```
R = 1000 * eye(2);
% Initial conditions
persistent x_est p_est
if isempty(x_est)
 x_est = zeros(6, 1);
 p_est = zeros(6, 6);
end
% Predicted state and covariance
x_prd = A * x_est;
p_prd = A * p_est * A' + Q;
% Estimation
S = H * p_prd' * H' + R;
B = H * p_prd';
klm_gain = (S \ B)';
% Estimated state and covariance
x_est = x_prd + klm_gain * (z - H * x_prd);
p_est = p_prd - klm_gain * H * p_prd;
% Compute the estimated measurements
y = H * x_est;
end
```

Для исходного файла должно быть проведено автоопределение типов данных при помощи MATLAB Coder. Это выполняется при помощи отдельного тестового файла:

```
% Copyright 2009 - 2010 The MathWorks, Inc.
function ObjTrack01(position)
%#eml
% Figure setup
numPts = 300;
figure;hold;grid;
% Kalman filter loop
for idx = 1: numPts
 % Get the input data
 z = position(:,idx);
 % Use Kalman filter to estimate the location
 y = kalman01(z);
 % Plot the results
 plot_trajectory(z,y);
end
hold;
end
```

Далее следует следует произвести преобразование кода в формат с фиксированной точкой и валидацию типов данных. В рассматриваемом случае на этом этапе возникает ошибка: Fixed point converter does not have yet handle ‘ mldivide function(operator `/`)` nodes.

Необходимо заменить оператор klm_gain = (S \ B)'; на следующий код:

```
%klm_gain = (S \ B)';
invS = mat_inv_2x2(S);
klm_gain = (invS*B)';
function invM = mat_inv_2x2(M)
 detM = M(1,1)*M(2,2) - M(1,1)*M(2,1);
 adjoint = [ M(2,2) -M(1,2); -M(2,1) M(1,1)];
 if (abs(detM)) < 1.e-10
 invM = zeros(2, 2);
 else
 invM = adjoint/detM;
 end
end
```

С учётом внесённых изменений может быть получен код с фиксированной точкой для одного из поддерживаемых в MATLAB’е микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров. Затем можно провести валидацию полученного кода.

Литература

1. Мартин Г., Зарринкуб Х. От MATLAB к EMBEDDED C. Электронные компоненты. №7, 2012. - с.49-50.

2. Bhurat H. Introducing Fixed-Point Designer for MATLAB and Simulink [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.mathworks.com/videos/introducing-fixed-point-designer-for-matlab-and-simulink-81554.html. Требуется регистрация.

3. Zarrinkoub H. Generate C Code from MATLAB Functions Using the Embedded MATLAB Subset [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.mathworks.com/videos/generate-c-code-from-matlab-functions-using-the-embedded-matlab-subset-81679.html. Требуется регистрация.

4. Grewal M. S., Andrews A. P. Kalman filtering. Theory and Practice Using MATLAB. 4th Edition. New Jersey: - John Wiley & Sons, 2015. - 639 p.

УСТАНОВКА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРОВ*

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

ЧАСТЬ 2
(ЧАСТЬ 1 в выпуске № 7 (52) / 2018
1 часть)

***Назаров Алексей Петрович*[1, a], *Скорняков Иннокентий Алексеевич*[1, b], *Шишковский Игорь Владимирович*[2, c]**

[1]ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Россия 127055, Москва, Вадковский пер. 1
[2]ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия 443011, Самара, Ново-Садовая, 221

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.

4. Установка для селективного лазерного спекания высокотемпературных полимеров

Кинематическая схема установки приведена на рис. 4. Лазерно-оптическая схема установки приведена на рис. 5.

В кинематической схеме установки (см. рис. 4) нами предлагались следующие наиболее интересные технические решения:

- вертикальное перемещение рабочего стола реализовано благодаря шарико-винтовой паре, вращаемой от серводвигателя, что является традиционным решением, для подобных узлов во множестве СЛС установок.

- горизонтальное перемещения устройства нанесения слоев порошка реализовано благодаря шарико-винтовой паре, вращаемой от серводвигателя. Это принципиально отличает нашу установку от установок других производителей, которые зачастую для реализации горизонтального перемещения используют ременную передачу, натянутую между двумя роликами. Однако опыт эксплуатации ременного привода, натянутого между роликами, показал его ненадежность из-за периодического засорения роликов натяжения порошком, что приводит к частым поломкам привода.

- дозирование необходимых порций порошка реализовано благодаря шлицевым валам, вращаемым шаговыми двигателями, что является классическим решением для современных СЛС установок, работающих с пластиковыми порошками.

- для предотвращения аварийных перемещений узлов предусмотрены датчики конечных положений.

- для точного отслеживания перемещения применены датчики контроля координат.

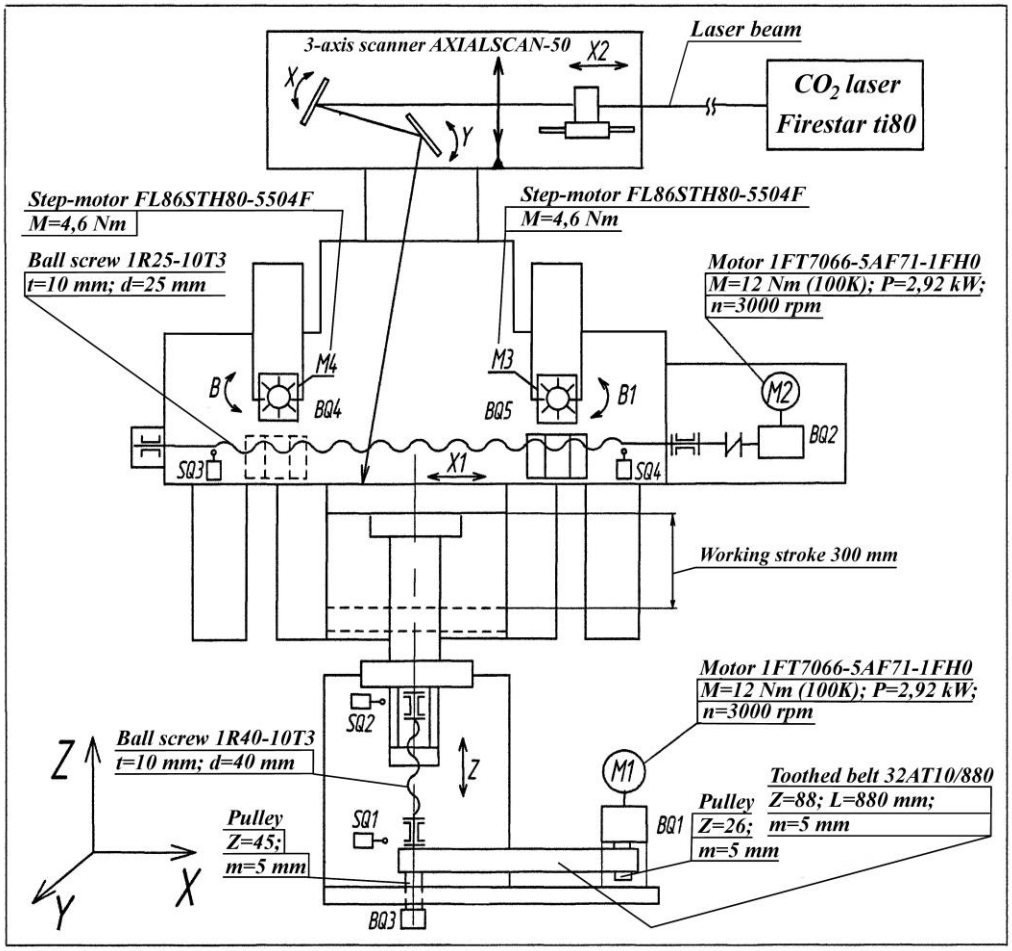

Рис. 4. Кинематическая схема установки: M1, M2, M3, M4 – электромоторы; X, Y– основные оси перемещения; Z, X1, B, B1, X2 – вспомогательные оси перемещения; SQ1, SQ2, SQ3, SQ4 – датчики конечных положений; BQ1, BQ2, BQ3, BQ4 – датчики контроля координат перемещения

Основные контуры охлаждения установки приведены на рис. 5. Они включают следующие позиции: 1 - охлаждение воздухом защитного ZnSe-стекла со стороны сканатора; 2 - охлаждение азотом защитного ZnSe-стекла со стороны стакана лазерно-оптического узла; 3 - охлаждение азотом привода механизма разравнивания порошка; 4 – охлаждение водой главной плиты нанесения слоев порошка; 5 – охлаждение водой фланца стакана лазерно-оптического узла, на котором установлен защитное ZnSe-стекло; 6 – охлаждение водой охлаждаемой штанги для перемещения нижнего переходного стола; 7 – охлаждение водой плиты устройства поджима сменного бункера изготовления; 8 - охлаждение азотом оптической части пирометра; 9 - охлаждение водой корпуса пирометра; 10 – охлаждение воздухом электрических разъемов, входящих в нижний переходной стол и рабочий стол. На все индуктивные датчики положения в устройстве поджима сменного бункера изготовления был реализован локальный поток воздуха для предохранения от перегрева (на рис. 5 не показано). Реализовано охлаждение азотом лампы освещения (на рис. 5 не показано).

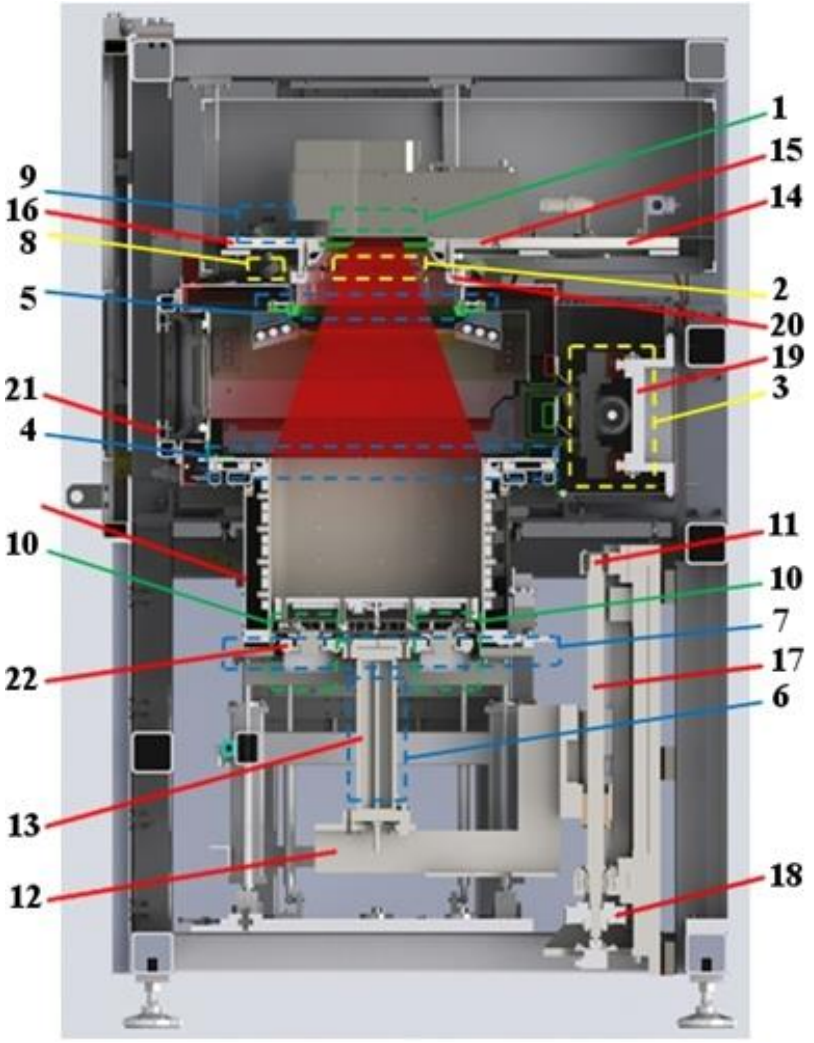

Рис. 5. Контуры системы охлаждения установки и контрольные точки замера температуры. Различные цвета соответствуют различным контурам охлаждения: вода—синий, азот—желтый, воздух—зеленый, контрольные точки—красный.

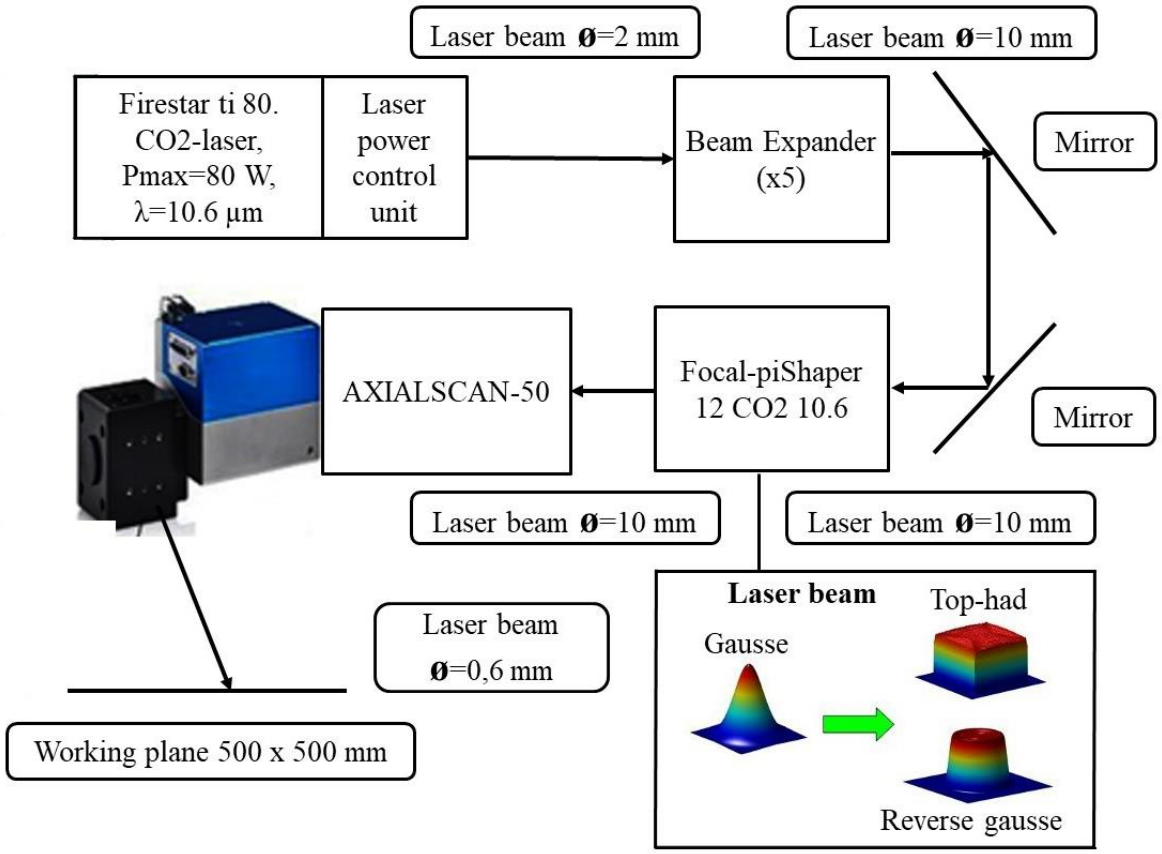

Figure 6. Лазерно-оптическая схема установки

Из разработанной схемы лазерно-оптического узла (рис. 6) видны следующие наиболее интересные технические решения:

– CO_2 – лазер Firestar ti 80 фирмы Synrad (США) [1]. Данный лазер обеспечивает диапазон регулирования мощности от 5 Вт до 80 Вт за счет управления частотной модуляцией лазерного излучения;

– расширитель лазерного луча Beam Expander x5 фирмы Synrad (США) [2] необходимый для согласование оптических характеристик луча лазера с устройством изменения распределения интенсивности лазерного излучения Focal–piShaper и со сканатором;

– устройство изменения распределения интенсивности лазерного излучения Focal–piShaper 12_CO_2_10.6 фирмы Ald Optics (Германия) [3]. Данное техническое решение, принципиально отличает разработанный нами лазерно-оптический узел, от других производителей СЛС установок. Устройство Focal–piShaper позволяет изменять распределение интенсивности лазерного излучения с «гаусс» на «обратный гаусс» или «топ–хэт», что по мнению некоторых исследователей может повысить качество изготавливаемых методом СЛС деталей [4-6];

– сканатор AXIALSCAN–50 фирмы Raylase (Германия) [7]. Яркой особенностью данного сканатора является то, что сохранение постоянного диаметра сфокусированного лазерного луча по всему большому полю сканирования 500 х 500 мм осуществляется благодаря совместному взаимодействию неподвижной фокусирующей линзы и быстро перемещающейся расфокусирующей линзы. Данное техническое решение принципиально отличается от классического использования двухосевого сканатора с f-theta objective в СЛС установках;

– два CO_2 – зеркала, необходимые для разворота направления распространения лазерного луча на 180º с целью достижения максимальной компактности сканирующей лазерной системы.

5. Система контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка

Соблюдение точности толщины для каждого наносимого слоя ±10 мм порошка на всей длине и ширине 500 мм, в условиях значительного переменного нагрева до 385 ^{0}C во многом зависит от правильной и точной юстировки устройства нанесения слоев порошка относительно платформы, по которой распределяются слои. До недавнего времени правильная юстировка устройства нанесения слоев порошка проводилась в ручном режиме оператором перед началом спекания порошка при настройке установки. Далее процесс изготовления детали проводился в автоматическом режиме, без контроля устройства нанесения слоев порошка. В случае неправильной изначальной юстировки и/или последующем отклонении устройства нанесения слоев порошка возникают слои различной толщины, приводящие в последствии к потере качества или разрушению изготавливаемой детали. Разрабатываемая установка была снабжена нами автоматизированной системой контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка, основанной на интегральной оценке тепловой картины нанесенного

слоя порошка. Функционирование этой системы контроля основано на следующих принципах (рис. 7):

a) разравнивающий двойной нож выставляется оператором в ручном режиме перед началом работ относительно верхней поверхности платформы;

b) разравнивающий двойной нож всегда имеет перекос относительно верхней поверхности платформы и при нанесении слоя порошка из крайнего левого положения (рис. 7, а) толщина наносимого слоя определяется лезвием 4;

c) при нанесении слоя порошка из крайнего правого положения (рис. 7, б) толщина наносимого слоя определяется лезвием 5, таким образом, разность толщин для наносимого слоя из крайнего левого положения и крайнего правого положения составит δ мкм;

d) нагреватели, установленные над наносимым слоем порошка, в случае правильной настройки, сообщают одинаковое количество тепла каждому нанесенному слою порошка;

e) пирометр, установленный над нанесенным слоем порошка, должен фиксировать отличающиеся значения нагрева для слоев порошка, нанесенных из крайнего левого положения и слоев порошка, нанесенных из крайнего правого положения из-за разности толщины слоев δ;

f) сумма значений нагревов (интегральный нагрев) для 25 слоев порошка, нанесенных из крайнего левого положения, будет отличаться от суммы значений нагревов для 25 слоев порошка, нанесенных из крайнего правого положения из-за разницы толщин слоев на величину δ;

g) на основании разницы интегральных нагревов для слоев порошка, нанесенных из крайнего левого и крайнего правого положений можно будет однозначно сделать вывод о степени перекоса разравнивающего двойной ножа относительно верхней поверхности платформы;

h) контроль юстировки двойного ножа по описанным выше принципам необходимо проводить перед началом построения для проверки правильности юстировки оператором, а также непосредственно в процессе построения.

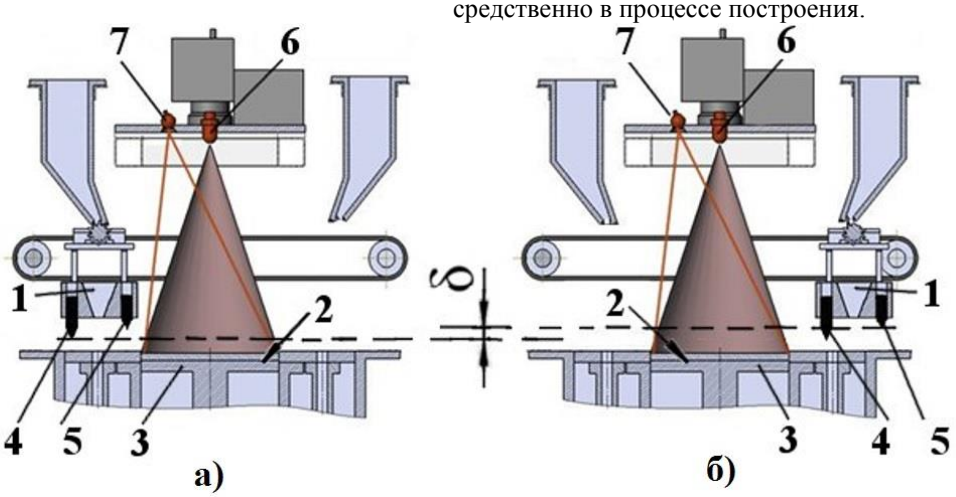

Рис. 7. Схематичное изображение функционирования системы контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка для процесса СЛС ПЭЭК: а – нанесение слоя порошка из крайнего левого положения, б - нанесение слоя порошка из крайнего правого положения. Расшифровка позиций: Описание позиций: 1 - разравнивающий двойной нож, 2 - верхняя поверхность платформы, 3 - платформа, 4 - лезвие ножа левое, 5 - лезвие ножа правое, 6 - верхние нагреватели, 7 - пирометр.

Выше описанные принципы позволяют в автоматическом режиме контролировать юстировку устройства нанесения слоев порошка в разработанной установке СЛС. Нерешенными пока нами вопросами остаются: длительность и частота включения нагревателей; последовательность суммирования при интегральном нагреве и учет возможного перекоса на краях платформы.

6. Экспериментальная проверка конструкторских решений при пуско-наладке установки

При пуско-наладочных работах с целью, определения времени достижения стабильного нагретого состояния установки, были проведены эксперименты по нагреву нагревателей, системы нагрева рабочего стола – 6 (рис. 3, см. ЧАСТЬ 1, в выпуске № 7 (52) / 2018, 1 часть) и нагреватели - 25, системы нагрева сменного бункера изготовления до температуры 360 ^{0}C. Показания температуры, снимались с термопар 38 (рис. 8) и со специально установленных для измерений в точках 101-108 дополнительных термопар (рис. 8). Было установлено, что колебания температур в термопарах 38 (рис. 8) не превышающие ±5 ^{0}C (данные колебания можно условно назвать «стабильным нагретым состоянием установки») достигаются за время не более 25 мин. Однако колебания температур, не превышающие ±5 ^{0}C в термопарах, установленных в точках 101-108 (рис. 8), достигаются за более длительное время около 90-120 мин (в зависимости от задаваемой скорости нагрева нагревателей и температуры окружающей среды). На основании этого было определено рекомендуемое время достижения стабильного нагретого состояния установки равное двум часам.

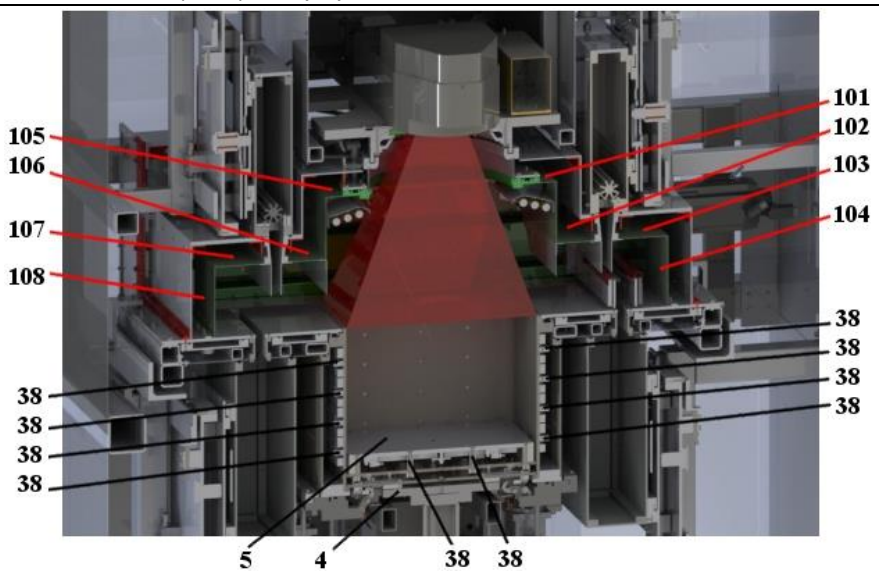

Рис. 8. Детализация области изготовления установки (разрез вдоль установки в аксонометрии): 101-108 - места расположения специально установленных для эксперимента термопар, 38 – стационарные термопары установки, 4 - нижний переходной стол (повтор позиции с Рис. 3а, см. ЧАСТЬ 1, в выпуске № 7 (52) / 2018, 1 часть), 5 - рабочий стол (повтор позиции с Рис. 3а, см. ЧАСТЬ 1, в выпуске № 7 (52) / 2018, 1 часть)

Правильность создания, расположения и функционирования множества контуров охлаждения была подтверждена экспериментами. В частности, в точках 11-22 (рис. 5) многократно в течении пуско-наладочных работ проводился контроль температуры при помощи ручного пирометра для металлов (точность пирометра ± 1 ^{0}C). На рис. 9 показан временной ход изменения температуры в указанных точках. Он показывает надежность работы всех защитных контуров охлаждения в процессе работы установки. Из рис. 9 видно, что в точках 11-19, нагрев не превышает температуру окружающей среды больше чем на 5 °C. В точках 20-22 температура достигает значений от 40 до 50 °C, которые не превышают допустимые значения для работы электроприборов. В точке 13 присутствует водяное охлаждение чиллером, настроенным на температуру ~20 °C, поэтому у этой точки была температура ниже окружающей среды.

На рис. 10 изображен внешний вид созданной установки со снятыми защитными кожухами и узлами. Это необходимо было для контроля температуры нагрева в точках 11-22 (рис. 5).

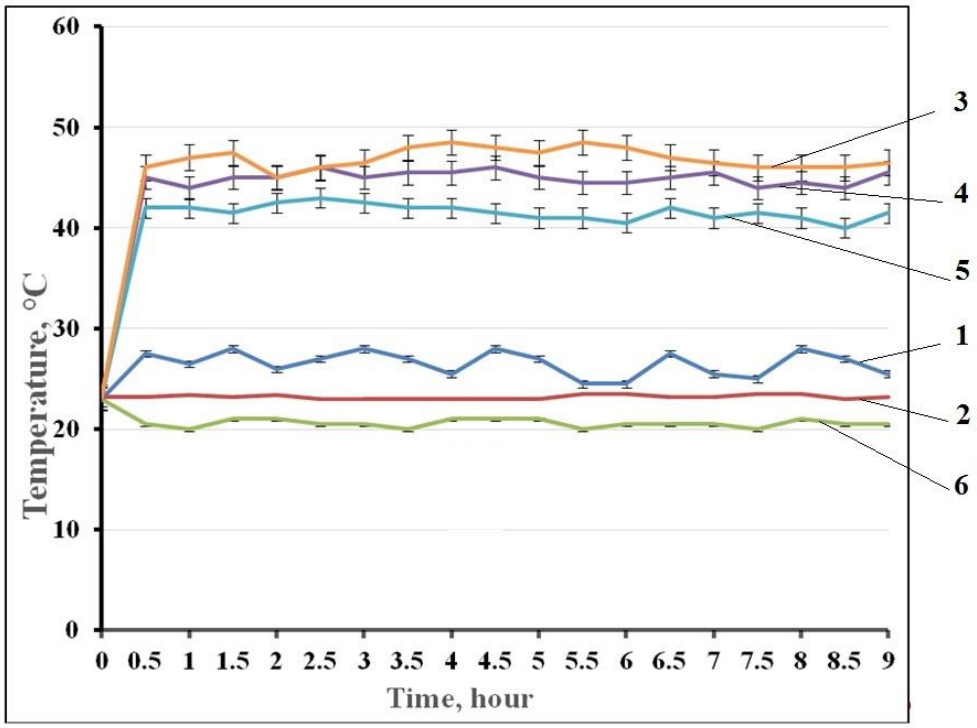

Рис. 9. Зависимость температуры в контрольных точках 11-22 (рис. 5) в зависимости от времени работы установки: 1 – контрольные точки 11-19, 2- температура окружающей среды, 3 - контрольная точка 22, 4 - контрольная точка 20, 5 - контрольная точка 21, 6 - контрольная точка 13

Правильность разработанной конструкции установки косвенно подтверждается замерами точности перемещения узла 4 - нижний переходной стол (рис. 8), который через систему жестких зажимов определяет точность вертикального перемещения узла 5 - рабочий стол. Замеры точности вертикального перемещения узла 4 - нижний переходной стол проводились при стабилизированном нагреве установки при помощи лазерного интерферометра XL-80 [8] (Renishaw, точность ± 0,5 ppm) После проведения настройки привода вертикального перемещения нижнего переходного стола с применением программной коррекции повторяемость перемещения узла 4 - нижний переходной стол ± 8 μm. Точность перемещения узла 4 - нижний переходной стол ± 5 μm. Данные значения точности перемещения узла 4 при корректной работе разравнивающих ножей обеспечивают нанесение равномерных слоев порошка по всей рабочей зоне 500 х 500 мм толщиной 120±10 μm.

Разработанная установка имеет собственное программное обеспечение, открытое к модернизации и наполнению, с возможностью управления большим выбором технологических и управляющих установкой параметров (например, скоростью сканирования, мощностью лазерного излучения, шагом штриховки, толщиной слоя, типом стратегии сканирования, режимами нагрева нагревателей, скорости перемещения приводов и проч., вплоть до управления временами задержек на зеркалах сканатора и др.) Это очень важно при проведении экспериментально-научных работ при поиске оптимальных технологических режимов.

За рамками данной статьи остаются вопросы определения технологических режимов СЛС для выбранной марки ПЭЭК, которые будут решаться нами на завершающей стадии пуско-наладочных работ.

Рис. 10. Созданная установка со снятыми защитными кожухами и узлами для доступа к точкам 11-22 с рис. 5 с целью контроля температуры

7. Заключение

В данной работе представлена оригинальная конструкция установки для СЛС высокотемпературных полимеров с системой контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка. Обсуждаются кинематическая и лазерно-оптическая схемы установки. Показано, что для реализации технологии СЛС высокотемпературных полимеров необходимо реализовать многоконтурные системы нагрева и одновременно защитить все точные элементы и приборы установки от тепловых воздействий. Описаны виды и типы защитных контуров охлаждения, а также раскрыты принципы функционирования системы контроля юстировки устройства нанесения слоев порошка. Обнаружено, что степень перекоса устройства нанесения слоев порошка можно определять в автоматическом режиме, сравнивая интегральные нагревы для слоев порошка нанесенных из крайнего левого и крайнего правого положений. Приведено описание экспериментов, подтверждающих правильность принятых конструкторских решений при проектировании установки. Предложенные нами решения расширяют возможности бизнеса и промышленности, занимающихся развитием и выпуском наукоемкой продукции из высокотемпературных полимеров типа ПЭЭК.

Список литературы

1. Synrad - https://www.synrad.com/synrad/docroot/products/lasers/ti-series (accessed on 10 January 2018)

2. Synrad - https://www.synrad.com/synrad/docroot/products/accessories/beam-expanders (accessed on 10 January 2018)

3. πShaper - http://www.pishaper.com/shaper_for_co2.php (accessed on 10 January 2018)

4. 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

5. 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

6. πShaper - http://www.pishaper.com/public.php (accessed on 10 January 2018)

7. Raylase - https://www.raylase.de/en/products/3-axis-deflection-units/axialscan-50.html (accessed on 10 January 2018)

8. Renishaw. Available online: http://www.renishaw.com/en/xl-80-laser-system--8268 (accessed on 30 January 2018).

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ТРАНСПОРТЕ ПРИ ОТКАЗЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

Немцов Юрий Владимирович
ассистент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ), г. Москва
Казанский Николай Александрович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ), г.Москва
Лысюк Полина Игоревна
ассистент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ), г. Москва

METHOD FOR CALCULATING THE SURVIVABILITY OF MOBILE COMMUNICATION NETWORKS IN TRANSPORT IN THE EVENT OF A FAILURE OF BASE STATIONS

АННОТАЦИЯ: в статье содержится обзор и анализ моделей расчета живучести сетей мобильной связи при потере работоспособности базовых станций в условиях чрезвычайной ситуации. Рассмотрены особенности различных моделей расчета, факторы влияния на качество обслуживания вызовов. Предложены пути повышения живучести сети мобильной связи.

SUMMARY: article contains review and analysis of models for calculating the survivability of mobile communication networks in the event of loss of operability of base stations in an emergency situation. The features of various models of calculation, factors of influence on the quality of calls service are considered. Ways to increase the survivability of the mobile communication network are suggested.

Ключевые слова: мобильная связь, чрезвычайная ситуация, живучесть сетей.

Keywords: mobile communication, emergency situation, network survivability.

Мобильная связь уже давно стала неотъемлемым атрибутом современного человека и, благодаря возможностям, которые предоставляют операторы сотовой связи своим абонентам, стала важной составляющей жизни человека. Конечно, сотовая связь это в первую очередь голосовое общение абонентов, и примерно первые десять лет развития рынка подобного рода услуг, общению между людьми уделялось максимум внимания. Для обеспечения качественной связи прилагалось максимум усилий, в частности, велось строительство сетей, проводились работы по обеспечению доступности сетей связи для широкого круга абонентов как в городе, так и за его пределами, в области и регионах.