ISSN online 2658-6436

№ 1 (3)
2019

Научно-технический журнал

Автоматизация и моделирование

в проектировании и управлении

АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ в проектировании и управлении

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2018 года **№ 1(03), 2019**

Сетевое издание

Выходит 1 раз в квартал

Учредитель издания – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Брянский государственный технический университет» (БГТУ)

Председатель редакционного совета - **Сигов А.С.**, *д-р. физ. мат. наук, проф., академик РАН*
Заместитель председателя редакционного совета – **Аверченков А.В.**, *д-р. тех. наук, доц.*
Заместитель председателя редакционного совета – **Федонин О.Н.**, *д-р. тех. наук, проф.*

Бобырь М.В., *д-р. тех. наук, проф. (Курск)*
Бочкарев П.Ю., *д-р. тех. наук, проф. (Саратов)*
Долгов Ю.А., *д-р. тех. наук, проф. (Тирасполь)*
Еременко В.Т., *д-р. тех. наук, проф. (Орел)*
Иващук О.А., *д-р. тех. наук, проф. (Белгород)*
Карпенко А.П., *д-р. физ. мат. наук, проф. (Москва)*
Квятковская И.Ю., *д-р. тех. наук, проф.(Астрахань)*
Кравец А.Г., *д-р. тех. наук, проф. (Волгоград)*
Курейчик В.В., *д-р. тех. наук, проф. (Таганрог)*
Ланцов В.Н., *д-р. тех. наук, проф. (Владимир)*
Носков С.И., *д-р. тех. наук, проф. (Иркутск)*
Пестер А., *д-р. тех. наук, проф. (Австрия)*
Петрешин Д.И., *д-р. тех. наук, проф. (Брянск)*
Подвесовский А.Г., *канд. тех. наук, доц. (Брянск)*
Пылькин А.Н., *д-р. тех. наук, проф. (Рязань)*
Скрыпников А.В., *д-р. тех. наук, проф. (Воронеж)*
Соснин П.И., *д-р. тех. наук, проф. (Ульяновск)*
Феофанов А.Н., *д-р. тех. наук, проф. (Москва)*
Хейфец М.Л., *д-р. тех. наук, проф. (Белорусь)*
Чепчуров М.С., *д-р. тех. наук, проф. (Белгород)*
Шептунов С.А., *д-р. тех. наук, проф. (Москва)*
Ярушкина Н.Г., *д-р. тех. наук, проф. (Ульяновск)*

Редколлегия
Главный редактор – **Аверченков В.И.** *д-р. тех. наук, проф.*
Зам. главного редактора – **Подвесовский А.Г.** *канд. тех. наук, доц.*
Ответственный секретарь – **Кузьменко А.А**. *канд. биол. наук*

Корректор – **Малюкина А.Ю.**

Адрес редакции:
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
тел.: (4832) 56-49-90
Адрес размещения: https://aimpu.ru
E-mail: aim-pu@mail.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-73848 от 05 октября 2018 года

ISSN online: 2658-6436

Журнал включен в специализированный референтный библиографический сервис Crosskef

Журнал публикует основные результаты научных исследований по специальностям:

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах
05.13.12 – Системы автоматизации проектирования
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении», допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции

© Брянский государственный технический университет, 2019

AUTOMATION AND MODELING

in design and managment

SCIENTIFIC TECHNICAL JOURNAL

Issued since 2018 **№ 1(03), 2019**

Online edition

Published once a quarter

The founder of the publication – the Federal state budgetary educational institution of higher education
«Bryansk State Technical University» (BSTU)

Chairman of Editorial Board –**Sigov A.S.**, *D. Phys.-Mat., Professor, Academician of RAS*
Deputy Chairman of Editorial Board – **Averchenkov A.V.**, *D. Eng., Associate professor*
Deputy Chairman of the editorial Board –**Fedonin O.N.**, *D. Eng., Professor*

M.Yu. Bobyr, *D. Eng., Prof., (Kursk)*
P.Yu. Bochkaryov, *D. Eng., Prof., (Saratov)*
Yu.A. Dolgov, *D. Eng., Prof., (Tiraspol)*
V.T. Yeremenko, *D. Eng., Prof., (Orel)*
O.A. Ivashchuk, *D. Eng., Prof., (Belgorod)*
A.P. Karpenko, *D. Phys.-Mat.,Prof., (Moscow)*
I.Yu. Kvyatkovskaya, *D. Eng., Prof., (Astrakhan)*
A.G. Kravets, *D. Eng., Prof., (Volgograd)*
V.V. Kureichik, *D. Eng., Prof., (Taganrog)*
V.N. Lantsov, *D. Eng., Prof., (Vladimir)*
S.Yu. Noskov, *D. Eng., Prof., (Irkutsk)*
A. Pester, *D. Eng., Prof., (Austria)*
D.I. Petreshin, *D. Eng., Prof., (Bryansk)*
A.G. Podvesovskiy, *Can. Eng., Assoc. Prof. (Bryansk)*
A.N. Pylkin, *D. Eng., Prof., (Bryansk)*
A.V. Skrypnikov, *D. Eng., Prof., (Voronezh)*
P.I. Sosnin, *D. Eng., Prof., (Ulyanovsk)*
A.N. Feofanov, *D. Eng., Prof., (Moscow)*
M.L. Kheifets, *D. Eng., Prof., (Minsk, Belarus)*
M.S. Chepchurov, *D. Eng., Prof., (Belgorod)*
S.A. Sheptunov, *D. Eng., Prof., (Moscow)*
N.G. Yarushkina, *D. Eng., Prof., (Ulyanovsk)*

Editorial board
Editor-in-Chief – **Averchenkov V.I.** *D. Eng., Prof.,*
Deputy Editor-in Chief – **Podvesovskiy A.G.** *Can. Eng., Assoc. Prof.*
Executive Secretary – **Kuzmenko A.A**. *Can. Biol. Sc.*
Corrector – **Maliukina A.Yu.**

Address of edition 7, 50 Years of October Avenue, Bryansk, Russia, 241035
Tel.: (4832) 56-49-90
Accommodation address: https://aimpu.ru
E-mail: aim-pu@mail.ru

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications of Russian Federation (ROSKOMNADZOR). Registration certificate Эл № ФС77-73848 of October 05, 2018

ISSN online: 2658-6436

Journal is included in a specialized consultant bibliographical service CrossRef

Reprinting, all kinds of material copying and reproduction of materials published in the journal "Automation and modeling in design and managment" is allowed only with the Editorial Board's permission and a reference to the source of information

© Bryansk StateTechnical University, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Епифанов А.В., Гашин П.А. Оптимизации параметров сброса сточных вод ГУП «Леноблводоканал г. Тихвин» на основе математического моделирования 4

Чабаненко А.В. Моделирование процессов 3D печати в управлении качеством построения физической модели объекта 10

Управление в социальных и экономических системах

Винниченко А.В., Назаревич С.А. Структурирование функции качества сложных технических систем под воздействием макроэкономических трендов 16

Сазонова А.С. Исследование влияния факторов-индикаторов на комплексный показатель инновационного потенциала регионов ЦФО 23

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

Назаревич С.А. Автоматизация процессов прогнозирования развития сложных технических систем 29

Петрушевская А.А. Методика поэтапной организации цифрового производства для обеспечения качества электроники с применением концепции DFM 34

Семенова Е.Г., Махров Н.Г., Борисов С.Г. Внедрение новых методов цифровизации программно-аппаратных комплексов в аддитивном производстве 41

CONTENTS

Mathematical modeling, numerical methods and program complexes

Epifanov A.V., Gashin P.A. Optimizing and adjustment of parameter of the discharge of wastewater SUE "Lenoblvodokanal Tikhvin" on the basis of mathematical modeling

Chabanenko A.V. Modeling of 3D printing processes in quality management of the construction of a physical model of an object

Management in social And economic systems

Vinnichenko A.V., Nazarevich S.A. Structuring the function of the quality of complex technical systems under the impact of macroeconomic trends

Sazonova A.S. Research of influence of factors indicators on a complex indicator of innovative capacity of regions of central federal district

Automation and control of technological processes and production, automateddesignsystems

Nazarevich S.A. Automation of forecasting development processes of complex technical systems

Petrushevskaya A.A. Methodology of phased organization for digital production to ensure the quality of electronics us-ing the concept of DFM

Semenova E.G., Makhrov N.G., Borisov S.G. Introduction of new methods of digitalizition of hardware and software systems in additive production

УДК: 004.942
DOI: 10.30987/article_5c9b8b2b779301.35883796

А.В. Епифанов П.А., Гашин

ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ГУП «ЛЕНОБЛВОДОКАНАЛ Г. ТИХВИН» НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящие время все предприятия сбрасывающие сточные воды в водные объекты должны рассчитывать нормативы допустимых сбросов. Расчет нормативов допустимых сбросов проводится на основе математического моделирования процессов конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ в водных объектах.

В данной статье предложена математическая модель переноса загрязняющих веществ в р.Тихвинка от ГУП «ЛенОблВодоканал г.Тихвин». На основе математического моделирования проведена оптимизация конструкции рассеивающего водовыпуска ГУП «ЛенОблВодоканал г.Тихвин» для минимизации антропогенной нагрузки на р.Тихвинка.

Ключевые слова: *сброс сточных вод; водоканал; математическое моделирование переноса загрязняющих веществ.*

A.V. Epifanov, P.A. Gashin

OPTIMIZINGAND ADJUSTMENTOF PARAMETER OF THEDISCHARGE OF WASTEWATER SUE "LENOBLVODOKANAL TIKHVIN" ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELING

At present, all enterprises that discharge waste water into water bodies should calculate the standards of permissible discharges. Calculation of permissible discharge standards is carried out on the basis of mathematical modeling of convective-diffusion transport and transformation of substances in water bodies.

In this article we propose a mathematical model of pollutants transport in the river Tikhvinka from sue "Lenoblmoloko Tikhvin". On the basis of mathematical modeling the optimization of the scattering design of a culvert sue "Lenoblmoloko Tikhvin town" to minimize anthropogenic impact on the Tikhvinka river.

Keywords: *sewage disposal; water and wastewater treatment; mathematical modeling of transport of pollutants.*

Каждое предприятие, осуществляющее сброс сточных вод в водные объекты, должно рассчитывать нормативы допустимых сбросов (НДС). Целью расчетов является определение допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах и допустимых масс сброса загрязняющих веществ с целью обеспечения заданных стандартов качества водных объектов.

Цель исследования – разработать математическую модель переноса загрязняющих веществ в р.Тихвинка и провести оптимизацию конструкции рассеивающего водовыпуска ГУП «ЛенОблВодоканал г.Тихвин».

Предмет исследования –конструкция рассеивающего водовыпуска ГУП «ЛенОблВодоканал г.Тихвин» и математическая модель переноса загрязняющих веществ в р.Тихвинка.

1. ГУП «ЛенОблВодоканал г.Тихвин»

ГУП «ЛенОблВодоканал г.Тихвин» обеспечивает город Тихвин чистой водой при помощи своих водоочисстных сооружений (ВОС), которые находятся выше по течению от города, и принимает хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды от городской застройки и промышленных предприятий города Тихвин.

Водоочистные сооружения состоят из 2-х технологических линий:

В первой технологической линии очистка воды принята по 2-х ступенчатой схеме:

I ступень – осветлители – рециркуляторы со взвешенным осадком и горизонтальные отстойники;

II ступень – скорые фильтры.

Во второй технологической линии очистка воды осуществляется по одноступенчатой схеме на контактных осветлителях.

Технология очистки сточных вод на канализационно-очистных сооружениях состоит из четырех технологических линий:

• Механическая очистка – механические решетки-дробилки, цепные решетки ступенчатого типа, песколовки, жиросборники и первичные отстойники;

• Биологическая очистка – аэротенки и вторичные отстойники;

• Обеззараживание стоков – контактные резервуары;

• Обработка осадка сточных вод – илоуплотнители и иловые площадки.

На балансе предприятия имеются два водовыпуска: на ВОС сбрасываются промывочные воды через один прямой водовыпуск, на КОС сбрасываются очищенные сточные воды через один водовыпуск с рассеивателем, который состоит из семи оголовков диаметром 250 мм с промежутком 2,1м и удален от берега на 8 метров.

Река Тихвинка относится к водным объектам высшей рыбохозяйственной категории водопользования, поэтому важно строгое соблюдение норм на сбросы загрязняющих веществ. Река входит в бассейн Ладожского озера.

2. Норматив допустимого сброса.

Норматив допустимого сброса – это масса ЗВ, которая может быть сброшена источником загрязнения в водный объект и не создаст с учетом процессов перемешивания и превращения веществ максимальной концентрации в контрольном створе, превышающей экологический норматив.

Величина НДС определяется как произведение максимального часового расхода сточных вод – q, м^3/с на допустимую концентрацию загрязняющего вещества - $C_{ст}^{доп.}$, г/м^3:

$$НДС = q \cdot C_{ст}^{доп.}, \quad (1)$$

$$C_{ст}^{доп.} = n \cdot (C_{ПДК} - C_{Ф}) + C_{Ф}, \quad (2)$$

где $C_{ПДК}$ – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, г/м^3; $C_{Ф}$ – фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке (г/м^3) выше выпуска сточных вод, определяемая в соответствии с действующими методическими документами по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков; n – кратность общего разбавления сточных вод в водотоке, равная произведению кратности начального разбавления nн на кратность основного разбавления n_0:

$$n = n_н \cdot n \quad (3)$$

В соответствии с водоохранным законодательством РФ контроль загрязняющих веществ производится на расстоянии, не превышающем 500 метров от водовыпуска. Тихвинские КОС имеют возможность изменить параметры рассеивающего водовыпуска для увеличения степени смешивания сточной и природной вод. Выбор оптимального варианта

позволит сократить плату за негативное воздействие на окружающую среду и уменьшит негативное влияние сбросов на р.Тихвинка [1 - 3].

3. Методика расчета.

На основе математического моделирования может проводится разработка природоохранных мероприятий[4,5]. Перенос загрязняющих веществ описывается дифференциальными уравнениями турбулентной диффузии:

$$\frac{dC}{dt} + Vx\frac{dC}{dx} + Vy\frac{dC}{dy} + Vz\frac{dC}{dz} = \frac{d}{dx}\left(Dx\frac{dC}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(Dy\frac{dC}{dy}\right) + \frac{d}{dz}\left(Dz\frac{dC}{dz}\right) - KC, \quad (4)$$

где C – мгновенное значение концентрации рассматриваемого компонента в водном потоке (г/м^3); x, y, z – координаты по соответствующим осям; t – временной параметр; Vx, Vy, Vz – компоненты скорости течения по соответствующим осям; Dx, Dx, Dz – коэффициенты турбулентной диффузии (конвективно-диффузионного переноса) по соответствующим направлениям (м^2/с);

К – коэффициент осаждения, К=f(w, H, Vx).

w- гидравлическая крупность м/с

H- глубина реки

Для расчёта нормативов допустимых сбросов для ГУП «ЛенОблВодоканал г.Тихвин» выбираем двухмерную математическую модель, это обусловлено тем, что попытка учесть реальную морфологию в рамках трёхмерной модели до сих пор наталкивается на большие вычислительные трудности, что в первую очередь, связано с отсутствием достаточного ряда данных натурных наблюдений. Анализ реального трёхмерного потока показывает, что поток можно рассматривать в рамках двухмерной задачи, если размеры его малы по сравнению с главными радиусами свободной поверхности и дна[6]. При ширине реки значительно превышающей глубину, выравнивание концентраций осуществляется под воздействием горизонтального КДП и ПВ.

Выбираем стационарную модель. Это обусловлено тем, что параметры водной системы можно считать постоянными.

Выбираем изотропную модель, при которой осреднённая скорость потока постоянна по всей области течения. Поэтому выбирается одна ось координат так чтобы её направление совпало с направлением основного течения в нашем случае $v_x=v_{ср}$.

Коэффициентом продольной диффузии не учитываем, так как скорость воды в р.Тихвинка значительна и конвективная составляющая переноса взвешенных веществ в направлении основного течения значительно превышает диффузионный перенос.

Из приведенной типизации получаем двумерную стационарную математическую модель прогноза качества воды для неконсервативных примесей в соответствии с уравнением [5]:

$$V_x\frac{dC}{dx} = D_y\frac{d^2C}{dy^2} - K_1C \quad (5)$$

Для решения этого уравнения были заданы начальные и граничные условия.

Начальные условия представляют собой заданное распределение исследуемого загрязняющего вещества по всему водному объекту в заданный начальный момент времени t = 0. В начальный момент времени концентрация загрязняющих веществ была приравнена фоновой концентрации.

В качестве граничных условий были выбраны граничные условия второго рода (задача Неймана), в которой задается распределение концентраций на границе области в виде нормальной производной (градиент) исходной функции. Перенос вещества через берега, ограничивающие водный объект, предполагается равным нулю, т.е. ложе водотока совершенно непроницаемо для загрязняющего вещества, тогда имеем:

$d_C / d_n = 0$, где n – внутренняя нормаль к границам водного объекта.

Коэффициент турбулентной диффузии был рассчитан Методом Банзала:

$$\lg (D_y/V_x*H) = -3.547 + 1,378*\lg(B/H) \quad (6)$$

Уравнение (5) было решено методом конечных разностей:

$$Vx\frac{C_{i+1,j}-C_{ij}}{2hx} = Dy\frac{C_{i,j+1}-2C_{ij}+C_{i,j-1}}{hy^2}$$

Из данного уравнения выражаем $C_{i+1,j}$ и получаем уравнение вида [7]:

$$C_{i+1,j} = \frac{2Dyhx}{hy^2Vx}\frac{(C_{i,j-1}-2C_{ij}+C_{i,j-1})}{hy^2} + C_{ij} \quad (7)$$

Для его решения было построено поле концентраций, содержащее 50 ячеек по длине и 10 ячеек по ширине реки. Протяженность ячейки по длине реки составила 10м, а по ширине реки 5 м.

Для расчета модели необходимо задаться начальными и граничными условиями.

В месте сброса $C_{ЗВ}=C_{нр}$.

Концентрация начального разбавления была найдена по формуле[8]:

$$Cнр = \frac{Cср*Ny-Cф*(Ny-Nz)}{Nz}, \quad (8)$$

где $C_{ср}$ – средняя концентрация, мг/л;

N_y – количество ячеек по ширине, шт;

N_z – количество загрязненных ячеек, шт.

Средняя концентрация находиться по формуле[9]:

$$Cср = \frac{Cф*Qp+qcт*Cст}{Qp+qcт}, \quad (9)$$

где $C_{ст}$ – концентрация сточных вод, мг/л;

Q_p – расход воды в реке, $м^3/с$;

$Q_{ст}$ – сброс ЗВ, $м^3/с$.

3. Параметры расчетного участка.

Исходные данные для расчетов:

– Средняя ширина реки – B – 50 м.
– Средняя глубина реки – h – 1,5 м.
– Средняя скорость течения реки – v – 0,4 м/с.
– Коэффициент поперечной диффузии – D_y – 0,02 м²/с.
– Расход сточных вод – 0,315 $м^3/с$.
– Рассеивающий водовыпуск – 7 оголовков диаметром 250мм через каждые 2,1м.

В таблице 1 приведены гидрохимические показатели очищенных сточных вод на КОС г.Тихвин, взятые для численного эксперимента.

Таблица 1 - Гидрохимические показатели очищенных сточных вод.

Название вещества	Группа ЛПВ	ПДК, мг/л	$C_ф$, мг/л	$C_{ст}$, мг/л
Взвешенные вещества	общ.	8,09	7,84	3,18
БПК полн.	общ.	3	2	3,3
ХПК	общ.	30	48,1429	28,7
Фосфор общ.	общ.	1,5	0,0609	1,41
Сухой остаток	общ.	1000	365,857	410,4
Аммоний-ион	токс.	0,5	1,3043	1,52
Фосфор фосфатов	с. - т.	0,2	0,0372	0,332
Нитрит-ион	токс.	0,08	0,034	0,65
Нитрат-ион	токс.	40	1,25	16,62

На основе исходных данных было проведено сравнение трек конструкций рассеивающего водовыпуска. Первый вариант включает 7 выпускных патрубков диаметром

250 мм, второй вариант 7 выпускных патрубков диаметром 200 мм, третий вариант 4 выпускных патрубка диаметром 250 мм. Критерием сравнения является максимальная концентрация загрязняющего вещества в контрольном створе (C_{max}) и степень перемешивания (р*). Расчеты проведены для четырех загрязняющих веществ: аммоний-ион, нитрит-ион, нитрат-ион, фосфор общий.

На (рис 1,2) представлены значения максимальных концентраций загрязняющих веществ и степени перемешивания, полученные по результатам математического моделирования.

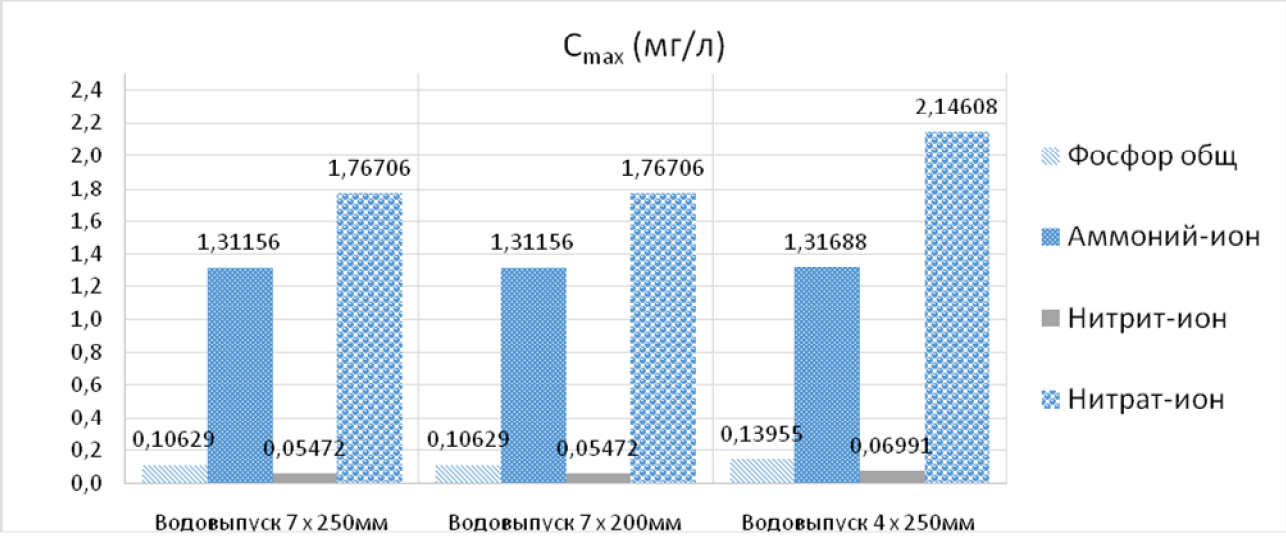

Рис. 1. Сравнение максимальных концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе.

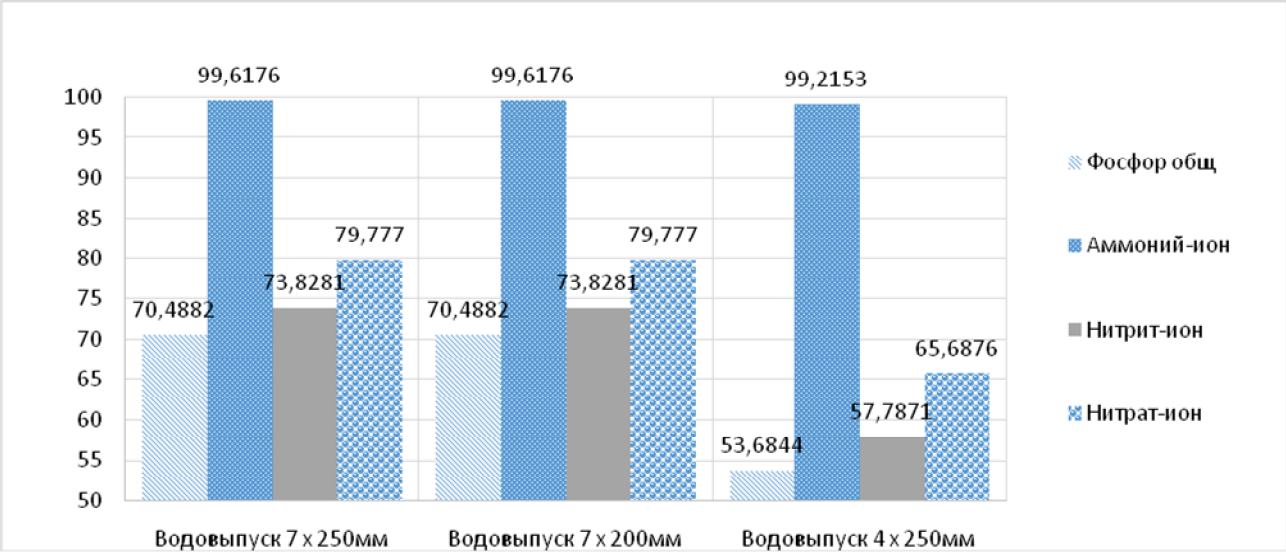

Рис. 2. Степень перемешивания сточных вод.

Заключение.

На основе проведенных численных экспериментов показано, что при сбросе сточных вод через 7 выпускных патрубков диаметром 200 и 250 мм максимальные концентрации загрязняющих веществ в контрольном створе практически не меняются. А при сбросе сточных вод через 4 выпускных патрубка диаметром 250 мм, загрязняющие вещества значительно хуже перемешиваются с природной водой. Соответственно для водоканала г.Тихвина осуществлять сброс сточных вод через рассеивающий водовыпуск с 7 патрубками является оптимальным решением.

Список литературы:

1. И. В. Антонов, Шишкин А.И., Алгоритм обоснования НДС для предприятий целлюлозно-бумажной применением геоинформационных технологий // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна, СПб, ФГБОУ ВПО СПГУТД., 2017. №3. с. 41-47
2. Жильникова Н.А., Шишкин А.И., Епифанов А.В., Епифанова М.А. Алгоритм управления перераспределением техногенной нагрузки для территориальных природно-технических комплексов на основе геоинформационных систем // Информационно-управляющие системы. 2017. №1:93-101
3. Сорокина Ю.В. Нормирование допустимого воздействия на водные объекты как способ обеспечения экологической безопасности //Евразийский юридический журнал. 2018. № 3 (118). С. 382-385.
4. Беляев С.Д. Планирование водоохранных мероприятий в речном бассейне в условиях техногенного нормирования //Вода Magazine №1 2018, с. 40-44
5. Косолапов А.Е., Косолапова Н.А., Калиманов Т.А.СКИОВО как инструмент обеспечения комплексного использования водных объектов и принятия решений в области управления водными объектами //Водные ресурсы России:Срвременное состояние и управление, Сочи, 08-14 октября 2018 г. с.126-129
6. Shishkin A., Chusov A., Epifanova M., Silka D. (2018) Functional Model That Evaluates the Impact of Hydrotechnical Works and Facilities on a Water Object. //International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. pp 921-935

References:

1. V. Antonov, I. Shishkin, algorithm of substantiation of the VAT for the enterprises of pulp and paper application of geoinformation technologies / / Vestnik of the St. Petersburg state University of technology and design, St. Petersburg, fsbei VPO SPG., 2017. No. 3. p. 41-47
2. Zhilnikova N. Ah. Shishkin, A. I., Epifanov, A.V., Epifanov, M. A., algorithm for control of redistribution of the technogenic load for the territorial natural-technical complexes on the basis of geoinformational systems.//Information management systems. 2017. №1: 93-101
3. Sorokin Yu. V. Regulation of permissible impact on water objects as a way of ensuring environmental safety //Eurasian law journal. 2018. № 3 (118). P. 382-385.
4. Belyaev S. D. Planning of water protection measures in the river basin under technogenic regulation / / Water Magazine №1 2018, p. 40-44
5. Kosolapov, A. E., Kosolapova, N. Ah. Kalimanov T. SKIOVO as a tool to ensure the integrated use of water bodies and decision-making in the field of water bodies management / / Water resources of Russia: state of the Art and management, Sochi, 08-14 October 2018, pp. 126-129
6. Shishkin, A., Chusov, A., Epifanova, M., the Silk, D., (2018) the Functional Model That Evaluates the Impact of Hydraulic Works and Facilities on a water Object. //International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. pp 921-935

Статья поступила в редколлегию 19.03.19.
Рецензент: д.т.н., доцент Брянского государственного технического университета Аверченков А.В.
Статья принята к публикации 15.03.19.

Сведения об авторах

Епифанов Андрей Валерьевич
Доцент, к.т.н.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
тел.: +7 (921)-575-47-42
E-mail: epifandr@yandex.ru

Гашин Павел Андреевич
Магистр
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна – Высшая школа технологии и энергетики
тел.: +7 (921) 44 59 740
E-mail: gashinpa@mail.ru

Information about authors:

Epifanov Andrey Valerievich
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences
Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
tel.: +7 (921)-575-47-42
E-mail: epifandr@yandex.ru

Gashin Pavel Andreevich
Postgraduate Student
Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design - Higher School of Technology and Energy
tel.: +7 (921) 44 59 740
E-mail: gashinpa@mail.ru

УДК: 658.5.012.7
DOI: 10.30987/article_5c9b8b2bbda429.08710649

А.В. Чабаненко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ 3D ПЕЧАТИ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПОСТРОЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

На текущий момент увеличение производительности за счет компьютерной автоматизации производства с использованием цифровых прототипов нашло свое отражение в становлении и развитии технологий аддитивного производства, еще известных как «Послойный синтез». Модели изделий создаются путем наслаивания вещества, и при малой толщине печатного слоя, модель очень близка к своему прототипу и заданным параметрам в цифровом прототипе. В статье рассмотрены аспекты моделирования процессов послойного синтеза и функционирование аддитивной установки.

Ключевые слова: *контроль, обеспечение качества, аддитивные технологии, аддитивная установка, моделирование процессов.*

A. V. Chabanenko

MODELING OF 3D PRINTING PROCESSES IN QUALITY MANAGEMENT OF THE CONSTRUCTION OF A PHYSICAL MODEL OF AN OBJECT

Currently, there is the possibility of increasing the productivity and development of technologies for additive manufacturing, also known as "Layer Synthesis". The printed layer, the model is very close to its prototype and set parameters in the digital prototype. The article discusses aspects of modeling the processes of layer-by-layer synthesis and the operation of an additive unit.

Keywords: *control, quality assurance, additive technologies, additive installation, process modeling.*

Введение

Моделированием можно назвать замену одного предмета другим. Процесс моделирования состоит из трёх элементов: субъект (исследователь), объект и модель, отражающая связь объекта и субъекта. Модель должна быть в какой-то мере схожа к исследуемому объекту и учитывать его особенности, что необходимо использовать в аддитивном производстве. Имитационные модели разрабатываются при помощи специального программного обеспечения, в котором используются различные языки моделирования.

Аддитивные технологии на сегодняшний день одни из наиболее динамично развивающихся видов "цифрового" производства. Они позволяют добиться ускорения решения задач подготовки и настройки производства и уже активно применяются и для производства готовой продукции.

1. Аддитивное оборудование применяемое в послойном синтезе

Установки с несколькими экструдерами дают возможность производить несколько идентичных объектов лишь по одной цифровой модели, но в то же время дозволяют использование различных материалов и цветов с различными свойствами. Скорость печати и синтеза вырастает пропорционально количеству печатающих головок. Кроме того, достигается определенная экономия полимеров и временных ресурсов за счет использования общей рабочей камеры, зачастую требующей подогрева. Вместе, эти два момента снижают себестоимость процесса печати. Но требует обеспечения контроля температурных режимов печати которое целесообразно осуществлять посредством системы допусков, базируясь на датчиках аддитивной установке.

Для обеспечения качества процесса построения физической модели объекта необходимо построить модель функционирования 3D принтера в системе в системе Abaqus

Unified FEA.

Это простой симулятор декартового робота с 3 степенями свободы. Этот код в основном отображает робота базируясь на технических характеристиках и обновляет чертеж, основываясь на отношениях между звеньями и двигателями. Результаты моделирования на физических моделях могут быть визуализированы с использованием этой модели. Модель можно использовать в качестве интерфейса небольшого прототипа, основанного на микроконтроллере Arduino. Поэтому параметры двигателя, резьба, звено, размеры площадки приведены к единому виду. Виды аддитивных установок, использованные в качестве набора данных представлены на (рис. 1)[1].

- picaso 3d designer pro 250
- 3D-принтер Wanhao Duplicator i3

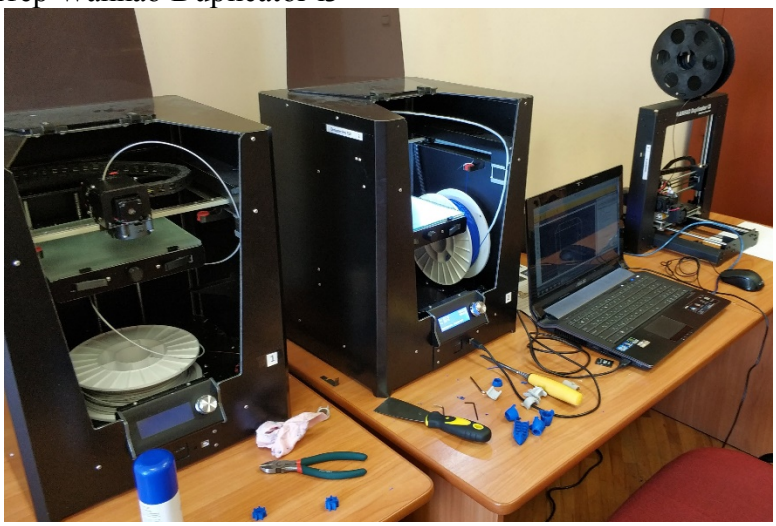

Рис. 1 Типы аддитивных установок, использующие 3 степени свободы.

2. Построение модели функционирования аддитивной установки

Модель автоматизированной установки послойного синтеза представлена на (Рис.2).

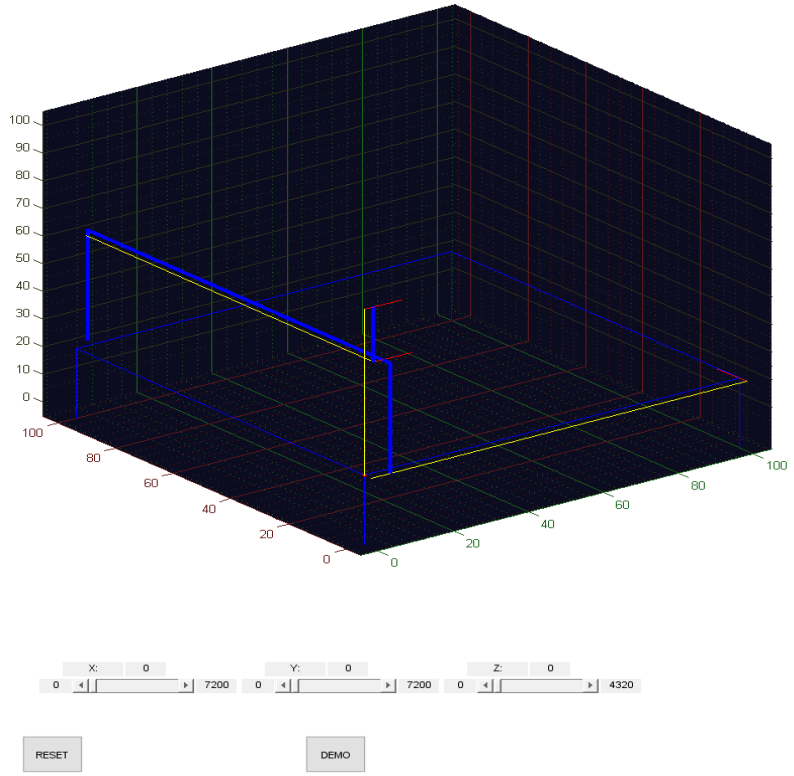

Рис. 2. Модель автоматизированной установки послойного синтеза

При конструировании модулей выполнены следующие работы:

-изучение функциональных схем с целью выявления одинаковых по назначению подсхем и унификации их структуры в пределах конкретного изделия;

-выбор конструктива;

-конструирование печатной платы;

-выбор способов защиты модуля от перегрева и внешних воздействий.

Что закладывалось в модель программы (рис. 3).

DRAW	51.0022	51.0022	51.0022
drawing	1000x3 double	1.5682...	89.9998
ee_motor_x	282.0574	282.05...	282.05...
ee_motor_y	2.8112e+03	2.8112...	2.8112...
ee_motor_z	2.5002e+03	2.5002...	2.5002...
ee_x	3.9175	3.9175	3.9175
ee_y	39.0442	39.0442	39.0442
ee_z	54.7256	54.7256	54.7256
fig	1	1	1
fr_height	20	20	20
fr_up2_x0	6.4175	6.4175	6.4175
fr_up2_x1	6.4175	6.4175	6.4175
fr_up2_y0	39.0442	39.0442	39.0442
fr_up2_y1	39.0442	39.0442	39.0442
fr_up2_z0	60	60	60
fr_up2_z1	80	80	80
fr_up_x0	8.9175	8.9175	8.9175
fr_up_x1	8.9175	8.9175	8.9175
fr_up_y0	-2.5000	-2.5000	-2.5000
fr_up_y1	102.5000	102.50...	102.50...

Рис. 3. Фрагмент программы

Использование аддитивных технологий позволяет закладывать качественные характеристики в конструкцию корпуса РЭА экранирование электромагнитных полей узлов радиоэлектронной аппаратуры и их соединений при использовании токопроводных материалов.

При формировании корпуса РЭА необходимо учитывать те показатели, которые влияют на производство корпусных элементов.

Для сохранения нужного крутящего момента выбирается ШД с возможно большим моментом удержания, который зависит от напряжения питания. Дело в том, что производитель указывает минимальное напряжение для ШД при котором тот начинает вращаться без нагрузок. Максимально допустимое напряжение может быть вычислено по формуле:

$$U_{\max} = 1000 \cdot \sqrt{L_{ШД}}, \quad (1)$$

где $L_{ШД}$ индуктивность одной фазы шагового двигателя.

Практика показывает, что оптимальным напряжением будет значение ~ 80% от полученного.

$$U_{оптим.} = U_{\max} \cdot 0,8 \quad (2)$$

В процессе проектирования схемы управления нужно четко представлять, какие задачи она должна решать. В нашем случае за основу конструкции был выбран дельта-робот. Для того чтобы система успешно функционировала, необходимо решать две задачи, а именно обратную (инверсную) и прямую задачи кинематики. В первом случае заранее известна позиция, в которую должен быть перемещен экструдер 3*D*-принтера. Во втором случае известны углы, на которые повернуты позиционирующие механизмы системы и необходимо найти положение рабочей платформы в пространстве.

На (рис. 4) представлен этап проектирование корпусного элемента для последующего послойного синтеза.

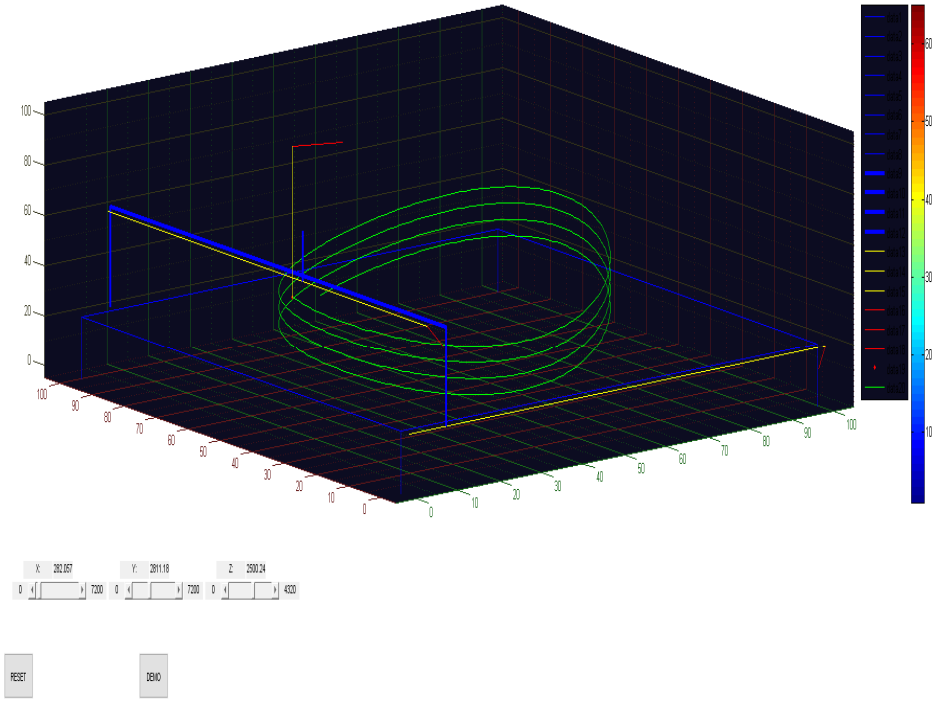

Рис. 4. Модель автоматизированной установки на этапах послойного синтеза

Тип производства определяют из анализа конструкции РЭА, программы выпуска и действительного годового фонда рабочего времени. Для определенного типа производства выбирают оптимальные методы сборки, необходимые оборудования и оснастку. Тип производства устанавливают с помощью коэффициента серийности

$$k_c = K_o \div n_p, \tag{3}$$

где K_o - это количество сборочных операций по технологическому процессу; n_p - число рабочих мест, необходимых для выполнения процесса сборки

$$n_p = \frac{N_t \sum_{i=1}^{K_o} T_{шт.i}}{60 k \Phi_Д}, \tag{4}$$

где N_t - это годовой объем выпуска РЭА, шт.; $\sum_{i=1}^{K_o} T_{шт.i}$ трудоёмкость сборки РЭА, мин; $T_{шт.i}$ - норма штучного времени i-й сборочной операции, мин; k -коэффициент выполнения норм в процессе сборки; $\Phi_Д$ - действительный годовой фонд времени, ч. Значения k_c <= 1 соответствует массовому производству, k_c = 1 - серийному производству, k_c > = 1 - для небольших программ и единичного производства. Аддитивное производство применимо к серийному и единичному производству корпусных элементов РЭА.

Оценка результативности применения аддитивного производства корпусных элементов РЭА.

Формула оценки результативности процессов:

$$R = \sum B_i, \tag{5}$$

где: R – оценка; B_i- количество баллов.

3. Показатели аддитивного производства направленные на качество изделия

Для управления и повышения качества процесса послойного синтеза аддитивной установки с использованием аддитивных технологий выявлены показатели, которые необходимо учитывать в процессе печати (табл. 1) и имеющая вид (рис. 3).

Таблица 1 - Показатели качества упитывающиеся в аддитивном производстве

Наименование показателя качества	Обозначения качества	Наименование характеризуемого свойства
Температура размягчения	°C	Устойчивость к температурному воздействию
Усадка	%	Размерность
Продолжительность пластично-вязкого состояния	с	Скорость печати
Текучесть	мм	Точность печати

Произведен анализ отдельных элементов производственного процесса, а затем предложены пути совершенствования.

Правильное понимание причин не результативности организации на уровне отдельных операций позволяет устранить или сократить затраты на выполнение операций, не создающих добавленной ценности в процессе.

Стоимость изготовления детали достаточно высока, и в зависимости от сложности изделия вопрос эффективности применения этого метода требует отдельной проработки [2].

Рис. 5. Факторы влияющие на обеспечение качества аддитивного производства корпусов РЭА

При соблюдении требований, к полимерам, которые планируется применять в послойном синтезе и учёте момента гомогенизирования, который достигается путём соблюдения температурных режимов, получится достичь требования к качеству изделий,

произведённых при помощи аддитивного производства.

Применение аддитивных технологий позволяет включить в этап «Проектирование» этапы «Модель», «Чертеж» и «Оснастка». Этап «Оснастка» не требуется в процессах с использование аддитивных технологий, так оборудование не требует оснастки. Этапы «Проектирование» и «Печать» объединяют в себе большую часть процессов традиционной технологии. как на этапе «Проектирование» в 3D-модели всё учтено и оборудование не требует оснастки. Этапы «Проектирование» и «Печать» объединяют в себе большую часть процессов традиционных технологий производства корпусных элементов.

Выводы

Благодаря моделированию процессов послойного синтеза 3D печати и учёту особенностей технологии и этапов производства, получается обеспечить качество построения физической модели объекта. Обеспечение качества в аддитивном производстве позволяет добиться экономии полимеров и сокращении времени подготовительных этапов печати.

Список литературы:

1. Управление качеством корпусных элементов РЭА / А. В. Чабаненко // РИА: Журнал.: «Стандарты и качество». 2018. №2. С. 90-94.
2. Экспертный метод выбора модели 3d-принтера, пригодной для опытного/мелкосерийного производства в приборостроении Щеников Я.А. Радиопромышленность. 2017. № 2. С. 107-112.

References:

1. Quality management basic REA elements / A. V. Chabanenko // RIA.: "Standards and quality". 2018. № 2. pp. 90-94.
2. The expert selection method of model 3d printer, suitable for experienced/small batch production in instrument J. A. Sennikov radio industry. 2017. № 2. pp. 107-112.

Статья поступила в редколлегию 18.02.19.
Рецензент: д.т.н., доцент Брянского государственного технического университета Аверченков А.В.
Статья принята к публикации 25.02.19.

Сведения об авторах

Чабаненко Александр Валерьевич
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
Телефон (раб.) 8-952-364-24-76
Телефон (дом.) 8-952-364-24-76
E-mail: chabalexandr@gmail.com

Information about authors:

Chabanenko Alexander Valerievich
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Post-graduate student of the Department No. 5«Innovation and integrated quality systems»
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, BolshayaMorskaya, 67, lit. A, St. Petersburg, 190000, Russia
Tel.: (office) 8-952-364-24-76
Tel.:(home) 8-952-364-24-76
E-mail: chabalexandr@gmail.com

УДК: 303.711
DOI: 10.30987/article_5c9b8b2c2c3dd7.76768405

А.В. Винниченко, С.А. Назаревич

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

В статье рассмотрено влияние макроэкономических трендов на рынок современной гражданской авиационной техники, также описана возможность структурирования функции качества сложной технической системы, при помощи элементов метода дома качества. Учитывая мнения различных потребительских групп, была сформирована матрица голос потребителя. Путем перевода потребительских требований в технические характеристики, главнейших участников сегмента рынка гражданской авиационной техники, сформулирована матрица зависимостей. А также скоррелирована матрица взаимосвязей между характеристиками качества, что дало возможность оценить степень возможной модернизации исследуемого объекта и повысить спрос на рынке гражданской авиационной технике, задавая новый тренд макроэкономическим показателям.

Ключевые слова: *макроэкономические тренды, структурирование функции качества, сложные технические системы, гражданская авиационная техника, потребительские характеристики, корреляционная матрица, характеристики качества.*

A.V. Vinnichenko, S. A. Nazarevich

STRUCTURING THE FUNCTION OF THE QUALITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS UNDER THE IMPACT OF MACROECONOMIC TRENDS

The article discusses the impact of macroeconomic trends on the market for modern civil aviation technology, also describes the possibility of structuring the quality function of a complex technical system using the elements of the house-quality method. Considering the opinions of various consumer groups, a consumer voice matrix was formed. By translating consumer requirements into technical specifications, the main participants in the civil aviation technology segment, a dependency matrix was formulated. And also correlated is the matrix of interrelations between quality characteristics, which made it possible to assess the degree of possible modernization of the object under study and increase the demand in the market for civil aviation technology, setting a new trend to macroeconomic indicators.

Keywords: *macroeconomic trends, structuring the quality function, complex technical systems, civil aviation technology, consumer characteristics, correlation matrix, quality characteristics.*

Введение

На сегодняшний день макроэкономические тренды авиационной индустрии, влияют не только на потребительский спрос, но и развитие бизнеса и государства. В динамично развивающихся странах определяют значение авиации как ведущего сектора, активизирующего экономический рост и мобилизующий все национальные потенциалы и ресурсы [1].

С появлением на рынках современных дронов, напоминающих летательные аппараты будущего, происходит симбиоз который подталкивает потребителя на приобретение

продукта и оказывает значительный мультипликационный эффект на развитие экономики страны. Макроэкономические тренды являются если не основными, то базовыми индикаторами экономики, с помощью которых можно определить экономическое состояние.

Критичные изменения в данных любого из показателей может отражаться на резком изменении рынков и валют, вследствие чего, ведущие экономисты, непрерывно отслеживают выход новых макроэкономических данных. Для которых в свою очередь составляются таблицы, отражающие каждый показатель по отдельности, в совокупности являющиеся системой макроэкономических показателей. Это дает более подробную картину между экономикой государства и экономикой других стран, а так же между самими показателями.

Тенденции развития гражданской авиационной техники (ГАТ) в мире убедительно показывают: сравнительная оценка качества проводится по критериям не столько «выше – быстрее – дальше», сколько «выше – быстрее – дальше – умнее», с перемещением последней компоненты ближе к началу [2].

Требования многофункциональности перспективных гражданских летательных аппаратов обусловлены возросшей неопределенностью возможных вариантов эксплуатации. Повышение потребности в универсальных дронах продиктовано непрерывно возрастающим спросом, задающим тенденцию на непрерывное улучшение продукции.

Уровень технологий, необходимый для поддержания конкурентоспособности в условиях ограниченности бюджетных средств, — важный фактор, влияющий на рынок ГАТ. Основной задачей при определении требований к новому продукту должна заключаться в обеспечении такого уровня технологий, чтобы сохранить высокий научно-технический потенциал. Это особенно актуально для России, где еще не реструктуризирована авиационная отрасль, что существенно снижает конкурентоспособность страны в сравнении с объединенной европейской авиационной промышленностью в плане технологических и экономических возможностей.

Характеристики этого продукта должны позволить ему уверенно превосходить своего основного конкурента. Современный уровень российской авиационной промышленности позволяет решить поставленную задачу. Перспективный дрон должен удовлетворять требованиями достижения потребительских характеристик не нарушая при этом летно-технических характеристик, регламентируемых ГОСТ Р 56079-2014[3].

Учитывая современные макроэкономические тренды, для поддержания конкурентоспособности на рынке гражданской авиационной техники было приятно решение о формировании потребительских требований, выраженных в терминах самих покупателей и составление характеристик-двойников. Структурирования функций изделия и функций качества, а также описание серии матриц, применяемых для перевода голоса покупателя в показатели качества конечного продукта сложной технической системы. Поставленных задач можно достигнуть при помощи одной из методик структурирования функции качества, которая выявляет требования потребителя и обеспечивает некоторый порядок, гарантирующий, что эти требования определят разработку продукции и планирование производственного процесса.

Структурирование функции качества (СФК) - это метод перевода потребительских требований в соответствующие технические требования на каждом этапе разработки изделия и его производства (стратегия маркетинга, планирования, инженерная разработка и конструирования изделия, оценивание прототипа, производство и сбыт).

Исследуемой моделью был выбран ZALA 421-22 (рис.1). Летательный аппарат вертолетного типа средней дальности с системой автоматического управления, навигационной системой, встроенной цифровой системой телеметрии, навигационными огнями, встроенным трехосевым магнитометром, цифровым широкополосным видео передатчиком и системой самодиагностики и поисковым передатчиком.

Рис. 1. – внешний вид ZALA 421-22

Дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА) набирают все большую популярность среди гражданского населения (рис.2), на долю которого приходится порядка 47% рынка. В основном, ГАТ направлен на аэросъемку (рис. 3), но в современно развивающемся мире, для ГАТ находят все большее применение [4].

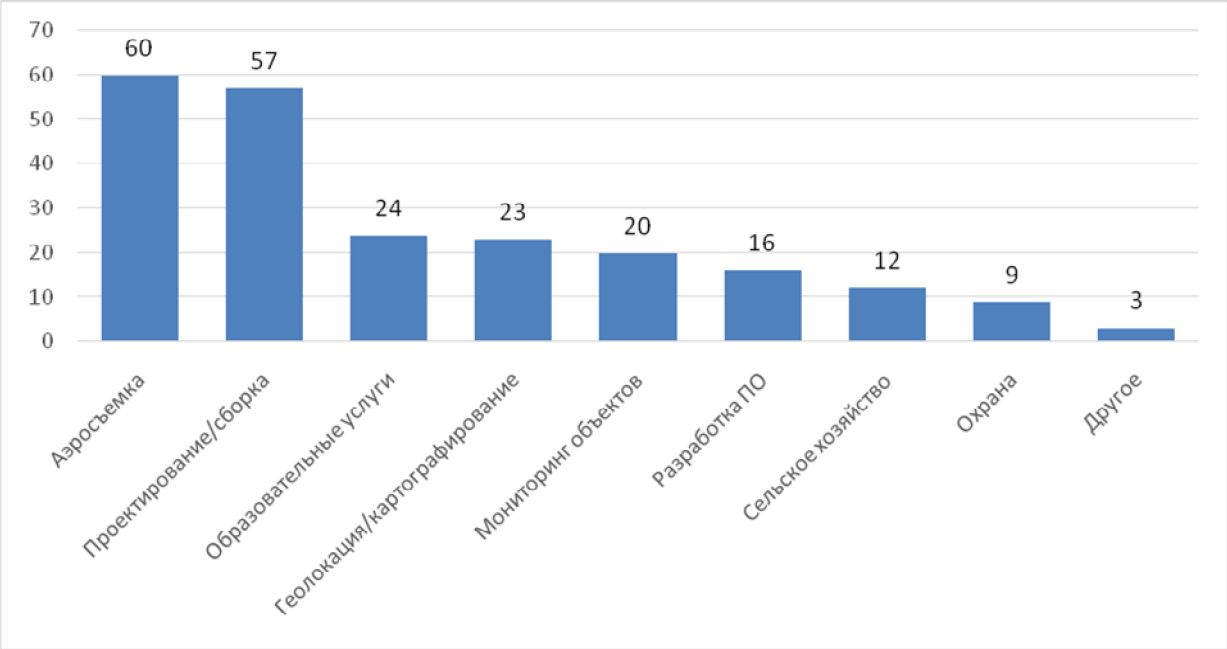

Рис.2. - Сферы использования ГАТ, %

Даже при позитивных прогнозированных данных по продажам (рис. 4) [1], ГАТ остается уязвимой по ряду параметров. Основными проблемными областями считаются: во-первых, недостаточная гибкость конструкции и совершенства формы фюзеляжа по сравнению с традиционной авиацией; вопросы резервирования и защиты каналов управления сложной технической системой в процессе эксплуатации; в-третьих, уровень надежности дронов всё еще уступает традиционным летательным аппаратам; в-четвертых, протоколы выживаемости системы в экстремальных условиях и возвращения к оператору в случае частичной потери эксплуатационных характеристик составляют важную часть показателей надежности.

Стоит отметить, что полеты дронов в мирное время во многих районах ограничены по различным причинам.

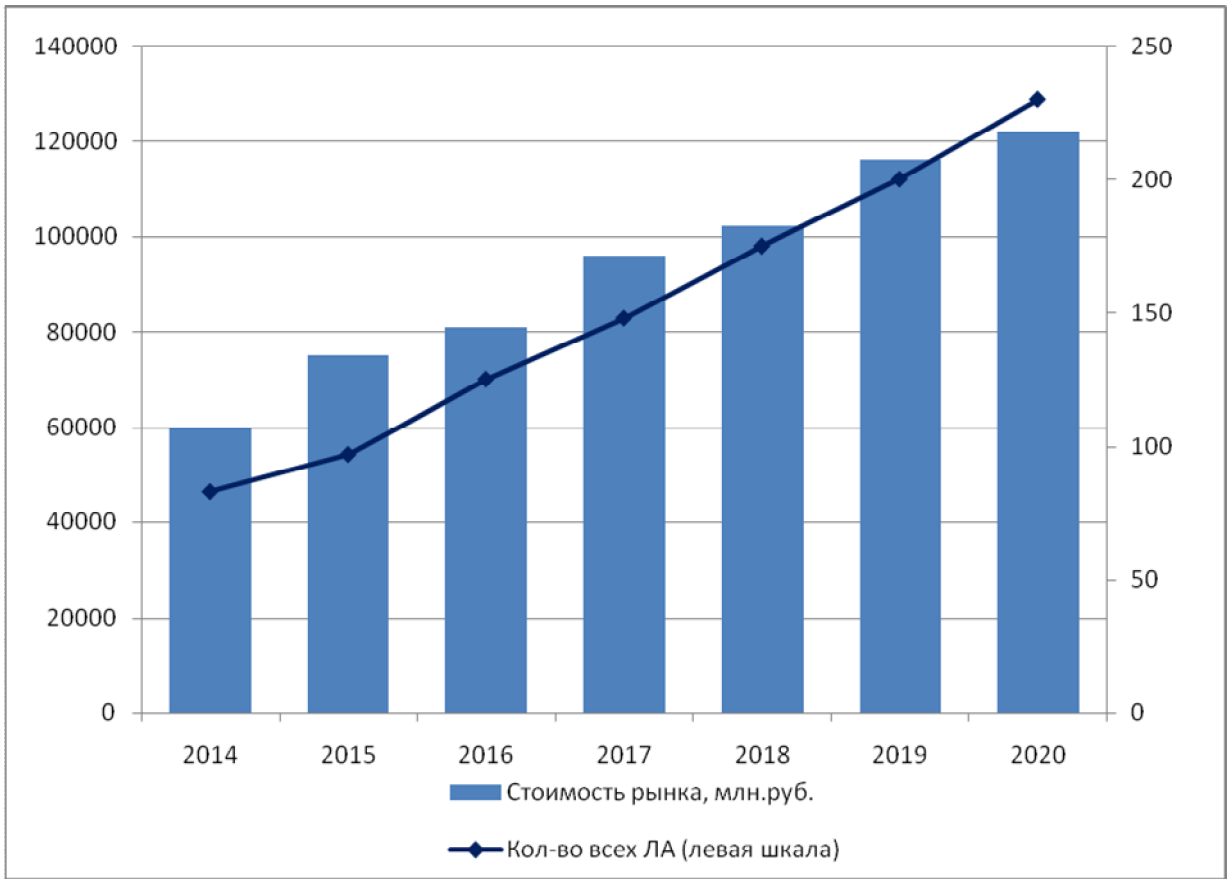

Рис.3. – продажи в России, штук, 2014-2020 гг.

Учитывая основные проблемные зоны ГАТ, были сформулированы потребительские характеристики (ПХ) (табл. 1). Относительная значимость основывается на шкале ценностей, равной 100 единицам. Для ее расчета был использован метод попарного сравнения потребительских требований. Ранжированная значимость задает порядок предпочтений, насколько сравниваемые требования важнее. Этот метод только ранжирует требования, не вводя количественных оценок [5].

Таблица 1 - Фрагмент матрицы «Голос потребителя»

	Потребительские характеристики	Относительная значимость (1–100)	Ранжированная значимость
Габариты	Небольшие габариты	91	4
	Небольшой вес	93	3
	Низкий уровень шума	79	11
	Долгое время работы	97	2
	Лаконичный дизайн и обтекаемые формы	75	14
	Легкость в управлении	99	1
	Возможность выдерживания дополнительного веса	75	13
	Хорошая камера для профессиональной съемки в режиме полета	84	9
	Сильный уровень сигнала для наблюдения за объектами с высоты	80	10
	Высокая скорость полета	77	12
	Долговечность	83	8
	Ударопрочность	85	7
	Защита от влаги	89	6
	Доступность (цена)	88	5

Далее указываются зависимости между запросами потребителя и ХК (характеристика

качества) (табл. 2). Каждая ячейка матрицы представляет экспертную оценку силы связи между одной из ХК и одним запросом потребителя, то есть влияния ХК на требование потребителя. Прежде чем приступать к построению зависимостей ПХ и характеристик качества, была сформулирована таблица обозначений (символов) влияния (табл. 3)[5,6].

Таблица 2 - Символы влияния

Символ	Значение	Часто принимаемое значение
отсутствует	нет связи	0
Λ	слабая связь	1
⍰	наличие связи	3
V	сильная связь	9

Таблица 3 - Матрица Зависимости между ПХ и ТХ

ТХ / ПХ	Габариты в собранном состоянии с АКБ, мм	Масса пустого, кг	Макс. взлетная масса, кг	Бортовое оборудование (фотоаппарат, тепловизор и пр.)	Радиус действия видео/радиоканала, м	Продолжительность полета, мин	Скорость, м	Раб. высота полета, м	Максимально допустимая скорость ветра, м/с	Дистанционный сброс нагрузок	Модуль автоматического сопровождения цели	Диапазон рабочих температур, °С
Небольшие габариты	⍰	V	V	V			Λ	Λ	Λ		V	
Небольшой вес	V	⍰	V	V		Λ	Λ	Λ	V		V	
Низкий уровень шума				⍰			Λ					
Долгое время работы				V		⍰	V	Λ		Λ	Λ	
Лаконичный дизайн и обтекаемые формы	⍰			V								Λ
Легкость в управлении				V	V					⍰	Λ	
Возможность выдерживания дополнительного веса		V	⍰	Λ								
Хорошая камера для профессиональной съемки в режиме полета				⍰	V	Λ	V	V	V		V	Λ
Сильный уровень сигнала для наблюдения за объектами с высоты				V	⍰	Λ	Λ	V	V		V	Λ
Высокая скорость полета	V	V	V	Λ		V	⍰	V	V			Λ
Ударопрочность	Λ			⍰		V	V	V	V	Λ	Λ	V
Защита от пыли и влаги				⍰		Λ	Λ	Λ	Λ			V

После установления взаимосвязей между потребительскими требованиями и техническими характеристиками при помощи символов влияния, заполняется корреляционная матрица (табл. 4), которая необходима, чтобы найти меру тесноты связи для каждой пары факторов. Корреляционный анализ таблицы исходных данных был проведен по методу Чебышева [7].

Данная матрица включает взаимосвязи между ХК и представляет собой половину

квадратной матрицы, повернутой на 45 градусов и лежащей диагональю на матрице «Характеристики качества», строки и столбцы имеют одинаковые наименования, используемые ХК, и поэтому не обозначаются [5,6].

Таблица 4 - Корреляционная матрица зависимости между ХК

ХК	Габариты в собранном состоянии с АКБ, мм	Масса пустого, кг	Макс. взлетная масса, кг	Бортовое оборудование (фотоаппарат, тепловизор и пр.)	Радиус действия видео/радиоканала, м	Продолжительность полета, мин	Скорость, м	Раб. высота полета, м	Максимально допустимая скорость ветра, м/с	Дистанционный сброс нагрузок	Модуль автоматического сопровождения цели	Диапазон рабочих температур,°С
Габариты в собранном состоянии с АКБ, мм	1	v	v	v	ʌ		ʌ	v				
Масса пустого, кг	v	1	v	v			v	v	ʌ			
Макс. взлетная масса, кг	v	v	1	v		ʌ	v	v	ʌ			
Бортовое оборудование (фотоаппарат, тепловизор и пр.)	v	v	v	1	v	v	ʌ	ʌ	ʌ	v	v	ʌ
Радиус действия видео/радиоканала, м	ʌ			v	1	v		ʌ		v	v	ʌ
Продолжительность полета, мин			ʌ	v	v	1	v	ʌ	v		ʌ	v
Скорость, м	ʌ	v	v	ʌ		v	1	v	v		ʌ	v
Раб. высота полета, м	v	v	v	ʌ	ʌ	ʌ	v	1	v		ʌ	v
Максимально допустимая скорость ветра, м/с		ʌ	ʌ	ʌ		v	v	v	1	ʌ	ʌ	
Дистанционный сброс нагрузок				v	v				ʌ	1	v	
Модуль автоматического сопровождения цели				v	v	ʌ	ʌ	ʌ	ʌ	v	1	ʌ
Диапазон рабочих температур,°С				ʌ	ʌ	v	v	v			ʌ	1

Выводы

Исследования показали, что для существенной модернизации, необходимой для выхода на новую линию тренда макроэкономических показателей и закрепления за собой устойчивой конкурентоспособности на рынке гражданской авиационной техники необходим ряд обязательных изменений, которые продиктованы потребительскими требованиями.

Необходимо изменить конструкцию корпуса, чтобы уменьшить габаритные размеры конструкции, облегчить вес, и улучшить точность модуля автоматического сопровождения. Для осуществления возможности использования камеры для качественной съемки в режиме полета и усиленный уровень сигнала для наблюдения за объектами с высоты, следует обратить внимание на внутренний функционал бортового оборудования и новых возможных партнеров по поставке комплектующих. Для более качественного уровня надежности, следует усовершенствовать рабочую конструкцию и запас ее прочности, с помощью алюминиевой подвески по корпусу и вокруг бортового оборудования, а также не исключать возможность использования резиновых прокладок и покрытие антикоррозийной обработкой. На данный момент, хороших составов достаточно много на рынке продукции, которые предоставляют отличную защиту металлоконструкций в агрессивной среде и постоянного механического воздействия имеет отличную водостойкость. С технической стороны улучшить потребительские требования «Достаточно длительное время работы и высокую

скорость полета» можно с помощью увеличения аэродинамических качеств. Аэродинамика – движения газообразной среды и её взаимодействия с движущимися в ней твёрдыми телами. Для того, что бы улучшить качество продукта, а также скорректировать его цену, нужно подобрать хороших и проверенных поставщиков, которые отвечают за качество своей продукции.

Список литературы:

1. Федеральная служба государственной статистики. Эффективность экономики России. Макроэкономические показатели. // [Электронный ресурс] Режим доступа URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/efficiency/# (дата обращения 12.02.19)
2. Силуанов А.А. Мировой рынок лизинга коммерческих воздушных судов: тенденции развития // Банковские услуги. 2016. № 12. С. 31-37.
3. ГОСТ Р 56079-2014 «Изделия авиационной техники. Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Номенклатура показателей»
4. С.С. Семенов, Основные положения системного анализа при оценке технического уровня сложных систем с применением экспертного метода / С. С. Семенов // Надежность и качество сложных систем. - 2013. - № 4. — С. 45-53.
5. Современные инструменты менеджмента качества: учебное пособие / Ю. А. Антохина [и др.]; С.-Пб. ГУАП. - СПб.: Изд-во ГУАП, 2011. - 237 с.
6. Р.М. Хакимов, Управление качеством на основе структурирования функций качества QFD / Р.М. Хакимов, Д.М. Гильванова // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2013. № 9. С. 122-125.
7. Я.А. Ивакин, Автоматизированные системы ситуационного управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте / Я.А. Ивакин, С.В. Мичурин, М.С. Смирнова // Радиопромышленность. 2015. № 4. С. 56-64.

References:

1. Federal State Statistics Service. Efficiency of the Russian economy. Macroeconomic indicators. // Electron. Dan. Access mode URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/efficiency/#
2. Siluanov A.A. The global market for commercial aircraft leasing: development trends // Banking services. 2016. No. 12. P. 31-37.
3. GOST R 56079-2014 “Aviation engineering products. Flight safety, reliability, testability, operational and repair manufacturability. Nomenclature of indicators "
4. Semenov, S.S. The main provisions of system analysis in assessing the technical level of complex systems using the expert method / S.S. Semenov // Reliability and quality of complex systems. - 2013. -№ 4. - p. 45-53.
5. Modern tools of quality management: study guide / Yu. A. Antokhina [and others]; S.-Pb. SUAI. - SPb.: Publishing house of the SUAI, 2011. - 237 p.
6. R.M. Khakimov, Quality management based on the structuring of QFD quality functions / R.M. Khakimov, D.M. Gilvanova // Economics and Management: analysis of trends and development prospects. 2013. № 9. S. 122-125.
7. Ya.A. Ivakin Automated Systems for Situational Management and Dissection of Spatial Processes in Air Transport / Ya.A. Ivakin, S.V. Michurin, M.S. Smirnova // Radiopromyshlennost. 2015. No. 4. P. 56-64.

Статья поступила в редколлегию 20.02.19.
Рецензент: д.т.н., доцент Брянского государственного технического университета Аверченков А.В.
Статья принята к публикации 05.03.19.

Сведения об авторах

Винниченко Александра Валерьевна
Студент федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»,
тел.: +7 (931) 586 88 60,
E-mail: alex23rain@gmail.com

Назаревич Станислав Анатольевич
Доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
тел.: +7 (904) 612 04 02,
E-mail: albus87@inbox.ru

Information about authors:

Vinnichenko Alexandra Valerievna
Student federal state autonomous higher education institution
«Saint Petersburg State University of Aerospace»,
tel.: +7 (931) 586 88 60,
E-mail: alex23rain@gmail.com

Nazarevich Stanislav Anatolevich
Associate Professor of the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»
tel.: +7 (904) 612 04 02
E-mail: albus87@inbox.ru

УДК: 33.334.72
DOI: 10.30987/article_5c9b8b2c8305d8.87900068

А.С. Сазонова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ-ИНДИКАТОРОВ НА КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ ЦФО

В *данной статье рассмотрен возможный подход к анализу комплексного показателя инновационного потенциала региона. Приведено определение понятия и выделены компоненты, входящие в его состав. Выполнен анализ инновационного потенциала на основе расчетов значений укрупненных показателей-составляющих и проведено ранжирование регионов по полученным результатам*

Ключевые слова: *инновации, инновационный потенциал, оценка инновационного потенциала, компоненты инновационного потенциала, система факторов.*

A.S. Sazonova

RESEARCH OF INFLUENCE OF FACTORS INDICATORS ON A COMPLEX INDICATOR OF INNOVATIVE CAPACITY OF REGIONS OF CENTRAL FEDERAL DISTRICT

In this article possible approach to the analysis of a complex indicator of innovative capacity of the region is considered. Definition of a concept is given and the components which are its part are allocated. The analysis of innovative potential on the basis of calculations of values of the integrated indicators components is made and ranging of regions by the received results is carried out.

Keywords: *innovations, innovative potential, assessment of innovative potential, components of innovative potential, system of factors.*

Введение

Особенностью инновационного развития России является высокая степень неравномерности регионального развития. Это связано с целым рядом факторов: специфика каждого региона, исторически сложившиеся ведущие отрасли, географическое положение, а также инновационный потенциал. В условиях современной экономики именно величина инновационного потенциала предопределяет потенциальные возможности и темпы роста региональной инновационной системы. Все это обуславливает актуальность исследования данного понятия, раскрытия его сущности и содержания, а также необходимости поиска методов оценки данной величины.

Инновационный потенциал региона – это совокупность ресурсных и организационных возможностей экономической системы к инновационному развитию, обеспечению непрерывного инновационного процесса.

1. Определение факторов-индикаторов инновациаонного потенциала региона

Для того чтобы обеспечить непрерывный инновационный процесс, регион должен обладать совокупностью факторов и условий, способствующих инновационной деятельности. Факторы можно объединить в группы и рассматривать как по отдельности, так и в совокупности внутри группы.

В данном исследовании были выделены следующие группы:

1) научно-производственные факторы – факторы научного потенциала региона, кадровый потенциал, производственный потенциал - материально-технические средства, прогрессивные технологии, хозяйственная и научно-техническая инфраструктура:

–используемые передовые производственные технологии в регионе (ед.);
–объем инновационных товаров, работ, услуг в регионе (млн. руб.);
–удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг в регионе (проц.);
–численность исследователей в регионе – докторов наук (чел.);
–численность исследователей в регионе – кандидатов наук (чел.);
–численность персонала(исследователи), занятого научными исследованиями и разработками (чел.);
–сведения об использовании объектов интеллектуальной собственности (ед.);
–выдано патентов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы (ед.);
–разработанные передовые технологии в регионе (ед.).

2) экономические факторы – наличие и достаточность собственных финансовых ресурсов региона для осуществления инновационной деятельности. Экономические и научно-производственные факторы – основная ресурсная составляющая инновационного потенциала, фундамент для возникновения инновационного процесса:
–затраты на технологические инновации организаций в регионе (млн. руб.);
–объем инновационных товаров, работ, услуг (млн.руб.);
–внутренние затраты на научные исследования и разработки в регионе (млн. руб.).

3) правовые факторы включают законодательные меры (особенно льготы), поощряющие инновационную деятельность, государственная поддержка инноваций:
–наличие программ социально-экономического развития в регионе (ед.);
–наличие законов, постановлений, иных нормативных актов, регламентирующих инновационную деятельность в регионе (ед.);
–наличие стратегий научно-технического и инновационного развития в регионе (план, программа и др.) (ед.).

4) организационно-управленческие факторы выступают в роли показателей способности региона к внедрению и распространению новшеств. В эту группу входят факторы организационного потенциала – инновационная активность предприятий. Также это спрос на результаты инновационной деятельности, внешнеэкономическое сотрудничество, экспорт инновационных товаров и услуг, технологический обмен в организациях, осуществляющих инновации. Также в эту же группу можно отнести факторы инвестиционной привлекательности региона:
–инновационная активность организаций в регионе (удельный вес организаций, осуществлявших технологические, организационные, маркетинговые инновации в отчетном году, в общем числе обследованных организаций) в процентах);
–удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации в отчетном году, в общем числе обследованных организаций (проц.);
–число организаций, имевших научно-исследовательские, проектно-конструкторские подразделения, единиц (ед.).

Инвестиционный потенциал:
–инвестиции в основной капитал (млн.руб.);
–объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по видам экономической деятельности,(млн. долл.).

2. Расчет инновациаонного потенциала региона

В этом рассмотрении инновационный потенциал представляется интегральной

величиной, включающий в свой состав систему факторов-показателей, отражающих четыре основные составляющие инновационного потенциала, рассмотренные выше.

Расчет интегрированного показателя инновационного потенциала региона был выполнен с использованием метода площадных диаграмм. Сущность метода заключается в том, что комплексная величина определяется как площадь плоской фигуры, образованной лучами, длина которых определяется значениями факторов-индикаторов.

Расчет площадей диаграмм был выполнен по следующей формуле:

$$S_r = \sum_{i=1}^{i} \frac{k_{ir} \cdot k_{(i+1)r} \cdot \sin(360/i)}{2}, \qquad (3)$$

где S_r – площадь построенной диаграммы для r-ого региона, k_{ir} – нормализованное значение i-ого фактора-индикатора по r-ому региону в рассматриваемом массиве данных, i – количество выбранных для моделирования факторов-индикаторов.

Таким образом, были рассчитаны значения инновационного потенциала для регионов Центрального федерального округа и выполнено ранжирование регионов в соответствии с итоговым значением и построена сводная диаграмма значений инновационного потенциала регионов ЦФО (рис.1).

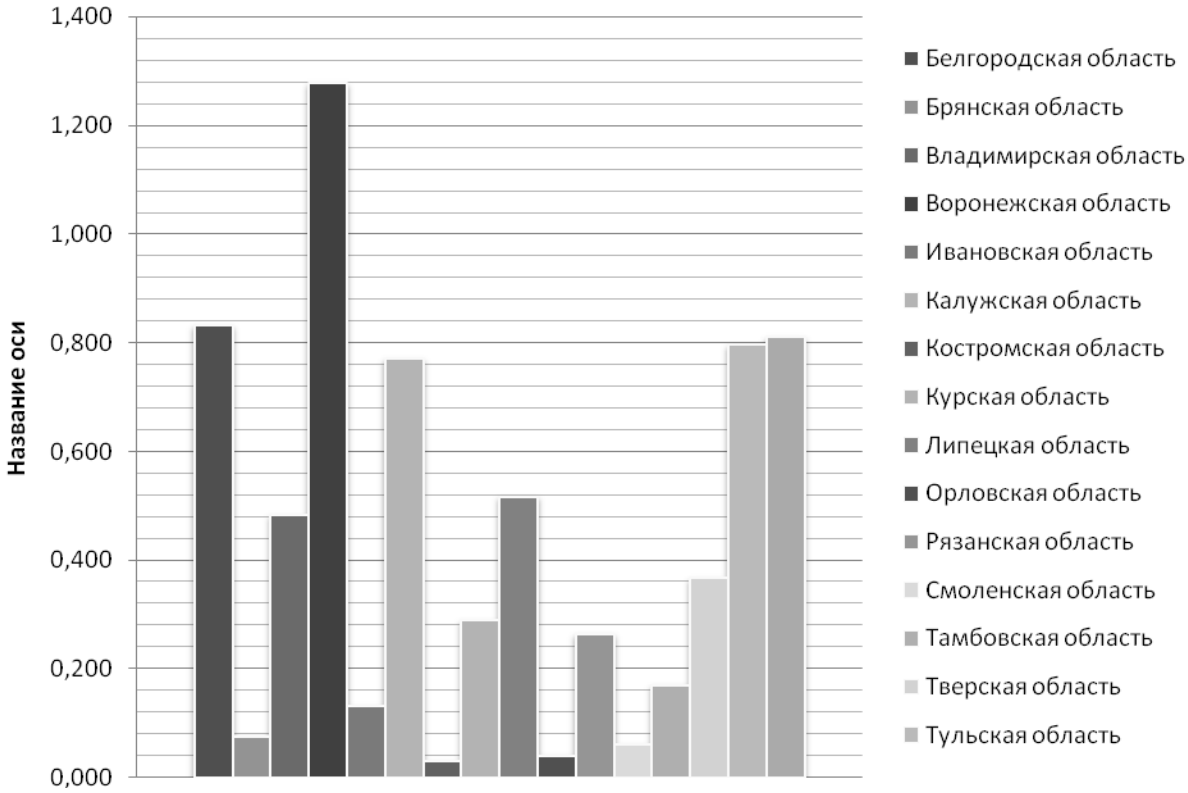

Рис.1. Сводная диаграмма значений инновационного потенциала регионов ЦФО

Таким образом, Воронежская, Белгородская, Калужская, Тульская, Ярославская области обладают высокими показателями по Центральному Федеральному округу. Смоленская, Орловская и Костромская области обладают довольно низкими показателями в сравнении с остальными регионами.

Причины сложившихся тенденций разнообразны – это экономический кризис, слабый производственный потенциал регионов, общая социально-экономическая ситуация.

Отдельный интерес для исследования представляет анализ укрупненных показателей – составляющих регионального инновационного потенциала и корреляция полученных результатов с комплексной величиной инновационного потенциала. Величина каждого

укрупненного показателя рассчитывается с помощью метода площадных диаграмм аналогично расчету комплексного показателя инновационного потенциала.

Результаты расчетов представлены на рисунках 2-5.

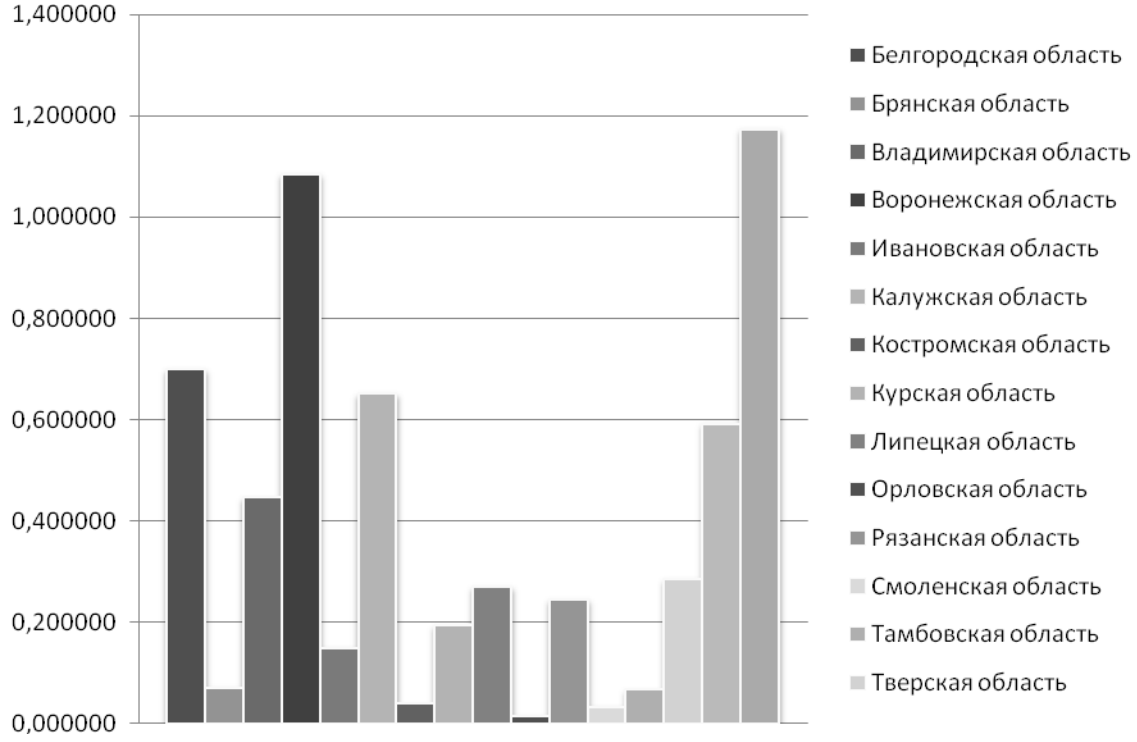

Рис. 2. Сводная диаграмма значений научно-производственной составляющей инновационного потенциала регионов ЦФО

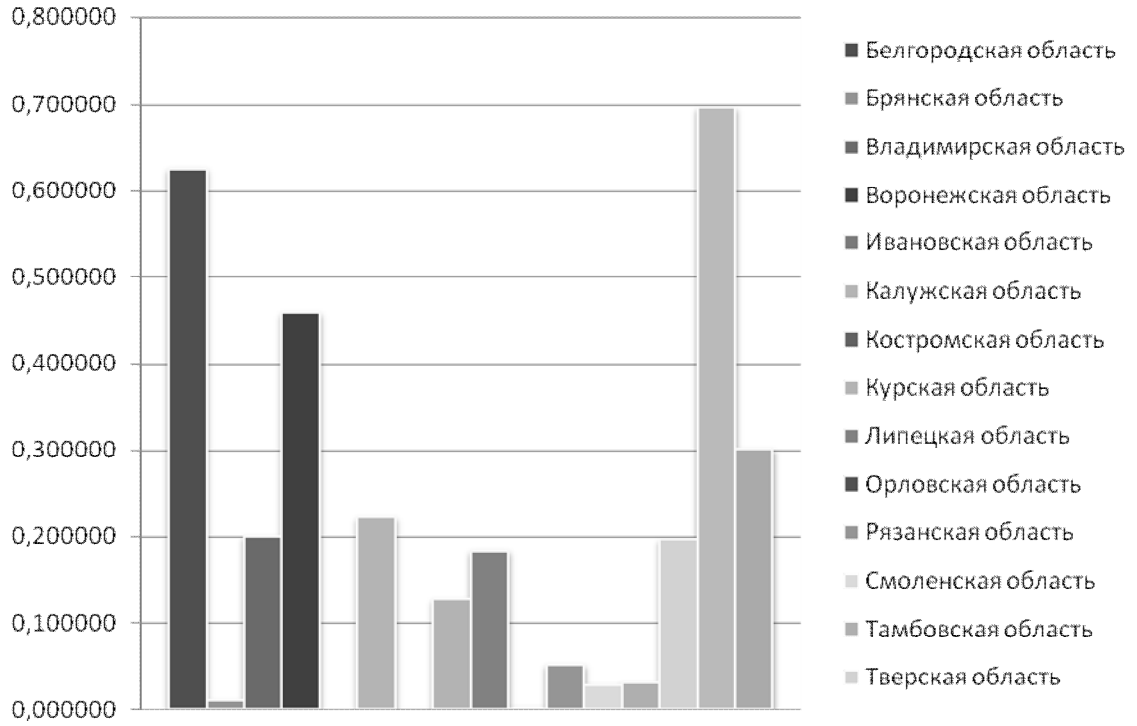

Рис. 3. Сводная диаграмма значений экономической составляющей инновационного потенциала регионов ЦФО

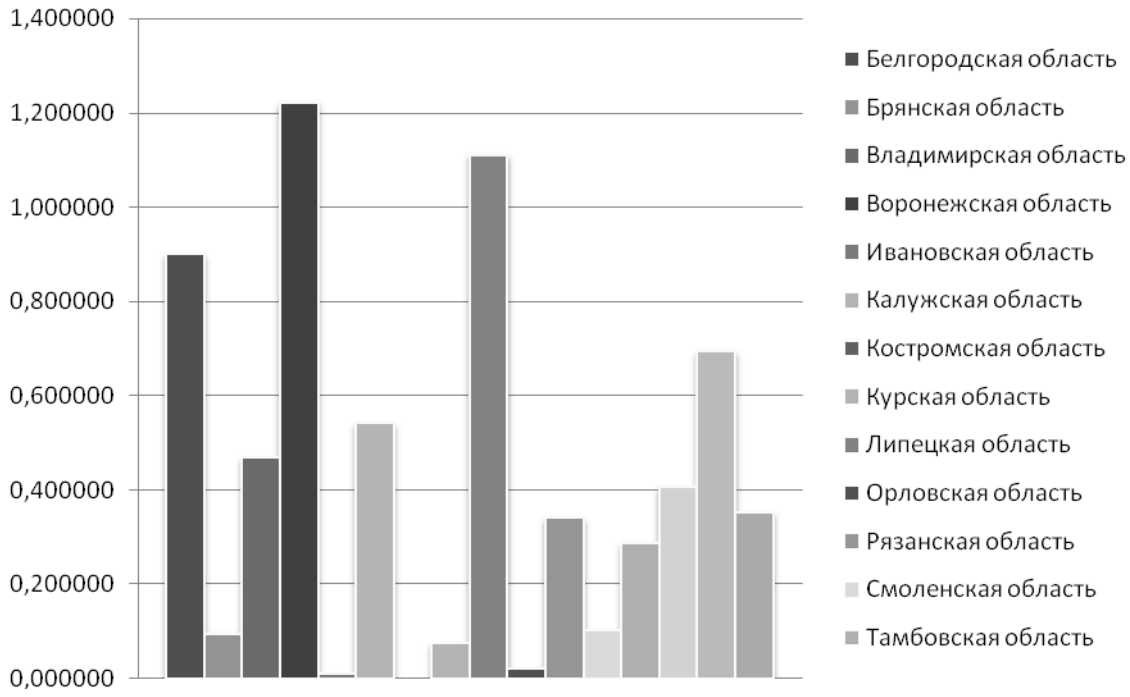

Рис. 4. Сводная диаграмма значений организационно-управленческой составляющей инновационного потенциала регионов ЦФО

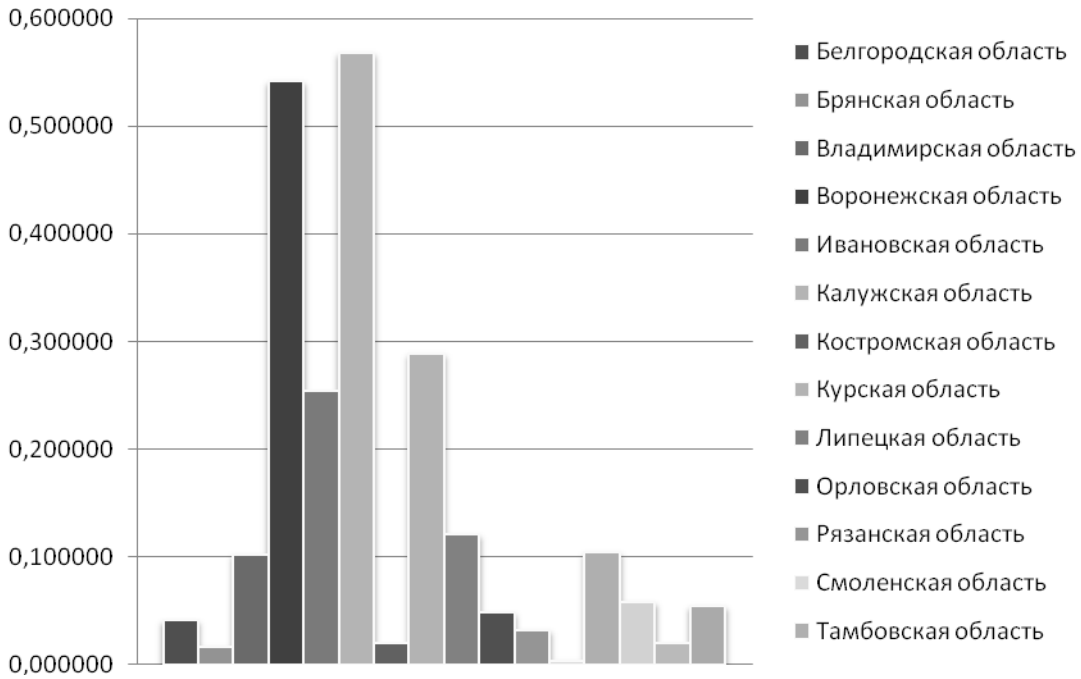

Рис. 5. Сводная диаграмма значений правовой составляющей инновационного потенциала регионов ЦФО

Приведенные диаграммы позволяет проанализировать «сильные» и «слабые» показатели регионального развития. Воронежская область обладает высокими и средними показателями по всем выбранным комплексным показателям, что подтверждается первым местом в списке ранжирования по комплексной величине инновационного потенциала. Белгородская область, занимающая второе место по величине инновационного потенциала, обладает высоким потенциалом в экономике и организационно-управленческом секторе, но

показывает средний результат в науке и производстве и низкий в правом потенциале. Ярославская область, занимающая третье место по величине инновационного потенциала, обладает высоким уровнем научной и производственной базы, средним показателем экономического потенциала, однако низкими правовыми и организационно-управленческими показателями.

Аналогично можно рассмотреть все регионы и выявить слабые и сильные стороны их развития для формирования рекомендаций по повышению значений инновационного потенциала.

Заключение

Необходимость формирования региональных инновационных систем, а также создание эффективных механизмов управления ими на современном этапе развития российской экономики не вызывает сомнения.

Выстраивание инновационной системы должно происходить в соответствии с потребностями и возможностями регионов. Для построения модели инновационного развития региона необходим анализ составляющих инновационного потенциала, его оценка, возможный прогноз развития на ближайшие годы. Только при комплексном рассмотрении проблемы инновационного развития может быть построена инновационная система, оказывающая влияние на процессы стабилизации экономики страны и повышение ее конкурентоспособности.

Статья поступила в редколлегию 18.02.19.
Рецензент: к.т.н., доцент Брянского государственного технического университета Подвесовский А.Г.
Статья принята к публикации 01.03.19.

Список литературы:

1. Зверев А. Проблемы перехода к инновационной экономике / А. Зверев //Финансовая аналитика: проблемы и решения. — 2008. — № 9.
2. Ивантер В.В. Перспективы и условия инновационно-технологического развития экономики России // В. В. Ивантер, Н. И. Комков/Проблемы прогнозирования. — 2007. — №3
3. Голиченко О.Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития// О. Г.Голиченко / М.: Наука, 2006.

References:

1. Zverev A. Problems of transition to innovative economy / A. Zverev//Financial analytics: problems and decisions. — 2008. — No. 9.
2. Ivanter V.V. Prospects and conditions of innovative and technological development of economy of Russia//V.V. Ivanter, N.I. Forecasting Komkov/problems. — 2007. — No. 3
3. Golichenko O.G. National innovative system of Russia: state and ways of development//O.G. Golichenko / M.: Science, 2006.

Сведения об авторах:

Сазонова Анна Сергеевна
Кандидат технических наук, доцент,
Доцент каф. «Компьютерные технологии и системы»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
тел. 8-903-869-28-18
E-mail: asazonova@list.ru

Information about authors:

Sazonova Anna Sergeevna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the department «Computer technologies and systems»
FSBEI HE «Bryansk State Technical University»,
tel. 8-903-869-28-18
E-mail: asazonova@list.ru

УДК: 519.711
DOI: 10.30987/article_5c9b8b2ce50d52.90279629

С.А. Назаревич

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье описана краткое представление возможности автоматизации процессов прогнозирования сложных технических систем под воздействием макроэкономических факторов учитывающих техническую вооруженность предприятия, мера износа основных фондов, и развитие технического уровня обеспеченности цехов и цехового оборудования.

Ключевые слова: *новизна, качество, структура, критерии оценки новизны, нововведение, модернизация.*

S.A. Nazarevich

AUTOMATION OF FORECASTING DEVELOPMENT PROCESSES OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

The article describes a brief presentation of the possibility of automating the processes of forecasting complex technical systems under the influence of macroeconomic factors that take into account the technical equipment of an enterprise, the measure of depreciation of fixed assets, and the development of the technical level of supply of workshops and shop equipment.

Keywords: *novelty, quality, structure, criteria for evaluating novelty, innovation, modernization.*

Актуальность

Прогнозирование развития изделий разного назначения задача достаточно сложная, которая учитывает не только макроэкономические факторы, но ещё уровень развития научно-технического прогресса предприятия.

Основной проблемой является соответствие достоверности и адекватности, существующей модели текущего положения процессов несущих ценность предприятия и теоретической модели представляющей результаты теоретических процессов включающих предполагаемые достижения целевых показателей.

В основном продукция отечественных предприятий развивает существующий технический потенциал на основании базовых структур изделий машиностроительной и радиоэлектронной отрасли созданных в прошлом веке, по результатам опытный базы науки советского научно-исследовательского сектора. Конечно, заложенный потенциал к модернизации базовых структур в советские годы позволяет расширять характеристики и сферу применения базовых структур, но всё же в такой ситуации есть положительные стороны: отработанная экспериментальная база, опыт квалифицированного коллектива, проверенные поставщики, стабильные процессы, отработанная конструкторская и технологическая документация, а также известные виды дефектов возникающих в процессе производства.

Однако существует серьезная отрицательная сторона использования базовых структур в долгосрочной перспективе: морально-техническая проблема, связанная со старением базовых структур. И с каждым годом приобретает критическую актуальность, поэтому

необходим аппарат долгосрочного прогнозирования, учитывающий не только рисковые ситуации для выбранного сегмента рынка, но и техническую вооруженность предприятия осваивающего новое производство перспективной техники в рамках существующих программ импортозамещения и программ локализаций отечественных поставщиков.

Проблемная область

Принципы опережающей стандартизации положенные в основу процессов проектирования новой продукции в период 1960-1970 годов позволили создать продукцию с большим внутренним потенциалом для модернизации на протяжении долгих лет. Такие принципы действовали для достаточно широкого круга отраслей, и отечественная продукция технического и промышленного назначения всегда отличалась высокой надежностью, глубоким потенциалом для модернизации и, к сожалению, низкой технологичностью. Наличие достаточного доступа к природно-сырьевой базе отразилось на отношении безотказной работы и мощности отечественной техники к экономичности расхода полезного ресурса для ее эксплуатации.

Процессы перехода на новые принципы использования природно-сырьевой базы создают предпосылки для создания принципиально новой продукции содержащей как научную, так и техническую новизну, и постепенный отказ от используемой в настоящем продукции имеющей ярко выраженные признаки морального старения. Однако вопросы, связанные с оценкой технической и научной новизны экспериментальной продукции остаются открытыми, можно ли считать новую продукцию лучшей? Расширение рабочего диапазона параметров значимых для потребителя или реализация новых функциональных параметров на текущей продуктовой линейке. Решение заключается в исследовании рынка путем применения метода «голос потребителя» который является первейшим индикатором конкурентоспособности выбранной стратегии предприятия.

Проведенные исследования, основаны на данных ретроспективного анализа дают повод для следующего суждения: нет абсолютно нового продукта, есть степень отличия от базового образца[1].

В качестве примера представлен проект «Технология круглогодичного производства в культивационных сооружениях высококачественной экологически безопасной растительной продукции» (СВУВР), который основан на свето-вегетационной установке для выращивания растений является улучшающей инновацией воплощенной на основе базовой версии продукта гидропонная установка для выращивания растений (ГУВРГ) [1].

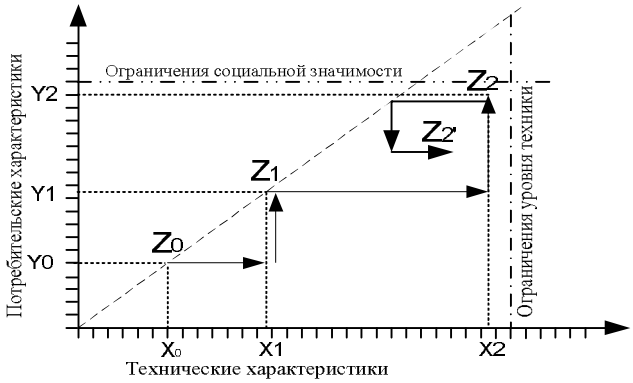

Рис. 1.Схема развития потенциала технического изделия

Развитие характеристик новой продукции останавливает существующие ограничения, действующие как в научно-техническом прогрессе, так и в социальной среде. Научно-технические ограничения связаны с использованием только тех технологий, которые доступны к тиражированию для крупносерийного производства, однако, более эффективное

использование новой продукции еще зависит от требований установленных социальными стандартами рынка обращения.

Рис. 2.Хронология развития жизненного цикла технических систем

Особенности анализа жизненного цикла заключается в том, что кривую жизненного цикла необходимо рассматривать не как единичный индикатор деятельности предприятия по реализации ценностных характеристик изделия или как объём реализации партии за какой-то промежуток времени. А как несколько показателей или групп показателей характеризующих не только потенциал ценностных характеристик реализуемой на рынке сложной технической системы, но и показатели технической вооруженности, мощностные показатели организации, которая производит или разрабатывает будущую сложную техническую систему. То есть рассматривать показатели системно, учитывая конкурентоспособность организации [2].

$$Q_{\text{промышленная_конкурентоспособность}} = \begin{bmatrix} I_{51} = \sum_{a=1}^{4} K_{51s} \times Э_{51s} \\ I_{52} = \sum (K) P_{н} / \sum (K) P_{к} \end{bmatrix} = \sum_{d=1}^{2} I_{5d} \quad , \qquad (1)$$

где $\sum_{d=1}^{2} I_{5d}$ - линейная свертка критерия промышленной применимости, K – весовой коэффициент, $Э$ – оценка эксперта для оцениваемой характеристики., $P_н$ – технический уровень новшества, $P_к$ –технический уровень аналога.

Таблица 1

№	Интервал	Характеристика
1	0 < ПП < 1,5	Крайне низкий уровень
2	1,5 < ПП < 3	Низкий уровень
3	3 < ПП < 5	Умеренный уровень
4	5 < ПП < 11	Нормальный уровень
5	11 < ПП < 18	Высокий уровень
6	18 < ПП < 25	Очень высокий уровень

Закладывая уровень в 11 – 18 значений можно с высокой уверенностью утверждать, что организация готова к реализации. Кстати применение подобного подхода можно отнести к анализу возможности модернизации существующий базовый структуры сложной технической системы с признаками опережающей стандартизации, заложенными не только вперед 50-х или 80-х годов, но и уже в наше время, то есть отечественным российским научно-производственным сектором[2]. Практическая ценность предложенных методик заключается в четком понимании природы жизненного цикла и достаточности тех индикаторов, которые будут отражать его структуру, таким образом, становится возможным

применять данные подходы не только к визуализации объемов реализации сложной технической системы, как изделия несущего рыночную ценность, но и отражать конкурентный потенциал организации, как участника рынка машиностроительной или радиоэлектронной сферы.

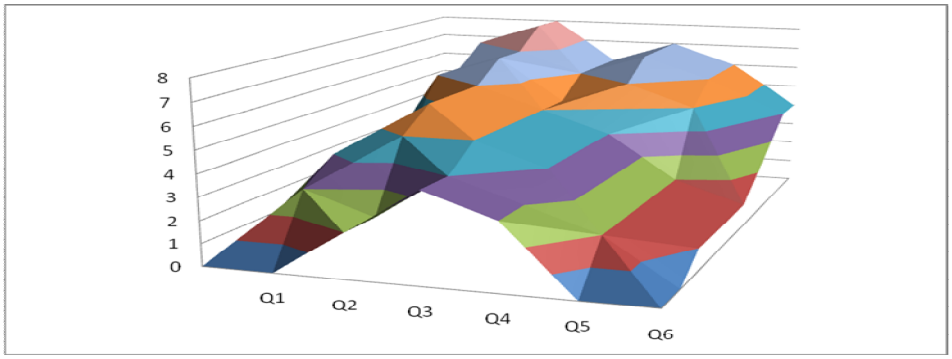

Рис. 3. Комплексное представление кривой жизненного цикла

Q1,*Q2*,*Q3*,*Q4*,*Q5* - показатели характеризующие конкурентоспособность организации и технический потенциал производимого изделия.

Конечно, существуют различные мнения относительно способов и методов прогнозирования развития сложных технических систем, однако их восприятие реальным производством достаточно негативная из-за высокой вероятности получения отрицательного результата то есть, попросту говоря вложенные инвестиции, могут не оправдаться, особенно в условиях макроэкономических рисков. Следовательно, отечественное предприятие пользуется старым проверенным традиционным методом работы на своих суверенных рынках с проверенными поставщиками и проверенными заказчиками, то есть государством. Следовательно возникает ситуация неопределенности относительно того что произойдёт когда государство откажется от услуг отечественных предприятий по тем или иным причинам и этот фактор носит достаточно стохастический характер тем более в условиях нестабильной геополитической атмосферы. Возникают возможность свершения события утраты традиционных рынков, поэтому стратегия дифференцирования рынка будет лучшей стратегией в страховании возможных рисков от макроэкономических и геополитических факторов.

Практическая значимость

Разработанная методика позволяет определить степень изменения технических характеристик новой продукции по отношению к текущему аналогу или принятому прототипу. Набор технических (X) и социальных требований (Y) установленных к продукции в виде технического задания создают функциональную значимость проектируемой продукции (Z), развитие которых останавливают ограничения социальной значимости (ОСЗ), ограничения уровня техники (ОУТ) (рис.1).

$$Q_{развитие_новой_продукции} = \begin{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1, X_2, X_n \\ Y_1, Y_2, Y_n \end{Bmatrix} \\ ТЗ\langle Z_1(X_1,Y_1), Z_2(X_2,Y_2), Z_n(X_n,Y_n)\rangle \\ Z_2(X_2,Y_2) \Rightarrow Z_{2'}(X_{2'},Y_{2'}) \\ ОСЗ > Z_{2'}(X_{2'},Y_{2'}) \Rightarrow Z_{2'} = ТЗ \\ ОУТ > Z_{2'}(X_{2'},Y_{2'}) \Rightarrow Z_{2'} = ТЗ \\ ТЗ \Rightarrow \max \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Заключение

Конечно, показатели можно выбирать различными способами и их не так уж и много: экспертный, расчётный, традиционный, социологический, аналитический и инструментальный способы применимы в подобной ситуации. Существует также много методик по выбору рациональной стратегии связанной с количественным обоснованием показателей и индикаторов деятельности организации в процессе жизненного цикла, поэтому в рамках данной работы это исследование будет опираться на весовые коэффициенты отражающие значимость того или иного индикатора или критерия.

Для более детального представления, возможно, провести процесс автоматизации контроля ключевых показателей деятельности организации. Предложенные подходы позволяют управлять техническим потенциалом существующей базовой структуры не только в рамках плановых мероприятий по модификации существующих ценностных характеристик, но и привязывать их к параметрам макроэкономической среды которые формируют потенциальные заказчики. Практическая значимость предложенных подходов и моделей, состоит в прогнозировании технического потенциала базовой структуры не только прямыми требованиями заказчиков, упреждая будущие потребности, но и учитывая элементы опережающей стандартизации, создавать лучшие исполнение потребительских характеристик.

Список литературы:

1. Назаревич, С.А. Оценка качества дрейфующих моделей базовых структур инновационных технологий / С.А. Назаревич, В.М.Балашов, А.Ю. Гулевитский, А.В. Чабаненко // Вопросы радиоэлектроники. Из-во: ЦНИИИ Электроника, № 10. — М.: 2018г. — С. 109-114.
2. Липатников В.А. Модели, методы и инструменты улучшения качества подготовки инженерно-технических кадров: Монография / В.А. Липатников, С.А. Назаревич, А.В. Рабин // СПб.: ГУАП, 2015. — 211 с.
3. Шанта, М.В Модель оценки технического уровня бытовой техники / М.В. Шанта , Е.Г. Семенова, В.М. Милова, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. Из-во: ЦНИИИ Электроника, № 10. — 2018. С. 30-38.
4. Варжапетян А.Г. Повышение потребительской ценности продукции за счет оптимизации процесса туманных вычислений / А.Г. Варжапетян, Е.Г.Семенова, В.А. Тушавин, М.С.Смирнова // Из-во: ЦНИИИ Электроника, Вопросы радиоэлектроники. № 10. — 2018. С. 130-136.

References:

1. Nazarevich, S.A. Quality assessment of the drifting models of the basic structures of innovative technologies / S.A. Nazarevich, V.M. Balashov, A.Yu. Gulevitsky, A.V. Chabanenko // Questions of radio electronics. From: CRI Electronics, No. 10. - M .: 2018. - pp. 109-114.
2. Lipatnikov V.A. Models, methods and tools to improve the quality of training of technical personnel: Monograph / V.A. Lipatnikov, S.A. Nazarevich, A.V. Rabin // SPb .: GUAP, 2015. - 211 p.
3. Shanta, M.V. Model for assessing the technical level of household appliances / M.V. Shanta, E.G. Semenova, V.M. Milova, M.S. Smirnova // Issues of radio electronics. From: CRI Electronics, № 10. - 2018. P. 30-38.
4. Varzhapetyan A.G. Increase of consumer value of products due to optimization of the process of foggy calculations / A.G. Varzhapetyan, E.G.Semenova, V.A. Tushavin, MSSmirnova // From-in: Central Research Institute of Electronics, Radio Electronics Issues. No. 10. - 2018. p. 130-136.

Статья поступила в редколлегию 20.02.19.
Рецензент: д.т.н., доцент Брянского государственного технического университета Аверченков А.В.
Статья принята к публикации 18.03.19.

Сведения об авторах:

Назаревич Станислав Анатольевич
доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
тел.: +7 (904) 612 04 02
E-mail: albus87@inbox.ru

Information about authors:

Nazarevich Stanislav Anatolevich
associate Professor of the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»
tel.: +7 (904) 612 04 02
E-mail: albus87@inbox.ru

УДК: 658.51
DOI: 10.30987/article_5c9b8b2d580145.79340136

А.А. Петрушевская

МЕТОДИКА ПОЭТАПНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ DFM

В статье рассмотрено применение принципов концепции индустрии 4.0 при производстве электроники с внедрением концепции Design for Manufacturing в среде компьютерной математики MatLab с целью повышения результативности производственного процесса. Технологические процессы могут быть описаны в виде математических моделей, построенных с применением аппарата цепей Маркова. На основе разработанной модели получены результаты, подтверждающие эффективность использования графов при управлении технологическими операциями.

Ключевые слова: *цифровое производство, технологический процесс, электроника, математическое моделирование, управление качеством.*

A.A. Petrushevskaya

METHODOLOGY OF PHASED ORGANIZATION FOR DIGITAL PRODUCTION TO ENSURE THE QUALITY OF ELECTRONICS USING THE CONCEPT OF DFM

The article deals with the application of the principles of the industry concept 4.0 for the production of electronics with the introduction of the Design for Manufacturing concept in the MatLab computer mathematics environment in order to increase the productivity of the production process. Technological processes can be described in the form of mathematical models constructed using the Markov chains. On the basis of the developed model, the results confirming the effectiveness of the use of graphs in the management of technological operations are obtained.

Keywords: *digital production, technological process, electronics, mathematical modeling, quality management.*

Повышение результативности производства электроники для электронных изделий и увеличение выхода годных возможно при адаптации некоторых принципов концепции «Индустрии 4.0» с помощью технологических инноваций на всех этапах жизненного цикла производимой продукции. Для повышения качества продукции необходимо создание и применение модели системы мониторинга процесса изготовления электроники на всем этапе жизненного цикла, моделирование этапов производственного процесса осуществляется с помощью цепей Маркова. Концепции «киберфизических систем» и «интернета вещей» являются атрибутом нынешнего этапа инновационного развития,а их реализация в виде «цифрового производства» охватывают все этапы жизненного цикла.

Однако для разработки технологий и производственного цикла должны быть сформирована стратегия развития, определяющая выбор методов и средств процессов автоматизации. Такие процессы могут быть реализованы поэтапно для разработки и цифрового производства электроники. В этой области постоянно развивающаяся область, по крайней мере, две стратегии развития. Первая - эффективное использование оборудования, включая оптимизацию режимов работы и загрузки оборудования, повышение производительности труда [1, 9]. Вторая - обеспечение качества продукции на стадии проектирования [7, 10]. Одновременная реализация двух или более стратегий неэффективна, поэтому для рассматриваемых в статье процессов первая стратегия была признана менее актуальной. Это подтверждено успешным опытом надежного оборудования при выполнении требований эксплуатации. Актуальность второй стратегии определяется несоответствиями

проектной документации, такими как диаграмма электрических, ошибки выбора базовой базы компонентов, результаты проектирования файлов PCB и Gerber.

Для выпуска изделий нового поколения и освоения новых технологий для производства отвечающей современным требованиям радиоэлектроники направлены современные разработки и производства высокотехнологичной наукоемкой продукции. Актуальность производства инновационной электроники, ее миниатюризация и импортозамещение приводит к необходимости разработки методов моделирования технологических процессов.

Рассмотрим некоторые методы и технологии, необходимые для развития процессов поэтапной автоматизации разработки и цифрового производства электронных печатных плат. Дизайн электронной печатной платы выполняется как процесс преобразования и дополнения первичной цифровой модели. Дальнейшие этапы мониторинга, диагностики, тестирования, технического обслуживания также используют результаты трансформации модели.

Электрическая схема выполняется с помощью проектных инструментов PCAD. Результатом сквозного процесса проектирования является файл PCB. Инструменты Design for Manufacturing (DFM) обеспечивают устранение несоответствий в соответствии с требованиями стандартов IPC в ходе этого процесса.

Технологические процессы поэтапной разработки и автоматизации цифрового производства электроники рассмотрены в [5,6,8]. Последовательность процессов может быть развита и улучшена, однако для разработки моделей, не нарушая целостности, рассмотрены процессы, приведенные в таблице 1. Там же обозначены вероятности достижения состояния процессов. В дальнейшем предполагается, что процессы неидеальны и требуемое улучшение. Любые отклонения от требований к процессам нарушения переходов в общем состоянии несоответствия. Детализация отклонений и классификация несоответствий должны быть рассмотрены отдельно.

Таблица 1 Описание процессов

№	Описание процесса	Вероятность состояния
1	Разработка принципиальной электронной схемы	P_1
2	Проектирование и коррекция топологии печатной платы в соответствии с требованиями стандартов IPC	P_2
3	Изготовление печатных плат	P_3
4	Печать и осмотр паяльной пасты	P_4
5	Установка компонентов	P_5
6	Оплавление в печи	P_6
7	Лазерная маркировка	P_7
8	Автоматический оптический контроль	P_8
f_i	Состояние несоответствия	P_{fi}

При выполнении операции необходимо рассмотреть вероятность перехода из предыдущего состояния "i" в последующее состояние "j" в соответствии с требованиями как P_{ij}. При отклонении вероятность перехода в состояние несоответствующей продукции (fail) представлено как P_{if}.

Вероятности перехода задаются матрицей:

$S(0)=S1 \Rightarrow P1(0)=1,\ Pi(\varnothing)=0,\ i=\overline{2,7},f$

$$P = \begin{bmatrix} 0 & P_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{1f} \\ 0 & 0 & P_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{2f} \\ 0 & 0 & 0 & P_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{3f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{45} & 0 & 0 & 0 & P_{4f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{56} & 0 & 0 & P_{5f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{67} & 0 & P_{6f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{78} & P_{7f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{8f} \\ P_{f1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Если Pi(Ø)=0, то на графе перехода нет. $i=\overline{1,7}$, $f=\overline{1,7}$

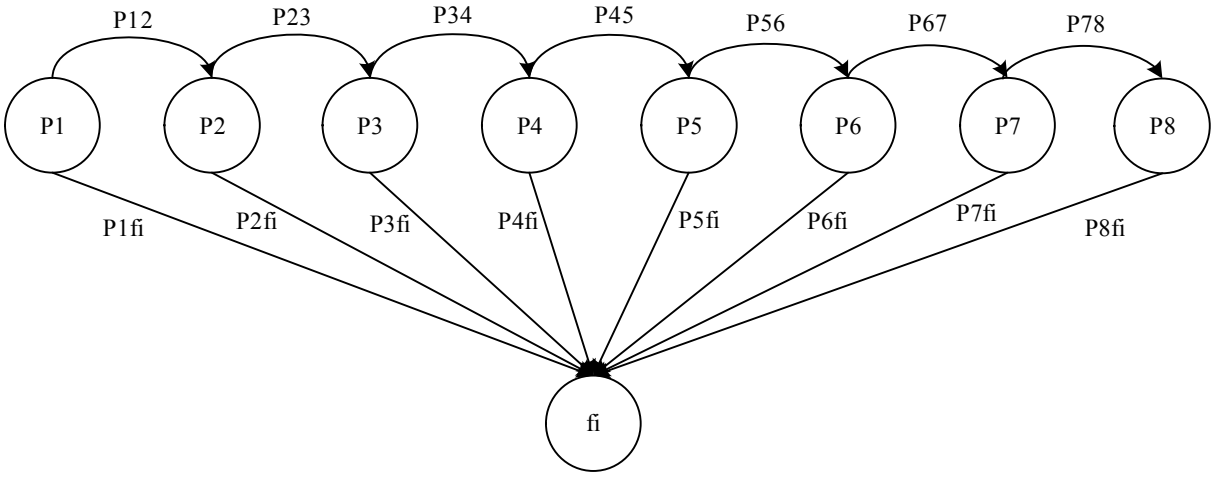

Рис. 2. Изменение регулируемой переменной и управляющего воздействия при начальном отклонении переменных состояния от статики

Моделирование по этапам производства позволяет раскрыть не только структуру изделия, но и показать топологию технологического процесса его изготовления. Выбор теории графов при разработке математического моделирования основан на основных производственных этапах изготовления элементов в связи с раскрытием высокого уровня детализации моделируемого объекта и обеспечением полной взаимосвязи компонентов изделия с целью недопущения выпуска брака, а наоборот повышение качества продукции при минимальных затратах.

Для оценки результативности производственного процесса и построение прогнозных значений выхода годных через n количество партий построена программа в MatLab (рис. 2, 4).

Функция QualityProbability с тремя параметрами:

– reqProb - нижний порог вероятности качественной продукции,
– nChainUnits - число звеньев производственной цепочки,
– nIterations - количество повторений вычислений % одной цепочки, где одна итерация соответствует вычислению переходов % между всеми звеньями одной цепочки

functionAvgProb = QualityProbability(reqProb,nChainUnits,nIterations)

Начальное значение суммы вероятностей каждой цепочки Sum = 0;

Организуем цикл вычислений вероятности качественной продукции for i=1:nIterations

Начальное значение вероятности в одной цепочке (в дальнейшем значение вероятности будет получено путем умножения, поэтому перед началом вычислений присвоено значение 1.

QualityProb=1;

Цикл вычислений одной цепочки состоит из nChainUnits звеньев:

for j=1:(nChainUnits-1)

На каждом шаге вычислим вероятность отсутствия брака при переходе к следующему звену производственной цепочки.

Например, для нижнего порога 0.98 и 8 звеньев на каждом шаге осуществляется умножение на случайную величину в интервале [0.98^(1/7),1], то есть [0.9966,1]

QualityProb=QualityProb*(realpow(reqProb,1/(nChainUnits-1))+rand(1,1)*(1-realpow(reqProb,1/(nChainUnits-1))));

end

Текущее значение суммы вероятностей увеличивается на вероятность качественной продукции рассмотренной цепочки:

Sum = Sum + QualityProb;

end

Среднее значение определяется, разделив текущее значение суммы вероятностей на число итераций:

AvgProb=Sum/nIterations.

С помощью написанной программы были получены значения вероятностей перехода.

```
>>QualityProbability(0.98,8,1)
ans =
   0.9885
>>QualityProbability(0.98,8,10)
ans =
   0.9899
>>QualityProbability(0.98,8,50)
ans =
   0.9902
>>QualityProbability(0.98,8,100)
ans =
  0.9900
```

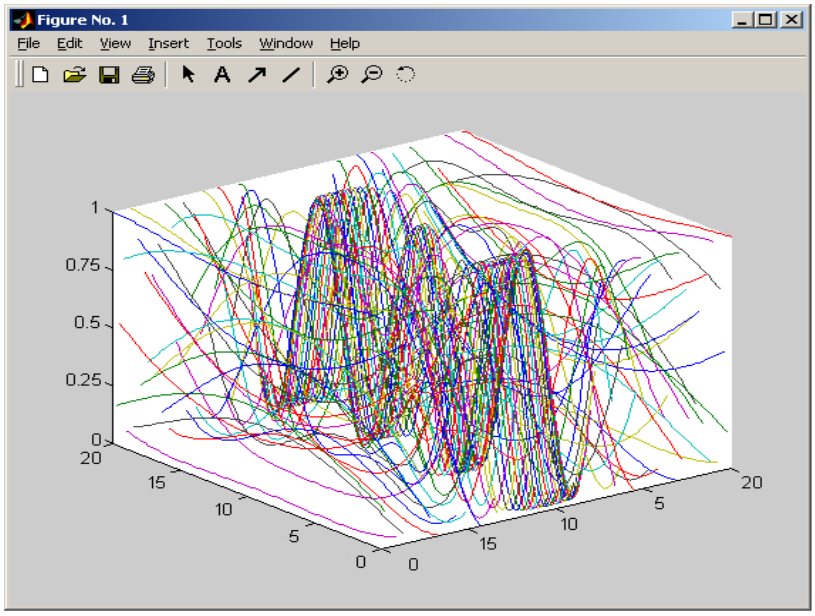

Рис. 2.Вероятности выхода годных изделий без использования

На рисунках 2 - 5 представлены вероятности выхода годных изделий в зависимости от рассматриваемых партий, так при изготовлении 1 партии продукции выход годных изделий будет равен 0,9896, при изготовлении 5 партии выход годных изделий будет равен 0,9992, при 10 – 0,9900, при 65 - 0,9901 и т.д. На рисунках 3 и 4построен тренд, отображающий тенденцию изменения выхода годных при использовании обозначенных процедур.

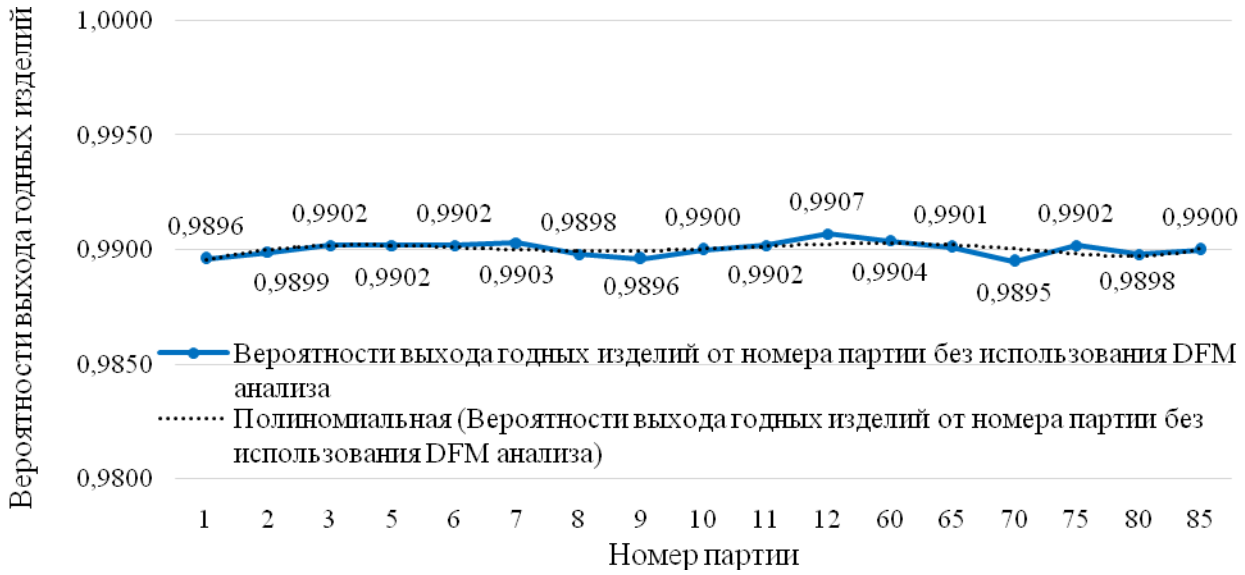

Рис.3. Зависимость вероятностей выхода годных изделий от номера партии

Для повышения результативности процесса производства электроники необходимо применение DFM-анализа на всех этапах изготовления компонентов, позволяющий избежать сложности в производстве на самой ранней стадии обнаружения несоответствия.

1. DFM-анализ проводится по запросу клиента перед подготовкой файлов плат для производства (на этапе запроса). Так, чтобы у клиента оставалось время внести корректировки в файлы.

2. В процессе анализа выявляются несоответствия между платой и спецификацией (лишние компоненты в спецификации, несоответствие корпуса компонента посадочному месту на плате и пр.). Несоответствия выявляются в проекте, а не на готовых платах, что позволяет:

– значительно уменьшить время запуска блоков в производство

– снизить материальные затраты

– избежать ручной допайки блоков

3. Проверка проходит с учетом требований IPC и возможностей нашего производств

4. В результате анализа клиент получает отчёт о всех выявленных несоответствиях DFM-анализ может проводиться для всех видов электронных блоков, наибольший выигрыш проявляется на сложных электронных блоках, содержащих большую номенклатуру разнородных электронных компонентов.

На рисунке 5 представлена зависимость вероятностей выхода годных изделий от номера партии с использованием и без использования DFM-анализа. Из графиков зависимостей следует, что с использованием DFM-анализа в процессе изготовления электроники, процент выхода годных изделий с каждой партией увеличивается, что говорит о необходимости применения данного аппарата в производственном процессе.

Моделирование по этапам производства с применением в процессе изготовления электроники позволяет раскрыть не только структуру изделия, состоящего из отдельных элементов трекера, но и показать топологию технологического процесса его изготовления.

Выбор теории графов при разработке математического моделирования основан на основных производственных этапах изготовления элементов в связи с раскрытием высокого уровня детализации моделируемого объекта и обеспечением полной взаимосвязи компонентов изделия с целью недопущения выпуска брака, а наоборот повышение качества продукции при минимальных затратах. Использование DFM-анализа в компьютерной среде MatLab в производстве и исправление ошибок до начала процесса производства позволяет сократить сроки подготовки и гарантированно выполнить обязательства перед заказчиками по качеству изделий.

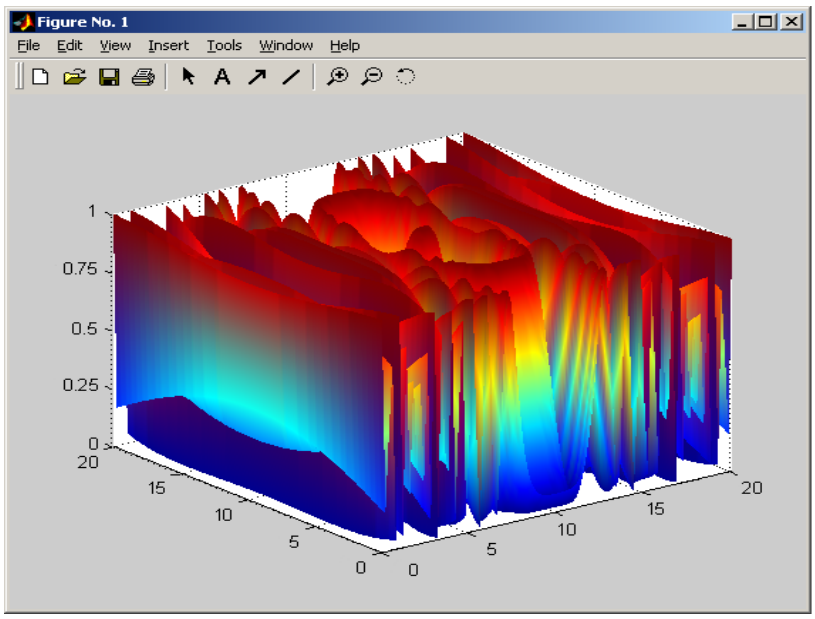

Рис.4. MatLab модель вероятностей выхода годных изделий с использованием DFM-анализа

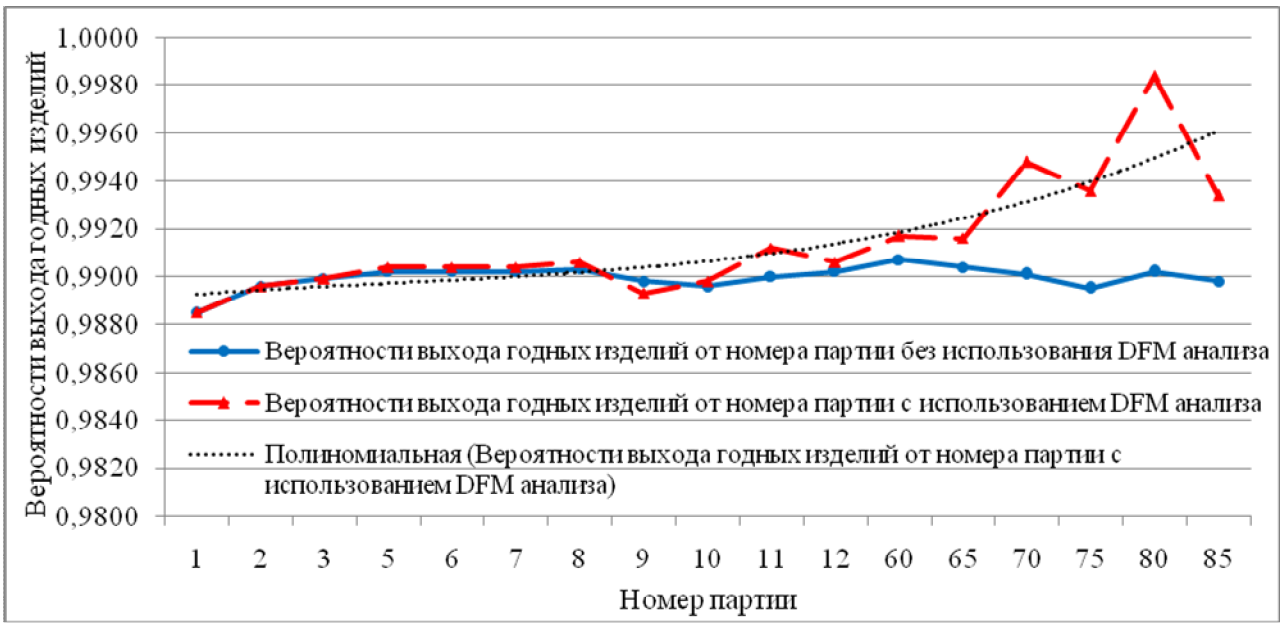

Рис.5. Вероятности перехода с использованием DFM

Используя производственное оборудование промышленного интеллекта (Smart Manufacturing), получающее в процессе производства информацию об измененных требованиях, самостоятельно может внести корректирующие действия в технологический процесс, который со временем обеспечит гибкость и адаптируемость производства к условиям современного рынка. Это основано на опытном подходе, направленном на то, чтобы подчеркнуть будущую разработку новых технологий, придающих большое значение,

например DFM. Простые инструменты DFM демонстрируют эффективность для нескольких этапов автоматизации. Основная цель - охватить весь жизненный цикл электроники цепочкой процессов на основе первичной цифровой модели. В этой цепочке также будет проходить этап тестирования, техническое обслуживание и ремонт. Техническая реализация должна содержать M2M и «Интернет вещей».

Список литературы:

1. Внедрение 4.0. Развитие Индустрии 4.0. Основы, моделирование и примеры из практики. Под Ред. Армина Рота. М.: Техносфера, 2017. - 294 с.
2. www.pantes.ru
3. ГОСТ Р ИСО 9000:2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 87 с. 27.
4. ГОСТ Р ИСО 9001:2015. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2015. 92 с.
5. Коршунов Г.И., Петрушевская А.А. Повышение результативности производства электроники для инновационных автомобильных систем на принципах «Индустрии 4.0»: Инновации. 2017. С. 13 □ 16.
6. Коршунов, Г.И. Сокращение времени производственного цикла на основе внедрения методов менеджмента и технологических инноваций / Г.И. Коршунов, С.Л. Поляков. // Информационно-управляющие системы / ГУАП. 2013. №4. С.78□82.
7. Липкин Е.Б. Индустрия 4.0 □ потенциальный стимул развития отечественной радиоэлектронной промышленности: Вектор, 2017. № 5. С. 10 □ 14.
8. Петрушевская А.А. Моделирование технологических процессов в производство электроники при внедрении концепции цифрового производства. // Сб.науч.тр. I Международной научно-практической кон-ференции "САПР и моделирование в современной электронике"/под ред. Л.А. Потапова, А.Ю. Дранкина. - Брянск: БГТУ, 2017. С. 189□194.
9. Черняк Л. Киберфизические системы на старте: Открытые системы. СУБД. 2014. № 2. С. 10 – 13.
10. Design for Manufacturability And Statistical Design: A Constructive Approach, by Michael Orshansky, Sani Nassif, Duane Boning ISBN 0-387-30928-4

References:

1. Implementation 4.0. (2017). Industry Development 4.0. Basics, modeling and examples from practice. Under Ed. Armina Roth. Moscow: Technosphere. 294 p.
2. www.pantes.ru
3. GOST R ISO 9000: 2015. (2015). Quality management systems. Requirements. Moscow: Standardinform, 87 p. [in Russian language]
4. GOST R ISO 9001: 2015. (2015). The main provisions and vocabulary. Moscow: Standardinform, 92 p. [in Russian language]
5. Korshunov G.I., Petrushevskaya A.A. (2017). Improving the performance of electronics production for innovative automotive systems based on the principles of Industry 4.0: Innovations. pp. 13-16. [in Russian language]
6. Korshunov, G.I. Reducing the time of the production cycle based on the introduction of management methods and technological innovations G.I. Korshunov, S.L. Polyakov. (2013). Information management systems SUAI. 2013. №4. pp.78-82. [in Russian language]
7. Lipkin E. B. (2017). Industry 4.0 - potential stimulus for the development of the domestic electronics industry: Vector. No. 5. pp. 10-14. [in Russian language]
8. Petrushevskaya A.A. (2017). Modeling of technological processes in the production of electronics when introducing the concept of digital production. Collection of scientific papers. I International Scientific and Practical Conference "CAD and Modeling in Modern Electronics" ed. L.A. Potapova, A.Yu. Drankina. Bryansk: BSTU. p. 189-194. [in Russian language]
9. Chernyak L. (2014). Cyber-physical systems at the start: Open systems. DBMS. № 2. P. 10 - 13. [in Russian language]
10. Design for Manufacturability And Statistical Design: Constructive Approach, by Michael Orshansky, Sani Nassif, Duane Boning ISBN 0-387-30928-4

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:

Петрушевская Анастасия Андреевна
Инженер центра координации научных исследований, магистрант кафедры инноватики и интегрированных систем качества ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
Тел.: 8(911)844-30-44
E-mail: a.petra.ip@gmail.com, aap@guap.ru
Тел. рабочий: 8-4932-32-72-26.
Тел. сот: 8-915-837-94-53.
E-mail: nevinitsyn@gmail.com

Information about authors:

Petrushevskaya Anastasia Andreevna
Leading Specialist of the Center for Coordination of Research, Postgraduate Student of the Department of Innovation and Integrated Quality Systems
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
Тел.: 8(911)844-30-44
E-mail: a.petra.ip@gmail.com , aap@guap.ru

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 DIGITALIZITION 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. Касаемо 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 индустриальные сектора 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.

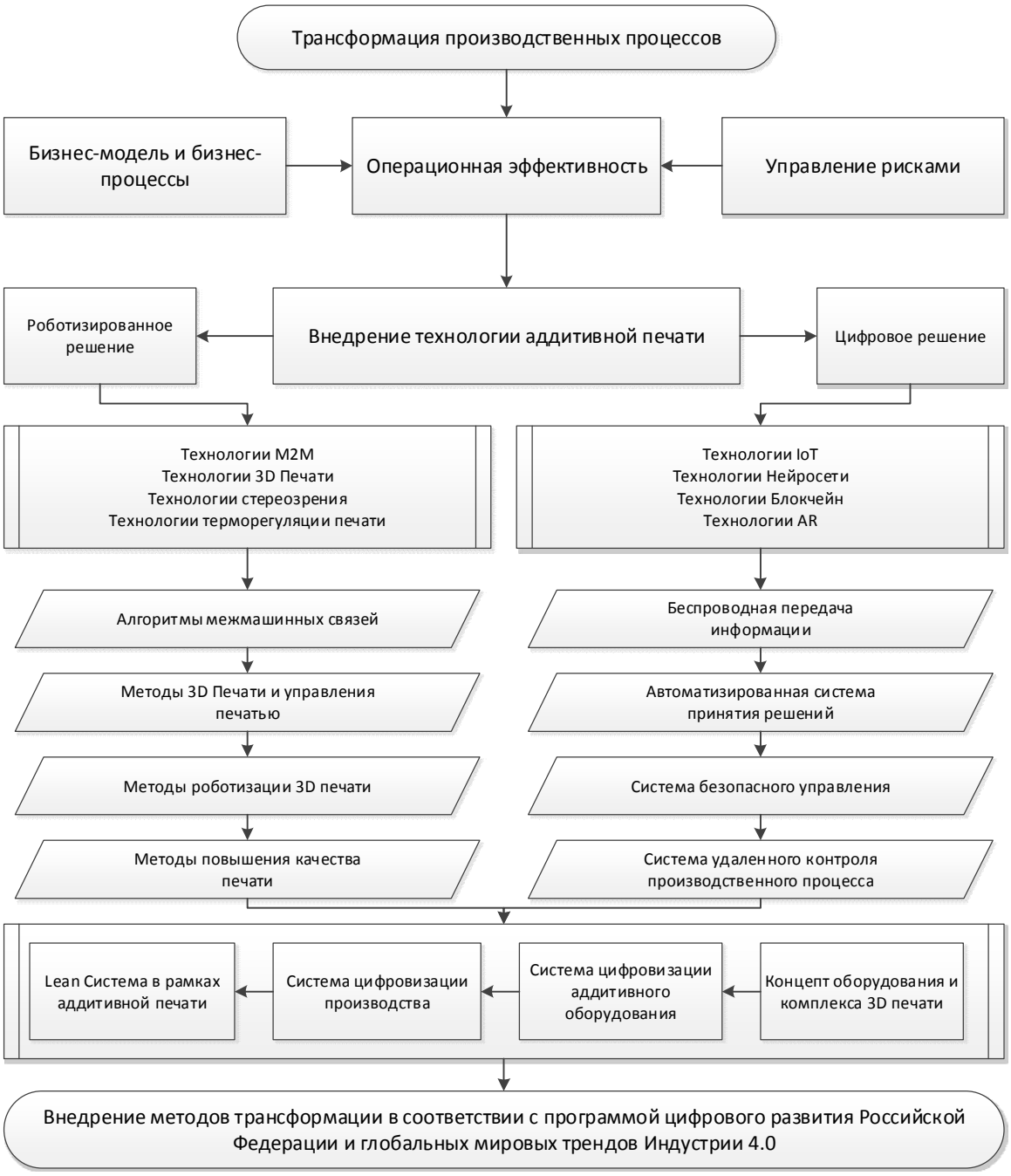

Рис. 1. Процесс трансформации аддитивной печати в рамках глобального индустриального развития

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 основные 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

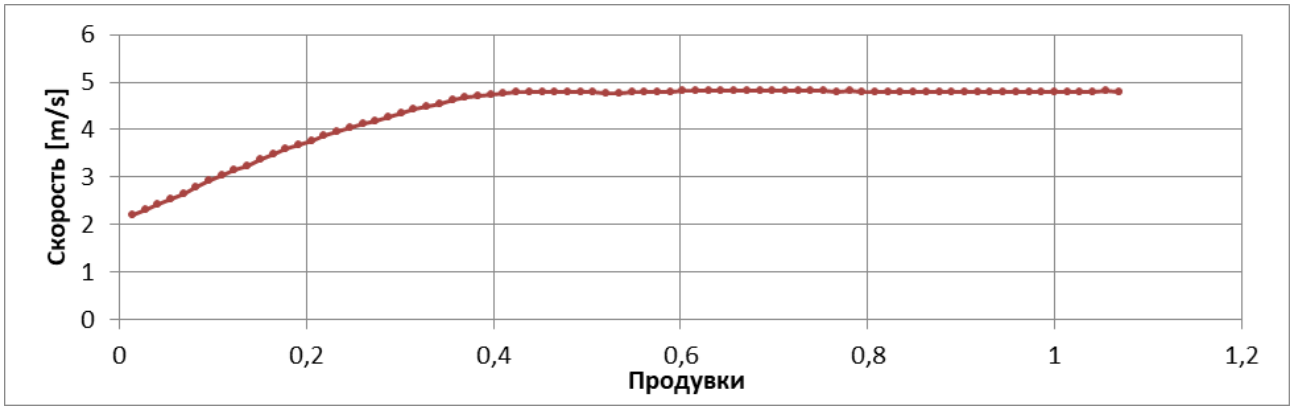

Рис. 6. Зависимость скорости потока от продувок

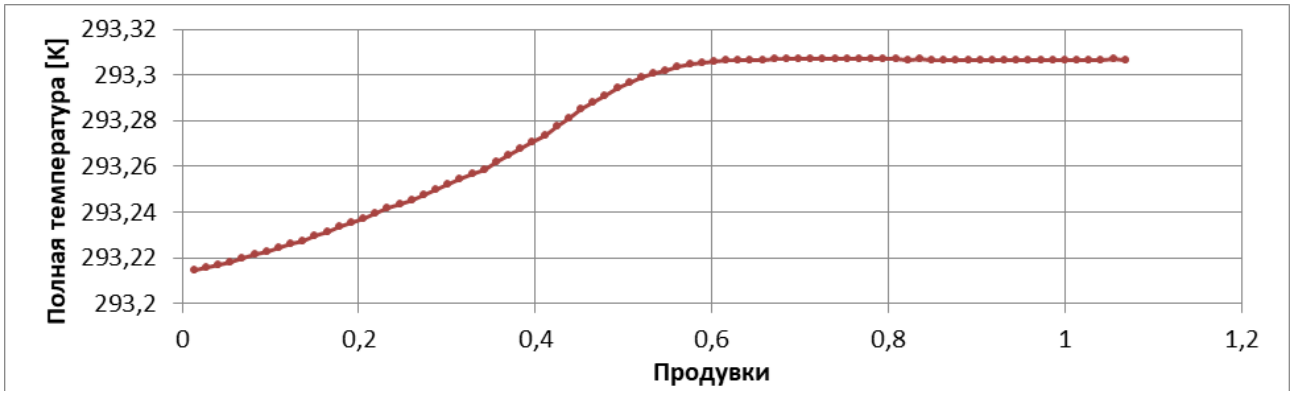

Рис. 7. Зависимость температурного потока от продувок

Также, современный 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.
Объём 50 Мб. ОЗУ 512 Мб. Internet Explorer, Adobe Reader 5.0 и выше.
12+