора порошка, 12 — верхние нагреватели, 13 — бункер подачи порошка, 14 — бункер сбора порошка, 15 - лазерно-оптический узел

Перечислим основные этапы процесса СЛС для изготовления деталей из ПЭЭК (рис. 1):

- а) встроенные в платформу и бункер изготовления нагреватели разогреваются до температуры $\sim 360^{0} C;$
- b) проводится прокачка защитным газом азотом рабочей камеры до необходимой чистоты и вся установка выстаивается в течении двух часов для равномерного нагрева всех ее элементов с целью исключения их термического искажения при работе:
- с) платформа опускается на толщину наносимого первого слоя порошка (обычно $\sim 120~\Box$ m);
- d) двойной нож подъезжает в крайнее левое положение под шлицевый вал и из бункера подачи порошка при помощи шлицевого вала дозируется с запасом необходимая порция порошка под нож;
- е) нож перемещается в крайнее правое положение (показано пунктиром) по ходу движения нанося и разравнивая на платформе первый слой порошка, а также сбрасывая излишки порошка в бункер сбора порошка;
- f) при помощи верхних нагревателей проводится подогрев нанесенного слоя порошка до температуры $385\,^{0}\mathrm{C}$;
- g) платформа опускается на толщину второго наносимого слоя порошка (обычно $\sim 120~\Box$ m);
- h) нож перемещается в крайнее левое положение и при помощи шлицевого вала и бункера подачи порошка по аналогии наносит второй слой порошка поверх первого слоя на платформе, сбрасывая излишки порошка в бункер сбора порошка;
- і) процесс нанесения предварительных слоев порошка (всего наносится около пятидесяти слоев) проводится по пунктам (c-h) без обработки лазерным излучением и нужен для равномерного прогрева установки с порошком, а также проверки правильности установки двойного ножа относительно платформы, при этом нагреватели поддерживают постоянную температуру всего объема порошка около 360 °C;

- j) если нож выставлен относительно платформы правильно начинается непосредственное изготовление детали;
- k) поверх пятидесяти разогретых слоев порошка наносится пятьдесят первый слой порошка;
- 1) проводится подогрев пятьдесят первого слоя порошка до температуры $385~^{0}$ С при помощи верхних нагревателей;
- m) при помощи лазерно-оптического узла проводится спекание лазерным лучом порошка в отдельных зонах нанесенного слоя в зависимости от формы изготавливаемой детали;
- п) далее наносится новый слой порошка и процесс повторяется до полного изготовления детали;
- о) после окончания построения всей детали, она очень медленно (~ в двое дольше времени построения детали!) вместе с объемом неспеченного порошка остывает в установке в бункере изготовления при помощи управления нагревателями;
- р) после полного остывания детали вместе с неспеченным порошком, бункер изготовления удаляется из установки и перемещается в станцию очистки, где деталь подвергается освобождению от неспеченного порошка.

3. Сложность разрабатываемого оборудования

С целью изготовления крупногабаритных деталей и учитывая названные выше особенности процесса СЛС для порошков на основе ПЭЭК (см. § 2.2), к нашей установке были предъявлены следующие технические требования (приведены наиболее сложно реализуемые характеристики):

- i. возможность реализации процесса СЛС с различными модификациями порошков на основе ПЭЭК;
- іі. рабочая зона 500 х 500 х 300 mm 3 (длина х ширина х высота);
- ііі. предварительный подогрев нанесенного слоя порошка до 385 0 C с точностью не хуже (по всей площади 500 х 500 mm) $\pm 2^{0}$ C;
- iv. защитная атмосфера азота (чистота до 99,8%);

- v. точность наносимого слоя порошка ± 10 \Box m;
- vi. возможность поддержания и контролируемого медленного охлаждения всего объема изготавливаемой детали с не спеченным порошком от 385 0 C до 20 0 C;
- vii. возможность автоматизированного контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка;
- viii. возможность изменения распределения интенсивности лазерного излучения с «гаусс» на «обратный гаусс» или «топ–хэт», что по мнению некоторых исследователей может повысить качество изготавливаемых методом СЛС деталей [36-38].

Названные технические характеристики и требования, предъявляемые нами к разрабатываемой установке, в сочетании с особенностями процесса СЛС для порошков ПЭЭК усложняют задачу конструкторской разработки, поскольку вызывают ряд проблем:

- а. тепловые деформации в механических элементах установки (например, на пике нагрева верхние нагреватели могут достигать $2600~^{0}$ C [39, 40], а большинство остальных элементов установки находятся при комнатной температуре);
- b. использование специальных материалов для деталей и узлов, находящихся под нагревом. Например, для пружин, сплавы которых теряют свои механические свойства при нагреве (пружинные сплавы A 29 1060 ASTM, A 576 1060 ASTM, 5147 ASTM, 6150 ASTM, 9262 ASTM и др., которые рассчитаны на работу при температурах до $400~^{0}$ С;

- с. тепловые деформации лазерно-оптического узла установки, термические аберрации, вплоть до разрушения защитных стекол, линз, зеркал и проч. при высоких температурах;
- d. изменение оптических свойств элементов лазерно-оптического узла установки из-за нагрева. Например, изменение коэффициента преломления сложной линзы на выходе из сканатора (f-theta objective);
- e. герметизация камеры (большинство стандартных силиконовых уплотнений и герметиков реально работают при температурах до $300~^{\circ}$ C);
- f. тепловая изоляция рабочей камеры (пространства, где происходит изготовление детали от остальных элементов установки, например, точного привода вертикального перемещения, устройства нанесения слоев порошка, лазерно-оптического узла и др.);
- g. интерактивная система контроля тепловой картины процесса СЛС;
- h. защита электрических элементов (индукционные датчики положения, контактные датчики аварийных положений, электропровода, электроразъемы и проч.), используемых до температуры 50-70 0 C.

4. Установка для селективного лазерного спекания высокотемпературных полимеров

Внешний вид разработанной установки изображен на рис. 2. Установка оснащена отдельными генератором азота и станцией охлаждения, которые на рис. 2 условно не показаны. Разрез вдоль и поперек установки с основными узлами приведены на рис. 3.

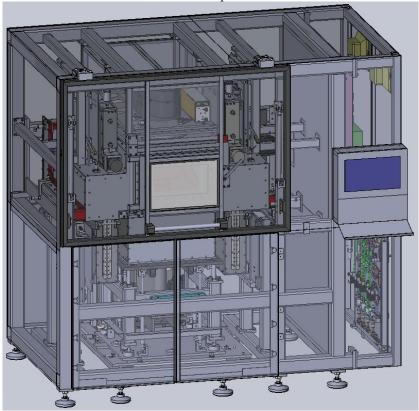


Рис. 2. Внешний вид установки (наружные панели условно показаны прозрачными). Габариты 2470 х $1570 \times 2480 \text{ мм}$ (длина х ширина х высота).

При проектировании установки приходилось решать порою противоречивые задачи:

1) в защитной атмосфере азота (чистотой до 99,8 %) необходимо реализовать предварительный подогрев нанесенного слоя порошка до 385 °C (при пиковом нагреве верхних нагревателей до 2600 °C [39, 40]), а также поддерживать весь объем изготавливаемой детали вместе с необработанным порошком при температуре 360 °C с последующим медленным управляемым остыванием до 20 °C;

2) необходимо сохранять точность наносимого слоя порошка в $120\pm10~\Box$ m на всей площади рабочей зоны 500~x~500~mm, а также поддерживать уровень фокусировки лазерного пятна и точность его позиционирования при лазерной обработке.

Двойственность ситуации состояла также и в том, что с одной стороны необходимо было наносить ровные однородные слои на большой площади 500x500 mm, и при этом все основные элементы установки (например, такие как (рис. 3): 7 - механизма разравнивания порошка; 8 - двойной нож; 9 - горизонтальный привод механизма разравнивания порошка; 1 – точный привод вертикального перемещения нижнего переходного стола, 11 - лазерно-оптический узел; 12 - рама лазерно-оптического узла; 14 - ZnSe-стекло; 17 - силовая рама установки и др.) расположены в непосредственной близи от рабочей зоны, подверженной значительному переменному нагреву (см. обсуждение выше в п.1). Данные сложности потребовали создание контуров тепловой защиты основных элементов установки.

Задачу 1 удалось решить благодаря следующим техническим решениям (рис. 3). Были использованы:

- кварцевые галогенные нагреватели 19 [39-40], установленные в верхней части герметичной камеры внутренней и объединенные в систему нагрева нанесенного слоя порошка;
- плоские керамические нагреватели [41, 42], встроенные в рабочий стол и объединенные в систему нагрева рабочего стола 6;
- плоские керамические нагреватели 25 [41, 42], встроенные в сменный бункер изготовления и объединенные в систему нагрева сменного бункера изготовления.

На рис. 3 представлен структурный план установки, который включает следующие пункты: а – разрез вдоль установки, б – разрез поперек установки. В состав установки входят следующие ос-

новные узлы, системы и детали: 1 – привод вертикального перемещения нижнего переходного стола, 2 - кронштейн для перемещения нижнего переходного стола; 3 – охлаждаемая штанга для перемещения нижнего переходного стола; 4 - нижний переходной стол (имеет возможность автоматического сцепления и расцепления с рабочим столом); 5 - рабочий стол; 6 - система нагрева рабочего стола; 7 механизма разравнивания порошка; 8 - двойной нож (только а); 9 - привод механизма разравнивания порошка; 10 - герметичный кожух привода механизма разравнивания порошка (только б); 11 - лазерно-оптический узел; 12 - рама лазерно-оптического узла; 13 - стакан лазерно-оптического узла; 14 - ZnSe-стекло; 15 - главная плита нанесения слоев порошка; 16 - рама главной плиты нанесения слоев порошка; 17 - силовая рама установки; 18 - герметичная камера внутренняя; 19 - система нагрева нанесенного слоя порошка; 20 - пирометр (только б); 21 - лампа освещения; 22 - камера защитная наружная; 23 - рама камеры защитной наружной; 24 - сменный бункер изготовления; 25 - система нагрева сменного бункера изготовления; 26 устройство поджима сменного бункера изготовления; 27 - дверь теплозащитная двойная (только б); 28 - бункер подачи порошка левый (только а); 29 устройство поджима бункера подачи порошка левое (только а); 30 - бункер подачи порошка правый (только а); 31 - устройство поджима бункера подачи порошка правое (только а); 32 - бункер сбора порошка левый (только а); 33 - устройство поджима бункера сбора порошка левое (только а); 34 - бункер сбора порошка правый (только а); 35 - устройство поджима бункера сбора порошка правое (только а); 36 - пневмо-газовая система (только а); 37 – шкаф с электроавтоматикой (только а); 38 – термопара.

Контроль точности предварительного подогрева нанесенного слоя порошка до $385~^{0}\mathrm{C}$ осуществляется благодаря пирометру - 20 (рис. 3, б), установленному в верхней части герметичной камеры внутренней.

Контроль поддерживания всего объема изготавливаемой детали вместе с неспеченным порошком при температуре 360 °C с последующим медленным управляемым остыванием до 20 °C осуществляется благодаря термопарам - 38, установленным в центральном вырезе в каждом плоском керамическом нагревателе - 25 и в каждом плоском керамическом нагревателе в системе нагрева рабочего стола - 6.

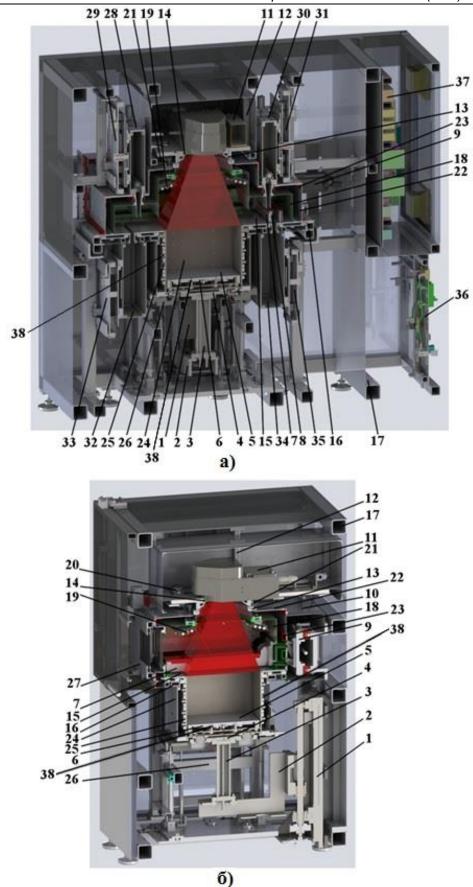


Рис. 3. Структурный план (описание в тексте)

Задачу 2 удалось решить благодаря введению в конструкцию множества дополнительных водяных, газовых и воздушных контуров охлаждения,

предотвращающих возникновение тепловых деформаций в элементах установки, а также защища-

ющих от перегрева электрические разъемы, датчики, оптические элементы и другие элементы установки, работа которых невозможна при нагреве более чем на 40-70 °C. Другими словами удалось изолировать рабочее пространство подогреваемое до 385°C вместе с объемом изготавливаемой детали и не обработанным порошком ото всех узлов и устройств отвечающих за точное нанесение слоев порошка и сплавления порошка при помощи лазера.

Продолжение в следующем номере в ЧАСТИ 2. Список литературы

- 1. Gibson, I.; Rosen, D.W.; and Stucker, B. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. New York, NY: Springer, 2010.
- 2. Rundle, G.A. Revolution in the Making: 3D Printing, Robots and the Future; Affirm Press: South Melbourne, Australia, 2014.
- 3. Shishkovsky I.V. *Laser synthesis of functional mesostructures and 3D parts*. Fizmatlit Publ.: Moscow, **2009**.
- 4. Nazarov A.P. Perspective of rapid prototyping via selective laser sintering/melting method. *Vestnik MGTU «Stankin»*. **2011**, (4), 46-51.
- 5. Tarasova, T.V.; Nazarov A.P. Investigation of the processes of modification of the surface layer and the manufacture of three-dimensional engineering components through selective laser melting. *Vestnik MGTU «Stankin»*. **2013**, (2), 17-21.
- 6. Kinstlinger, I.S.; Bastian, A.; Paulsen, S.J.; Hwang, D.H.; Ta, A.H.; Yalacki, D.R.; Schmidt, T.; Miller, J. S. Open-Source Selective Laser Sintering (OpenSLS) of Nylon and Biocompatible Polycaprolactone. *PLoS One.* **2016**, *11*(2), e0147399. doi: 10.1371/journal.pone.0147399
- 7. Van Hooreweder, B.; Moens, D.; Boonen, R.; Kruth, J.-P.; Sas, P. On the difference in material structure and fatigue properties of nylon specimens produced by injection molding and selective laser sintering, *Polymer Testing*, **2013**, *32*(5), 972-981.
- 8. Nelson, J.S.; Xue, S.; Barlow, J.W. et al. Model of Selective Laser Sintering of Bisphenol-A Polycarbonate. *Ind. Chem. Eng. Res.* **1993**, *32*, 2305-2317.
- 9. Berzins, M.; Childs, T.H.C.; Ryder, G.R.The Selective Laser Sintering of Polycarbonate. CIRP Annals. 1996, 45(1), 187-190.doi: 10.1016/S0007-8506(07)63044-3
- 10. Ivanova, A.M.; Kotova, S.P.; Kupriyanov, N.L.; Petrov, A.L.; Tarasova, E.Yu; Shishkovskii, I.V. Physical characteristics of selective laser sintering of metal—polymer powder composites. *Quantum Electronics*, Vol. 28, 1998, No 5, P. 420-425. doi: 10.1070/QE1998v028n05ABEH001240
- 11. Shishkovskii, IV; Kupriyanov, NL Thermal fields in metal-polymer powder compositions during laser treatment . *High temperature* **1997**, *35* (5), 710-714
- 12. Ho, H.C.H.; Cheung, W.L.; Gibson, I. Morphology and Properties of Selective Laser Sintered Bisphenol A Polycarbonate. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **2003**, *42*(9), 1850–1862. DOI: <u>10.1021/ie0206352</u>

- 13. Goodridge, RD; Tuck, CJ; Hague, RJM. Laser sintering of polyamides and other polymers *Progress in Materials Science* **2012**, *57* (2), 229-267.
- 14. Franco, A.; Lanzetta M.; Romoli L.—Experimental analysis of selective laser sintering of polyamide powders: an energy perspective. *Journal of Cleaner Production* **2010**, *18*(16–17), 1722-1730 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.07.018
- 15. Goodridge, RD; Hague, RJM; Tuck, CJ. Effect of long-term ageing on the tensile properties of a polyamide 12 laser sintering material. *Polymer Testing* **2010**, *29* (4), 483-493.
- 16. Shishkovsky, I.V.; Juravleva, I.N. Kinetics of polycarbonate distraction during laser-assisted sintering. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **2014**, *72*, 193-199. <u>10.1007/s00170-013-5575-8</u>
- 17. Shishkovsky, I.; Nagulin, K.; Sherbakov, V. Study of biocompatible nano oxide ceramics, interstitial in polymer matrix during laser-assisted sintering. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* **2015**, 78(1-4), 449-455. <u>10.1007/s00170-014-6633-6</u>
- 18. Goodridge, RD; Hague, RJM; Tuck, CJ. An empirical study into laser sintering of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) *Journal of Materials Processing Technology* **2010**, *210* (1), 72-80.
- 19. Laureto, J.J.; Dessiatoun, S.V.; Ohadi, M.M.; Pearce, J.M. Open Source Laser Polymer Welding System: Design and Characterization of Linear Low-Density Polyethylene Multilayer Welds. *Machines* **2016**, *4*, 14.
- 20. Tarasova, E; Juravleva, I.; Shishkovsky, I.; Ruzhechko, R. Layering laser-assisted sintering of functional graded porous PZT ceramoplasts. *Phase Transitions A Multinational Journal.* **2013**, 86(11), 1121-1129. 10.1080/01411594.2013.803105
- 21. Volyansky, I.; Shishkovsky, I. Laser assisted 3D printing of functional graded structures from polymer covered nanocomposites. p. 237-258. Book Chapter 11 in InTech Publ., Igor V. Shishkovsky (Ed.) 'New Trends in 3D Printing', 2016, Rijeka, Croatia, 268 p. Open access
- 22. Serra, T.; Planell, J.A.; Navarro, M. High-resolution PLA-based composite scaffolds via 3-D printing technology. *Acta Biomaterialia* **2013**, 9(3), 5521-5530 doi: 10.1016/j.actbio.2012.10.041
- 23. Chia, H.N.; Wu, B.M. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of Biological Engineering* **2015**, 9, 4. <u>doi: 10.1186/s13036-015-</u>0001-4
- 24. Trachtenberg, JE; Mountziaris, PM; Miller, JS; Wettergreen, M; Kasper, FK, Mikos, AG. Opensource three-dimensional printing of biodegradable polymer scaffolds for tissue engineering. 2014, 102(12) 4326–4335. DOI: 10.1002/jbm.a.35108
- 25. Laureto, J.; Tomasi, J.; King, J.A; Pearce, J.M. Thermal properties of 3-D printed polylactic acid-metal composites. *Progress in Additive Manufacturing* **2017**, 2(1), 57–71.
- 26. Wittbrodt, B.; Pearce, J.M. The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components.

- *Additive Manufacturing* **2015,** 8, 110-116. <u>doi:</u> 10.1016/j.addma.2015.09.006
- 27. EOS Plastic Materials for Additive Manufacturing. https://www.eos.info/material-p (accessed on 10 January 2018).
- 28. https://en.wikipedia.org/wiki/Poly-ether_ether_ketone (accessed on 10 January 2018).
- 29. VICTREXTM PEEK Polymers. https://www.victrex.com/~/media/datasheets/victrex_tds_450g.ashx (accessed on 10 January 2018)
- 30. Berretta, S.; Evans, K.E.; Ghita, O. Processability of PEEK, a new polymer for High Temperature Laser Sintering (HT-LS). *European Polymer Journal*, **2015**, *68*, 243-266.
- 31. Schmidt, M.; Pohle, D. Rechtenwald, T. Selective Laser Sintering of PEEK. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, **2007**, *56*(1), 205-208.
- 32. PEEK (Polyarylethe-retherketone). http://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/peek.aspx (accessed on 10 January 2018).
- 33. EOS Systems and Equipment for Plastic Additive Manufacturing. https://www.eos.info/systems_solutions/plastic/systems_equipment (accessed on 10 January 2018)
- 34. 3D Systems https://www.3dsystems.com/3d-printers/plastic#selective-laser-sintering-printers-sls (accessed on 10 January 2018)
- 35. EOS P 500 The automation-ready manufacturing platform for laser sintering of plastic parts on an

- industrial scale https://www.eos.info/systems_solutions/eos-p-500 (accessed on 17 January 2018)
- 36. Zhirnov, I.; Podrabinnik, P.; Okunkova, A.; Gusarov, V. Laser beam profiling: experimental study of its influence on single-track formation by selective laser melting. *Mechanics & Industry*, **2015**, *16*(7), 709. doi: 10.1051/meca/2015082
- 37. Gusarov, V.; Okunkova, A.; Peretyagin, P.; Zhirnov, I.; Podrabinnik, P. Means of Optical Diagnostics of Selective Laser Melting with Non-Gaussian Beams. *Measurement Techniques*, **2016**, *58*(10), 1185–1185. doi: 10.1007/s11018-015-0810-3
- 38. π Shaper <u>http://www.pishaper.com/public.php</u> (accessed on 10 January 2018)
- 39. HEATRODSHOP http://www.heatrod-shop.com/product/qhs (accessed on 10 January 2018)
- 40. Mir nagreva <a href="https://www.mirnagreva.ru/cat-alog/in-frakrasnye_nagrevateli_obogrevateli_lampy/kyartseyy_nagrevateli_obogrevateli_lampy/kyartseyy_nagrevateli_nagr
- frakrasnye_nagrevateli_obogrevateli_lampy/kvartsevy e_nagrevateli/kvartsevye_galogenovye_izluchateli/ (accessed on 10 January 2018)
- 41. Thermon http://www.thermon.co.za/cata-logue/heating-elements/flat-elements-box-heat-ers/thermon-fc-flat-heater-ceramic-insulation (accessed on 10 January 2018)
- 42. Marion http://elektroteni.ru/ploskie.html (accessed on 10 January 2018)

ОЦЕНКА РИСКА НОРМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСХОДА ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА МИКРОАВТОБУСА ГАЗель

Папинян Маргарита Геворговна

Национальный аграрный университет Армении

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен вопрос оценки риска норм расхода газомоторного топлива во внутригородских пассажироперевозках. Математическая модель оценки риска основано на методике определения доверительных интервалов ис теории анализа случайных процесов.

Ключивие слова: эксплуатационная норма, газомоторного топлива, дисперсия, доверительный интервал.

ANNOTATION

The article considers the issue of the risk assessment of the norms for the consumption of gas engine fuel in intraurban passenger transportation. The mathematical model of risk assessment is based on the method for determining confidence intervals in the theory of analysis of random processes.

Key words: operational rate, gas engine fuel, dispersion, confidence interval.

Назначение нормативного значения эксплуатационнога расхода пририодного газа на основе режимов движения микроавтобуса ГАЗель[2] нуждаеться в проверке в условиях реальной эксплуатации. Такая необходимость контроля норми расхода природного газа обусловленно тем, что в итоговой собестоймости автомобилных перевозок сумма расхода на топливо состовляет от 15 да 32%. Естественно неточности норм расхода на топливо приводят к необоснованным тарифам автоуслуг и несостоятельность конкурентаспособности на рынке транспортных услуг. Возникает вопрос оценки риска назначенного нормативного значения экс-

плуатационной нормы расхода газомоторного топлива микроавтобуса ГАЗель в условиях внутри городских пассажироперевозок.

С целью оценки риска назначенного нормативного значения эксплуатационнога расхода природного газа были проведены исследования на разных маршрутах пассажироперевозок Еревана. Ландшафт Еревана формировано так что часть улиц расположено на равниной половине часть в предгорье, где улицы имеют естественный прадольный уклон от 3% до 8%. Исследуемые маршруты проходят как по улицам равниной части города так и по предгорной меснотости.