

ISSN online 2658-6436

№1(11)
2021

Научно-технический журнал

Автоматизация и моделирование

в проектировании и управлении



АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

В проектировании и управлении

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ



Издается с 2018 года

Сетевое издание

Выходит 1 раз в квартал

№ 1(11), 2021

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. техн. наук, доц.

Заместитель председателя редакционного совета – Федонин О.Н., д-р. техн. наук, проф.

Бобырь М.В., д-р. техн. наук, проф. (Курск)

Бочкарев П.Ю., д-р. техн. наук, проф. (Саратов)

Еременко В.Т., д-р. техн. наук, проф. (Орел)

Ивашук О.А., д-р. техн. наук, проф. (Белгород)

Карпенко А.П., д-р. физ.-мат. наук, проф. (Москва)

Квятковская И.Ю., д-р. техн. наук, проф.

(Астрахань)

Кравец А.Г., д-р. техн. наук, проф. (Волгоград)

Курейчик В.В., д-р. техн. наук, проф. (Таганрог)

Ланцов В.Н., д-р. техн. наук, проф. (Владимир)

Носков С.И., д-р. техн. наук, проф. (Иркутск)

Пестер А., д-р. техн. наук, проф. (Австрия)

Петрешин Д.И., д-р. техн. наук, проф. (Брянск)

Подвесовский А.Г., канд. техн. наук, доц. (Брянск)

Пылькин А.Н., д-р. техн. наук, проф. (Рязань)

Скрыпников А.В., д-р. техн. наук, проф. (Воронеж)

Феофанов А.Н., д-р. техн. наук, проф. (Москва)

Хейфец М.Л., д-р. техн. наук, проф. (Белорусь)

Чепчуrows М.С., д-р. техн. наук, проф. (Белгород)

Шептунов С.А., д-р. техн. наук, проф. (Москва)

Ярушкина Н.Г., д-р. техн. наук, проф. (Ульяновск)

Редколлегия

Главный редактор – Аверченков В.И. д-р. техн.
наук, проф.

Зам. главного редактора – Захарова А.А. д-р.
техн. наук, доц.

Зам. главного редактора – Подвесовский А.Г.
канд. техн. наук, доц.

Ответственный секретарь – Кузьменко А.А.

канд. биол. наук

Корректор – Андросов К.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 №ФС-77-73748 от 05 октября 2018 года

ISSN online: 2658-6436

Журнал включен в специализированный референтный библиографический сервис [CrossRef](https://crossref.org/)

Журнал публикует основные результаты научных исследований по научным 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, 2021

AUTOMATION AND MODELING

SCIENTIFIC TECHNICAL
JOURNAL



in design and management

Issued since 2018

№ 1(11), 2021

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)

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)

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 – Zakharova A.A. D. Eng.,
Assoc. Prof.*

*Deputy Editor-in Chief Podvesovskiy A.G. Can. Eng.,
Assoc. Prof.*

Executive Secretary – Kuzmenko A.A. Can. Biol. Sc.

Corrector – Androsov K.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 management” is allowed only with the Editorial Board’s permission and a reference to the source of information

© Bryansk State Technical University, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

- Ширяев О.Б.** Математическое моделирование энергетических спектров, формирующихся при ускорении электронов релятивистски интенсивными гауссовскими и лагеровскими лазерными импульсами 4
- Реутов А.А.** Расчет и моделирование канатного механизма телескопической стрелы мобильного крана 13

Управление в социальных и экономических системах

- Аверченкова Е.Э., Аверченков А.В., Пугач Л.И.** Синергетический эффект в системе управления региональной социально-экономической системой 23
- Егоров М.К., Фефанов А.Н.** Повышение эффективности деятельности предприятия на основе применения метода дерева решений 29
- Карпенко Е.В., Симутин М.С.** Методические особенности коллективно-синергетического подхода к природе лидерства 35
- Кулагин А.К., Фефанов А.Н.** Повышение качества функционирования модулей технической поддержки ИТ-инфраструктуры 42

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

- Бушева А.Г., Фефанов А.Н.** Разработка алгоритма автоматизированной системы выбора эксперта для проведения корректировочных мероприятий по улучшению характеристик сверлильного кондуктора 52
- Акулов П.А., Сырых А.Д., Петрешин Д.И.** Алгоритмическое обеспечение автоматизированной установки измерения силы сочленения и расчленения контактов электрического соединителя 61

CONTENTS

Mathematical modeling, numerical methods and program complexes

- Shiryaev O.B.** Mathematical modeling of energy spectra formed at accelerating the electrons by relativistic intensive gaussian and laguerre laser pulses
- Reutov A.A.** Calculation and modeling of the telescopic boom rope mechanism of a mobile crane

Management in social and economic systems

- Averchenkova E.E., Averchenkov A.V., Pugach L.I.** Synergy effect in the control system of the regional socio-economic system
- Egorov M.K., Feofanov A.N.** Improving the efficiency of an enterprise based on the use of the decision tree method
- Karpenko E.V., Simutin M.S.** Methodological features of the collective-synergetic approach to the nature of leadership
- Kulagin A.K., Feofanov A.N.** Improving the quality of functioning of the technical support modules of it infrastructure

Automation and control of technological processes and production, automated design systems

- Busheva A.G., Feofanov A.N.** Development of an algorithm of an automated system for selecting an expert for conducting correction measures to improve the performance of a drilling conductor
- Akulov P.A., Syrykh A.D., Petreshin D.I.** Algorithmic support of automated installation for measuring the force of connection and distribution of electric connector contacts

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

УДК: 533.951

DOI:10.30987/2658-6436-2021-1-4-12

О. Б. Ширяев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПРИ УСКОРЕНИИ ЭЛЕКТРОНОВ РЕЛЯТИВИСТИКИ ИНТЕНСИВНЫМИ ГАУССОВСКИМИ И ЛАГЕРРОВСКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Построена математическая модель, описывающая распространения лазерных импульсов в вакууме с учетом поправок, обусловленных их конечной длительностью. На ее основе с помощью релятивистских уравнений Ньютона с соответствующей силой Лоренца осуществлено моделирование энергетических спектров ансамбля электронов релятивистски интенсивным лазерным излучением. Характеристики данных спектров исследовались для случаев гауссовских и лагерровских оптических импульсов. Электронные спектры в фиксированных угловых диапазонах локализуются вокруг релятивистских максимумов в случае гауссовских импульсов, но существенно немонотонны в случае лагерровских импульсов.

Ключевые слова: релятивистская интенсивность, волновой пакет, энергетические спектры электронов.

O.B. Shiryayev

MATHEMATICAL MODELING OF ENERGY SPECTRA FORMED AT ACCELERATING THE ELECTRONS BY RELATIVISTIC INTENSIVE GAUSSIAN AND LAGUERRE LASER PULSES

A mathematical model is constructed that describes the propagation of laser pulses in vacuum, taking into account the corrections due to their finite duration. On its basis, using Newton relativistic equations with the corresponding Lorentz force, the energy spectra of an ensemble of electrons are simulated by relativistically intense laser radiation. The characteristics of these spectra are studied for the cases of Gaussian and Laguerre optical pulses. Electronic spectra in the fixed angular ranges are localized around the relativistic maxima in the case of Gaussian pulses, but are substantially non-monoenergetic in the case of Laguerre pulses.

Keywords: relativistic intensity, wave packet, electron energy spectra.

Введение

В последние два десятилетия проблематика взаимодействия релятивистски интенсивного лазерного излучения с веществом и математического моделирования реализующихся при этом нелинейных процессов заняла одно из центральных мест в современной физике [1, 2]. К релятивистскому диапазону относятся чрезвычайно высокие интенсивности лазерного излучения, соответствующие электромагнитным полям, под действием которых электроны ускоряются до скоростей, сравнимых со скоростью света, причем, соответственно, их динамика становится релятивистской. Пороговое значение

релятивистской интенсивности определяется как

$$I_r = \frac{m^2 c^3 \omega^2}{8\pi e^2},$$

где m и e - масса и величина заряда электрона, ω - частота осцилляций электромагнитного поля. В зависимости от длины волны излучения λ данная величина составляет $1.37 \times 10^{18} (1/\lambda[\mu])^2$ Вт/см². Следует отметить, что в настоящее время лазерные системы ряда ведущих лабораторий располагают установками, генерирующими импульсы с интенсивностями, превосходящими релятивистский порог на несколько порядков. Эффекты, возникающие при взаимодействии лазерных импульсов релятивистской интенсивности с веществом, рассматриваются в качестве возможной основы для многочисленных приложений, среди которых особый интерес представляет создание лазерных ускорителей электронов. Предполагается, что такие системы станут реальной альтернативой используемым в настоящее время чрезвычайно громоздким и затратным традиционным ускорителям. В связи с этим большой интерес представляют математическое моделирование энергетических характеристик ускоряемых лазерными импульсами релятивистской интенсивности электронных пучков и, в частности, анализ факторов, ограничивающих их моноэнергетичность.

Схемы лазерного ускорения электронов оптическими импульсами сверхвысокой интенсивности основываются либо на конверсии энергии электромагнитного поля в энергию так называемых плазменных кильватерных полей, формирующихся в плазме в силу коллективных гидродинамических и кинетических эффектов [3-6], либо на непосредственном захвате и ускорении электронов распространяющимся электромагнитным полем в вакууме [7]. На практике второй из перечисленных выше подходов реализуется в форме инжекции электронных пучков низкой плотности в фокальное пятно лазерного импульса. В качестве оптического драйвера процесса ускорения используются сфокусированные лазерные импульсы, которые, как известно, имеют форму волновых пакетов, длительность которых перекрывает большое количество осцилляций оптического поля [8-15] (в качестве альтернативы развивается также концепция ускорения электронов различными интерференционными полями высокой интенсивности – см., например, [16, 17]).

Математическому моделированию динамики электрона в поле электромагнитного волнового пакета релятивистской интенсивности посвящен целый ряд работ, в которых показано, что в процессе ускорения электрон захватывается лазерным импульсом, движется с ним со скоростью, близкой к скорости света, постепенно вытесняется из области локализации интенсивного оптического поля под действием пондеромоторной силы, а после окончания взаимодействия высвобождается с существенной дополнительной кинетической энергией. Соответственно, в целом при математическом моделировании динамики электрона необходимым элементом является теория распространения сфокусированного электромагнитного волнового пакета в вакууме. В относительно простом варианте такая теория была построена путем решения уравнений Максвелла при помощи многомасштабного асимптотического метода в работе [18]. Как показано ниже, данное разложение в действительности требует существенного уточнения с целью учета конечной и в реальных условиях весьма малой длительности лазерного импульса.

В одной из экспериментальных работ, посвященных ускорению электронов лазерными импульсами релятивистской интенсивности, при интенсивности 10^{20} В/см² и длительности 30 фемтосекунд были измерены протяженные энергетические спектры рассеиваемых оптическим полем электронов, которые, по крайней мере при некоторых углах наблюдения, перекрывали как существенно релятивистские, так и субрелятивистские диапазоны энергий заряженных частиц [19]. При этом детальный анализ структуры фокального пятна лазерного импульса выявил наличие кольцевых компонент в распределении интенсивности поля, что в целом характерно для так называемых лагеровских пучков, описываемых полиномами Лагерра [20].

В настоящей работе в рамках численного моделирования на основе уточненной математической модели получено объяснение эффекта, наблюдавшегося экспериментально в [19]. Результаты описываемых ниже расчетов на основе уточненной модели показывают, каким образом регистрируемые в эксперименте энергетические спектры ускоряемых лазерными импульсами релятивистской интенсивности электронов формируются под действием оптических пучков лаггерровской структуры, предполагающей наличие высокого пика и менее выраженной кольцеобразной периферии в распределении интенсивности. Ниже представлена построенная на основе уравнений Максвелла для электромагнитного поля в вакууме общая математическая модель распространения сфокусированного волнового пакета, при чем в этой модели учтены существенные поправки высших порядков по малому параметру, равному отношению длины волны лазерного импульса к размеру фокального пятна. Эта модель пригодна для описания общего случая электромагнитного излучения, представляющего собой суперпозицию лаггерровских мод различных порядков. Численное моделирование динамики электронов в мощном оптическом поле произведено на ее основе путем решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений большой размерности. Нелинейность в данных уравнениях обусловлена как присутствием зависящих от искоемых величин массовых множителей, так и структурой распределения электромагнитного поля, порождающего соответствующую силу Лоренца. В алгоритме решения дифференциальных уравнений использовались адаптивные шаги с контролем точности и схема Адамса различных порядков. При постановке задачи генерировались случайные начальные условия. Математическое моделирование позволило продемонстрировать влияние структуры распределения электромагнитного поля на характер соответствующих электронных энергетических спектров.

Математическая модель распространения сфокусированного электромагнитного волнового пакета в вакууме и релятивистской динамики электрона под его воздействием

Рассмотрим уравнения Максвелла (в кулоновской калибровке) для векторного потенциала электромагнитного поля в вакууме:

$$\Delta A - \partial_t^2 A = 0, \quad (\nabla, A) = 0, \quad (1)$$

здесь $\nabla = (\partial_x, \partial_y, \partial_z)$. Координаты и время в уравнениях (1) нормированы на w_0 и w_0/c , где c - скорость света, а w_0 - параметр, который в рассматриваемом случае целесообразно положить равным размеру фокального пятна сфокусированного лазерного импульса. Векторный потенциал в уравнениях (1) нормирован на mc^2/e . Полагая, что лазерное излучение поляризовано линейно, будем считать, что $A_y \equiv 0$, а решения уравнений (1) искать в виде:

$$A_x = \exp\left(i \frac{t-z}{\epsilon}\right) \left(a(\tau, x, y, s) + \sum_{m=1}^{\infty} \epsilon^m a_{x,m}(\tau, x, y, s) \right) + c. c., \quad (2)$$

$$A_z = \exp\left(i \frac{t-z}{\epsilon}\right) \sum_{m=1}^{\infty} \epsilon^m a_{z,m}(\tau, x, y, s) + c. c., \quad (3)$$

где асимптотические переменные определяются как $\tau = 2\epsilon z$, $s = t - z$, $\epsilon = \lambda/(2\pi w_0)$, а λ - длина волны лазерного импульса. Так как в случае волнового пакета его апертура значительно превосходит длину волны, величина ϵ является малым параметром. При подстановке уравнений (2) и (3) в первое из уравнений (1) в нулевом и первом порядках по малому параметру получаются уравнения шредингеровского типа для огибающей волнового пакета и поправки к задающему ее выражению:

$$-4i \partial_\tau a + \Delta_\perp a = 0, \quad (4)$$

$$-4i \partial_\tau a_{x,1} + \Delta_\perp a_{x,1} = 4 \partial_{\tau s}^2 a. \quad (5)$$

Выше использовано обозначение: $\Delta_\perp = \partial_x^2 + \partial_y^2$. Решения уравнений (4) и (5), а также решение уравнения калибровки (3), имеют вид

$$a(\tau, x, y, s) = a_0(s)u(\tau, x, y), \quad (6)$$

$$a_{x,1}(\tau, x, y, s) = ia'_0(s) \partial_\tau (tu(\tau, x, y)), \quad (7)$$

$$a_{z,1}(\tau, x, y, s) = -ia_0(s) \partial_x u(\tau, x, y), \quad (8)$$

где функция $u(\tau, x, y)$ является решением уравнения (4). Следует отметить, что уравнением (7) определяется поправка первого порядка к выражению для составляющей электромагнитного поля, поперечной по отношению к направлению его распространения. Очевидно, возникновение данной поправки обусловлено учетом конечности длительности импульса. В пределе непрерывного лазерного излучения рассматриваемая модель упрощается и переходит в модель распространения лазерного излучения в вакууме, использовавшуюся в [15]. В модели работ [18, 19] данная поправка также отсутствовала.

В случае осевой симметрии распределения интенсивности лазерного излучения простейшее из существующих решений задает гауссовский импульс и определяется выражением:

$$u(\tau, x, y) = \frac{\Lambda(\tau, r)}{\sqrt{\tau^2 + 1}} \exp(i\psi(\tau, r)),$$

$$\Lambda(\tau, r) = \exp\left(-\frac{r^2}{\tau^2 + 1}\right), \quad \psi(\tau, r) = -\frac{\tau r^2}{\tau^2 + 1} + \arctan(\tau).$$

В более общем случае решения уравнения (4) соответствуют так называемым лагерровским пучкам:

$$u = \frac{2^{1/2} \left(\frac{r}{\sqrt{\tau^2 + 1}}\right)^l \sin(l\varphi + \varphi_0) L_\delta^l\left(\frac{2r^2}{\tau^2 + 1}\right) \exp\left(i(2\delta + l + 1) \tan^{-1}(\tau) - \frac{r^2(1 + i\tau)}{\tau^2 + 1}\right)}{\sqrt{\tau^2 + 1}}.$$

Выше L_δ^l – полином Лагерра, $\varphi = \arctan(y/x)$, а φ_0 – константа интегрирования. Общее же решение рассматриваемой задачи представляет собой суперпозицию лагерровских мод. Выражение для гауссовского импульса получается из приведённого выше решения при $l = 0$ и $\delta = 0$.

В целом, уравнения (2)-(3) и (6)-(8) задают приближения нулевого и первого порядков для решений уравнений Максвелла, описывающих распространение электромагнитного волнового пакета в вакууме. В принципе, изложенный подход может быть распространен на приближения более высоких порядков.

На основе выражений для электромагнитного поля (2)-(3) и (6)-(8) может быть составлено релятивистское уравнение Ньютона для электрона, движущегося под действием соответствующей силы Лоренца:

$$p_t = -(E + \gamma^{-1} \mathbf{p} \times \mathbf{H}), \quad (9)$$

где импульс электрона считается нормированным на mc . Выше $E = -\partial_t A$ и $\mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{A}$ – электрическое и магнитное поля лазерного излучения, нормированные на $mc^2/(e\omega_0)$, а $\gamma = \sqrt{1 + p^2}$ – релятивистский массовый множитель. В настоящей работе уравнение (9) решается численно для массива случайных начальных условий для инжектируемых в фокальную область лазерного излучения электронов, что позволяет, в конечном итоге, вычислить их распределения по энергиям после взаимодействия с оптическим полем.

Результаты математического моделирования энергетических спектров электронов, формирующиеся в результате их ускорения лазерными импульсами релятивистской интенсивности

Будем считать, что временной профиль лазерного излучения имеет вид:

$$a_0(s) = ge^{-\frac{1}{2}\left(\frac{s-z_d}{\tau_0}\right)^2},$$

где τ_0 и z_d - длительность лазерного импульса и начальное расстояние до ускоряемого электрона, нормированные, соответственно, на w_0/c и w_0 . В представленных ниже результатах моделирования z_d считается сравнительно большой величиной. Параметр g и пиковая интенсивность лазерного излучения I связаны соотношением $g = \sqrt{I/I_r}/\epsilon$.

Как было показано ранее [15], электрон, взаимодействующий с сфокусированным лазерным импульсом, захватывается оптическим полем, ускоряется, а затем выпадает из апертуры лазерного импульса в результате поперечного пондеромоторного дрейфа и движется прямолинейно под некоторым углом к направлению распространения лазерного излучения с кинетической энергией, которая может достигать уровня нескольких энергий покоя частицы. В случае электронного пучка, т.е. ансамбля электронов, плотность которого достаточно низка, чтобы было допустимо пренебречь его внутренними кулоновскими взаимодействиями, по результатам моделирования траекторий электронов можно определить, какие из них после взаимодействия попадают в заданные диапазоны углов, и для этих углов построить электронные энергетические спектры, т.е. распределения частиц по их остаточным кинетическим энергиям.

Типичные результаты математического моделирования электронных энергетических спектров при взаимодействии электронных пучков с релятивистски интенсивным лазерным излучением представлены на рис. 1 и 2. Расчеты выполнены для лазерных импульсов с пиковой интенсивностью $50 I_r$, длительностью, составляющей 11.24 оптических циклов, и радиусом фокального пятна, равным 2.75 длинам волн (параметры эксперимента, о котором сообщалось в [19] - оптический цикл излучения мощной лазерной установки составляет 2.7 фемтосекунды, а длина волны – 0.7 микрона). Распределения амплитуд при этом являются гауссовским в случае, отображённом на рис. 1, и лаггерровским ($l = 0$ и $\delta = 0$ в уравнении лаггерровской моды), состоящим из центрального пика и кольца – на рис. 2. Задача состоит, в конечном итоге, в оценке влияния структуры амплитудного распределения оптического поля на энергетические спектры ускоряемых электронов. Угловые диапазоны в рассматриваемых случаях выбраны так, чтобы в наибольшей степени выявить типичные черты данных спектров. На рис. 1 представлены данные для угловых диапазонов (a) 40° - 50° ; (b) 50° - 60° ; (c) 60° - 70° ; (d) 70° - 80° , а на рис. 2 – для угловых диапазонов (a) 10° - 20° ; (b) 30° - 40° ; (c) 40° - 50° . Из финальных результатов удалены электроны с энергиями шумового уровня ($\leq 0.001mc^2$), а показанные на рисунках результаты получены путем интерполяции дискретных расчетных данных.

Основной вывод, следующий из сравнения рис. 1 и 2, состоит в том, что рассматриваемым типам распределений амплитуд лазерных импульсов соответствуют принципиально различные паттерны в энергетических спектрах ускоряемых ими электронов. В случае гауссовского импульса, угловой диапазон, в котором обнаруживаются электроны с наибольшими энергиями, охватывает поток электронов с единственным пиком в распределении по энергиям и достаточно четкой локализацией вокруг него, что хорошо прослеживается на рис. 2(a). Аналогичный эффект локализации, но вокруг пика, соответствующего меньшей энергии, имеет место и в смежном угловом диапазоне, как показано на рис. 2(b). При больших углах, к которым относятся результаты расчётов, визуализированные на рис. 2(c) и 2(d), в общей картине доминируют низкоэнергетичные электроны, а их распределение является пологим. На вставках на рис. 2(c) и 2(d) те же

данные представлены в полулогарифмическом масштабе, в котором становится очевиден почти экспоненциальный характер построенных распределений.

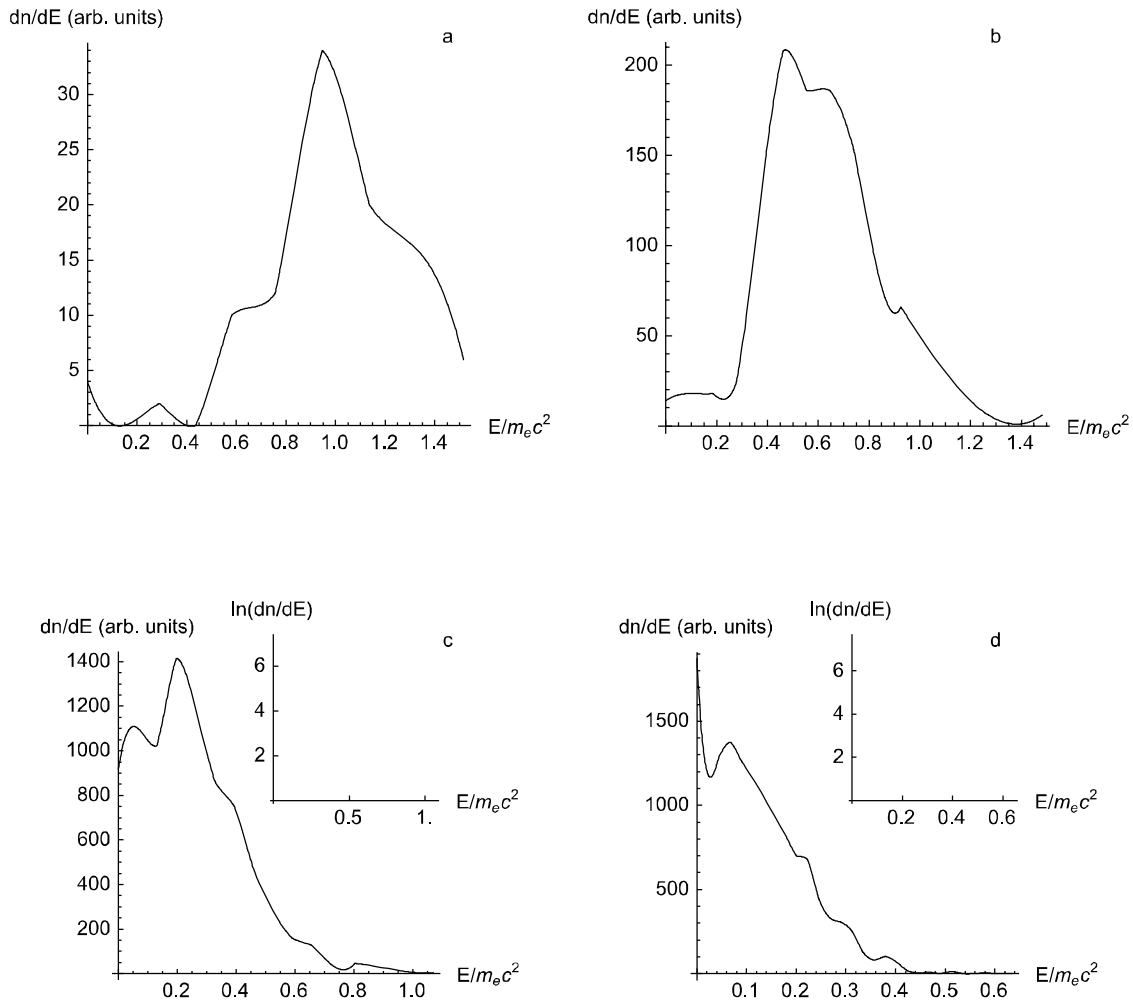


Рис. 1. Расчётные энергетические спектры электронов, ускоренных гауссовским лазерным импульсом с интенсивностью $50 I_r$, длительностью, составляющей 11.24 оптических циклов, и радиусом фокального пятна, равным 2.75 длинам волн. Спектры вычислены для электронов, в результате взаимодействия с лазерным излучением отклонившихся от оси его распространения на углы в диапазонах (а) $40^\circ-50^\circ$; (b) $50^\circ-60^\circ$; (с) $60^\circ-70^\circ$; (d) $70^\circ-80^\circ$. На вставках на рис. (с) и (d) данные спектры, имеющие экспоненциальный характер, также представлены в полулогарифмическом масштабе

Напротив, при наличии лаггеровского пучка в различных угловых диапазонах прослеживаются энергетические спектры электронов, сочетающие в себе высокоэнергетичные и относительно низкоэнергетичные составляющие. В некоторых случаях сами пики, соответствующие релятивистским энергиям электронов, оказываются структурированными, как, например, на рис. 3(b), на котором присутствует раздвоенный пик. Низкоэнергетичные части соответствующих распределений показаны в полулогарифмическом масштабе на вставках на рис. 3(a, b, c) и также носят экспоненциальный характер.

Следует отметить, что построенная по итогам моделирования общая картина энергетических спектров электронов при их ускорении лаггеровскими лазерными импульсами в значительной степени воспроизводит экспериментальные результаты, о которых сообщалось в [19]. При этом и фотография фокального пятна в данном

эксперименте содержала следы наличия соответствующей лаггеровской амплитуде кольцевой структуры. В частности, обнаруженные при моделировании максимумы распределений, примерно соответствующие энергиям 2.2 мс^2 и 4.6 мс^2 , согласуются с экспериментальными замерами с погрешностью менее 0.5 мс^2 .

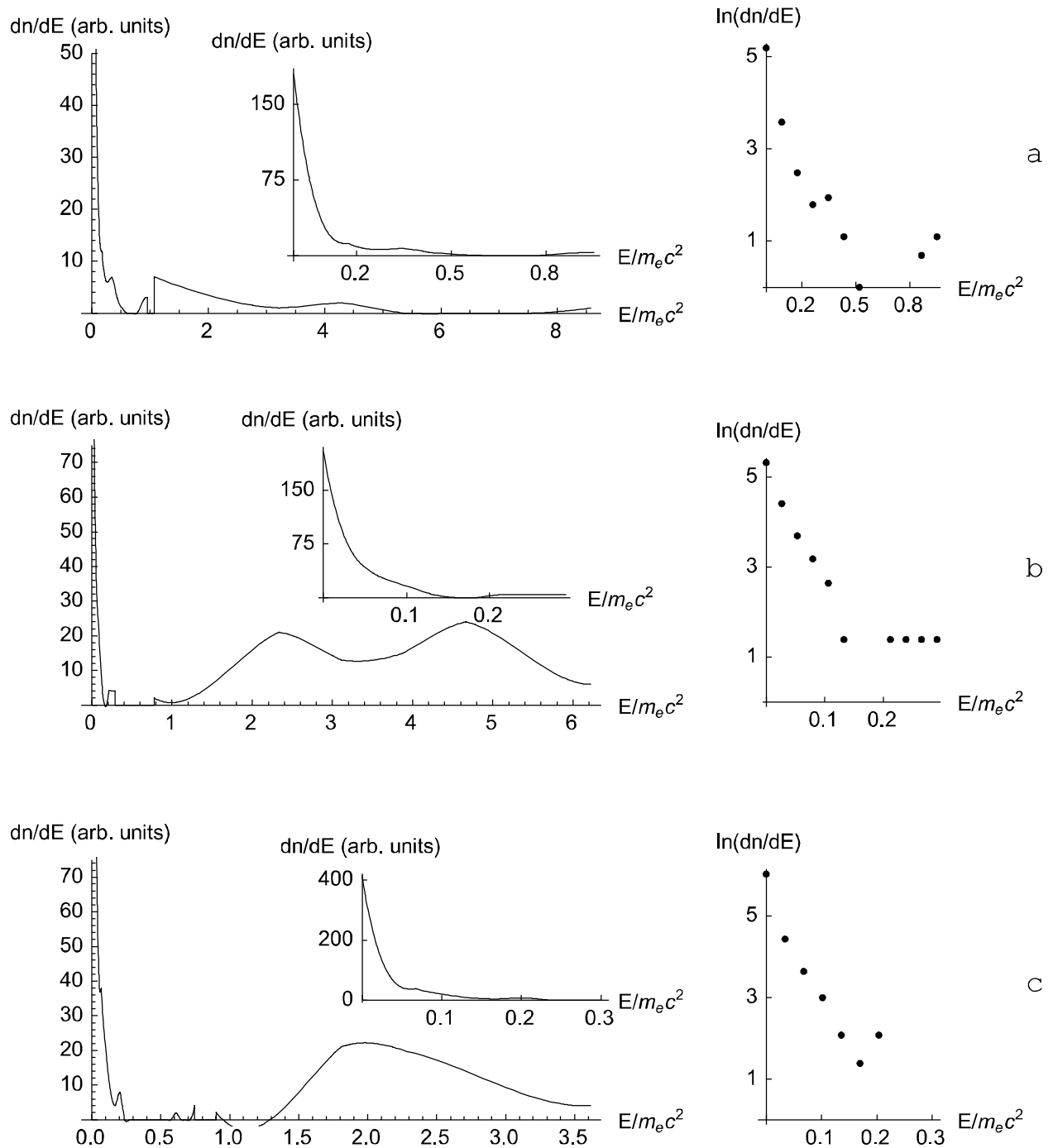


Рис. 2. Расчётные энергетические спектры электронов, ускоренных лаггеровским лазерным импульсом с интенсивностью $50 I_r$, длительностью, составляющей 11.24 оптических циклов, и радиусом фокального пятна, равным 2.75 длинам волн. Спектры вычислены для электронов, в результате взаимодействия с лазерным излучением отклонившихся от оси его распространения на углы в диапазонах (а) 10° - 20° ; (b) 30° - 40° ; (с) 40° - 50° . Для каждого диапазона углов представлены спектр с отфильтрованной низкоэнергетической составляющей, вставка с изображением спектра субрелятивистских электронов и те же данные в полулогарифмическом масштабе

Выводы

В рамках вычислительного эксперимента осуществлено математическое моделирование энергетических спектров электронов, ускоряемых сфокусированными лазерными импульсами релятивистской интенсивности и рассеиваемых при этом в различные диапазоны углов по отношению к оси распространения оптического поля. Динамика электронов рассчитывалась путем решения, при рандомизированных начальных условиях, релятивистских уравнений Ньютона с силой Лоренца, порождаемой распространяющимся в вакууме электромагнитным излучением. При помощи специально разработанного асимптотического метода из уравнений Максвелла выведена математическая модель распространения сфокусированных электромагнитных волновых пакетов, при чем в данной модели осуществлен учет асимптотических поправок, описывающих эффекты, обусловленные малой длительностью импульсов, а также продольное электромагнитное поле, формирующееся в результате острой фокусировки. Данная модель применена для описания динамики электронов как под действием гауссовских импульсов, так и структурно более сложных лаггерровских мод. Дифференциальные уравнения, описывающие динамику электронов, решались методом Адамса различных порядков.

Моделирование продемонстрировало существенные различия в характере энергетических спектров электронов, ускоряемых гауссовскими и лаггерровскими лазерными импульсами релятивистской интенсивности. В случае гауссовских импульсов энергетические спектры электронов обладают сравнительно большей моноэнергетичностью и, в угловых диапазонах, соответствующих наибольшему достигаемому энергиям, локализуются вокруг единственного пика. При ускорении электронов лаггерровскими импульсами формируются существенно немонаэнергетические спектры, включающие в себя два пика в релятивистском диапазоне энергий. Результат, относящийся к случаю лаггерровского лазерного импульса, с достаточной точностью согласуется с имеющимися экспериментальными данными.

Список литературы:

1. Mourou, G.A. Optics in the relativistic regime / G.A. Mourou // *Rev. Mod. Physics.* – 2006. – Vol.78. – P. 309-371.
2. Norreys, P.A. Intense laser-plasma interactions: New frontiers in high energy density physics / P.A. Norreys // *Phys. Plasmas* – 2009. – Vol.16. – P. 309-371.
3. Malka, V. Laser plasma accelerators/ V. Malka // *Phys. Plasmas.* – 2012. – Vol.19.
4. Esarey, E. Physics of laser-driven plasma-based electron accelerators / E. Esarey // *Rev. Mod. Physics.* – 2009. – Vol.8(1). – P. 1229-1285.
5. Mori, W.B. The development of laser- and beam-driven plasma accelerators as an experimental field / W.B. Mori // *Phys. Plasmas.* – 2007. – Vol.14.
6. Ohkubo, T. Wave-breaking injection of electrons to a laser wake field in plasma channels at the strong focusing regime / T. Ohkubo // *Phys. Plasmas.* – 2006. – Vol.13.
7. Wang, J. X. Electron capture and violent acceleration by an extra-intense laser beam / J.X. Wang // *Phys. Rev. E.* – 1998. – Vol.58.
8. Pang, J. Subluminous phase velocity of a focused laser beam and vacuum laser acceleration / J. Pang // *Phys. Rev. E.* – 2002. – Vol.66.
9. Kong, Q. Conditions for electron capture by an ultraintense stationary laser beam / Q. Kong // *Phys. Rev. E.* – 2000. – Vol.61.

References:

1. Mourou, G.A. Optics in the relativistic regime / G.A. Mourou // *Rev. Mod. Physics.* – 2006. – Vol.78. – P. 309-371.
2. Norreys, P.A. Intense laser-plasma interactions: New frontiers in high energy density physics / P.A. Norreys // *Phys. Plasmas* – 2009. – Vol.16. – P. 309-371.
3. Malka, V. Laser plasma accelerators/ V. Malka // *Phys. Plasmas.* – 2012. – Vol.19.
4. Esarey, E. Physics of laser-driven plasma-based electron accelerators / E. Esarey // *Rev. Mod. Physics.* – 2009. – Vol.8(1). – P. 1229-1285.
5. Mori, W.B. The development of laser- and beam-driven plasma accelerators as an experimental field / W.B. Mori // *Phys. Plasmas.* – 2007. – Vol.14.
6. Ohkubo, T. Wave-breaking injection of electrons to a laser wake field in plasma channels at the strong focusing regime / T. Ohkubo // *Phys. Plasmas.* – 2006. – Vol.13.
7. Wang, J. X. Electron capture and violent acceleration by an extra-intense laser beam / J.X. Wang // *Phys. Rev. E.* – 1998. – Vol.58.
8. Pang, J. Subluminous phase velocity of a focused laser beam and vacuum laser acceleration / J. Pang // *Phys. Rev. E.* – 2002. – Vol.66.
9. Kong, Q. Conditions for electron capture by an ultraintense stationary laser beam / Q. Kong // *Phys. Rev. E.* – 2000. – Vol.61.

10. Wang, P.X. Vacuum electron acceleration by an intense laser / P.X.Wang // Appl. Phys. Lett. –2001. – Vol.78
11. Salamin, Y.I. Electron scattering and acceleration by a tightly focused laser beam. / Y.I. Salamin // Phys. Rev. E ST. – 2002. – Accel. Beams 5
12. Wang, P.X. Characteristics of laser-driven electron acceleration in vacuum / P.X.Wang // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol.91
13. Payeur, S. Generation of a beam of fast electrons by tightly focusing a radially polarized ultrashort laser pulse / S.Payeur // Appl. Phys. Lett. – 2012. – Vol.101.
14. Cao, N. Output features of vacuum laser acceleration / N. Cao // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92.
15. Galkin, A.L. Dynamics of an electron driven by relativistically intense laser radiation / A.L.Galkin // Phys. Plasmas . – 2008. – Vol. 15
16. Galkin, A.L. Acceleration of electrons to high energies in the field of a standing wave generated by counterpropagating intense laser pulses with tilted amplitude fronts / A.L.Galkin // Phys. Plasmas . – 2012. – Vol. 19
17. Korobkin, V.V. Concept of generation of extremely compressed high-energy electron bunches in several interfering intense laser pulses with tilted amplitude fronts / V.V. Korobkin // Laser and Particle Beams . – 2013. – Vol. 31.
18. Quesnel, B. Theory and simulation of the interaction of ultraintense laser pulses with electrons in vacuum / B. Quesnel, P. Mora // Phys. Rev. E. – 1998. – Vol. 58.
19. Kalashnikov, M. Diagnostics of peak laser intensity based on the measurement of energy of electrons emitted from laser focal region / M. Kalashnikov // Laser and Particle Beams . – 2015. – Vol. 33.
20. Yariv, A. Quantum Electronics / A. Yariv // NY, Wiley. – 1989.
10. Wang, P.X. Vacuum electron acceleration by an intense laser / P.X.Wang // Appl. Phys. Lett. –2001. – Vol.78
11. Salamin, Y.I. Electron scattering and acceleration by a tightly focused laser beam. / Y.I. Salamin // Phys. Rev. E ST. – 2002. – Accel. Beams 5
12. Wang, P.X. Characteristics of laser-driven electron acceleration in vacuum / P.X.Wang // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol.91
13. Payeur, S. Generation of a beam of fast electrons by tightly focusing a radially polarized ultrashort laser pulse / S.Payeur // Appl. Phys. Lett. – 2012. – Vol.101.
14. Cao, N. Output features of vacuum laser acceleration / N. Cao // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92.
15. Galkin, A.L. Dynamics of an electron driven by relativistically intense laser radiation / A.L.Galkin // Phys. Plasmas . – 2008. – Vol. 15
16. Galkin, A.L. Acceleration of electrons to high energies in the field of a standing wave generated by counterpropagating intense laser pulses with tilted amplitude fronts / A.L.Galkin // Phys. Plasmas . – 2012. – Vol. 19
17. Korobkin, V.V. Concept of generation of extremely compressed high-energy electron bunches in several interfering intense laser pulses with tilted amplitude fronts / V.V. Korobkin // Laser and Particle Beams . – 2013. – Vol. 31.
18. Quesnel, B. Theory and simulation of the interaction of ultraintense laser pulses with electrons in vacuum / B. Quesnel, P. Mora // Phys. Rev. E. – 1998. – Vol. 58.
19. Kalashnikov, M. Diagnostics of peak laser intensity based on the measurement of energy of electrons emitted from laser focal region / M. Kalashnikov // Laser and Particle Beams . – 2015. – Vol. 33.
20. Yariv, A. Quantum Electronics / A. Yariv // NY, Wiley. – 1989.

Статья поступила в редколлегию 11.11.2020.

Рецензент:

канд. техн. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Подвесовский А.Г.

Статья принята к публикации 28.11.2020.

Сведения об авторах

Ширяев Олег Борисович

доктор физико-математических наук, профессор РАН,
ведущий научный сотрудник Института общей
физики им. А.М. Прохорова РАН
E-mail: DrOlegBShiryaev@gmail.com

Information about authors:

Shiryaev O.B.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher
at the Institute of General Physics named after A.M.
Prokhorov RAS
E-mail: DrOlegBShiryaev@gmail.com

УДК: 621.873

DOI: 10.30987/2658-6436-2021-1-13-22

А. А. Реутов

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАТНОГО МЕХАНИЗМА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ МОБИЛЬНОГО КРАНА

Проведен силовой анализ и компьютерное моделирование движения канатного механизма телескопической стрелы с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» с учетом механических характеристик канатов, секций стрел и их контактного взаимодействия. Получены зависимости для расчета предварительного натяжения канатов, установлены закономерности работы канатного механизма телескопической стрелы крана.

Ключевые слова: телескопическая стрела, канатный механизм, динамическая модель, универсальный механизм.

A.A. Reutov

CALCULATING AND MODELING ROPE MECHANISM OF A MOBILE CRANE TELESCOPIC BOOM

Power analysis and computer modeling of moving the telescopic boom rope mechanism using the “Universal Mechanism” software package, considering the mechanical characteristics of the ropes, boom sections and their contact interaction, have been carried out. The dependences for calculating the preliminary tension of the ropes are obtained, the regularities of operating the cable mechanism of the crane telescopic boom are established.

Keywords: telescopic boom, rope mechanism, dynamic model, universal mechanism.

Введение

Телескопические стрелы с гидравлическим приводом нашли широкое применение в современных мобильных грузоподъемных кранах. В России наиболее распространены мобильные краны грузоподъемностью 25...50 т и высотой подъема до 50 м (при использовании съемных удлинителей стрелы) с трех- и четырехсекционными стрелами, оснащенными канатным механизмом.

В [1] получена математическая модель для статического расчета телескопической стрелы с канатным механизмом. Система уравнений позволяет рассчитывать усилия гидроцилиндра и канатов механизма, силы давления и трения в опорах скольжения без учета сил инерции. Показано, что максимальные усилия гидроцилиндра и каната выдвижения секций необходимо рассчитывать из условия удержания секций стрелы с максимально разрешенным грузом; предварительное натяжение каната втягивания секций должно обеспечивать его растяжение при максимальном угле наклона стрелы.

В [2] разработана компьютерная многомассовая динамическая модель трехсекционной телескопической стрелы без канатного механизма в среде программного комплекса «Универсальный механизм» (УМ). Каждую секцию стрелы перемещает собственный гидроцилиндр. В результате моделирования получены зависимости усилий гидроцилиндров при равномерном выдвижении и втягивании секций, разной длине и углах наклона стрелы.

Одним из наиболее опасных видов отказов грузоподъемных кранов с телескопической стрелой является поломка канатного механизма. В [3] указано, что авария может произойти при подъеме стрелы вследствие неконтролируемого движения секций с ударом и разрушением.

Важным вопросом проектирования и эксплуатации телескопических стрел с канатным механизмом является расчет правильного предварительного натяжения канатов, обеспечивающего надежную работу телескопической стрелы на всех режимах, а также моделирование неисправностей телескопических стрел. Для этого необходимы силовой анализ и компьютерное моделирование движения канатного механизма телескопической стрелы как динамической системы с учетом механических характеристик канатов, секций и их контактного взаимодействия.

Статический расчет канатного механизма

Канатный механизм трехсекционной телескопической стрелы, применяемый на многих мобильных кранах, содержит канат выдвижения и канат втягивания секции 3 [4]. Секция 1 закреплена на поворотной платформе крана. Секция 2 перемещается относительно секции 1 гидроцилиндром. Секция 3 установлена внутри секции 2 и перемещается канатами выдвижения и втягивания.

Канат выдвижения имеет две ветви, расположенные в вертикальной плоскости. Оба конца каната выдвижения закреплены на секции 1 натяжителями (рис. 1).

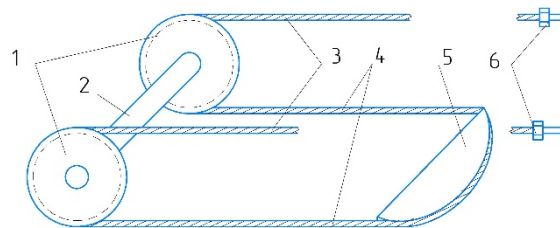


Рис. 1. Схема запасовки каната выдвижения: 1 – шкивы блока каната выдвижения, 2 – ось блока, 3 – верхняя ветвь каната выдвижения, 4 – нижняя ветвь каната выдвижения, 5 – полужкив секции 2, 6 – натяжители каната

Канат втягивания охватывает шкив блока, закрепленного на секции 2. Конец верхней ветви каната выдвижения закреплен на секции 3, конец нижней ветви - на секции 1 посредством натяжителя (рис. 2).

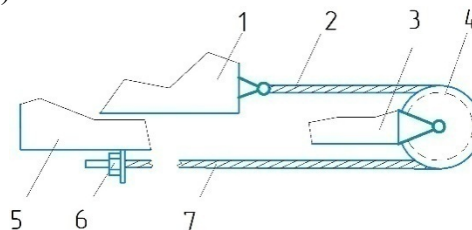


Рис. 2. Схема запасовки каната втягивания: 1 – секция 3, 2 – верхняя ветвь каната втягивания, 3 – секция 2, 4 – блок, 5 – секция 1, 6 – натяжитель каната, 7 – нижняя ветвь каната втягивания

Натяжение канатов должно быть в допустимых пределах при всех режимах работы. Превышение максимального допустимого значения силы натяжения приводит к разрушению каната или закреплению его концов. Снижение силы натяжения меньше минимально допустимого значения приводит к соскакиванию каната с блока механизма.

Уравнения Даламбера для 3-й секции стрелы с полиспастом и крюковой подвеской с грузом имеет вид

$$2S_1 - S_2 + F = 0. \quad (1)$$

Здесь S_1 – сила натяжения каната выдвижения, S_2 – сила натяжения каната втягивания,

F – проекция главного вектора внешних сил, сил трения и сил инерции на продольную ось y 3-й секции (рис. 3).

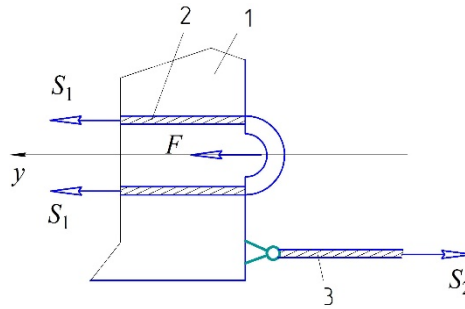


Рис. 3. Схема сил, действующих на секцию 3 (1 – секция 3, 2 – канат выдвижения, 3 – канат втягивания)

$$F = S_k + F_{in} + F_3 + (G_n + G_3) \sin \beta,$$

где S_k – сила натяжения верхней ветви грузового каната; F_3 и F_{in} – проекции главных векторов сил трения и сил инерции на продольную ось y 3-й секции; G_n – вес полиспаста и крюковой подвески с грузом, G_3 – вес 3-й секции, β – угол наклона стрелы к горизонту.

Из уравнения (1) следует, что силы натяжения канатов могут изменяться при изменении сил трения, инерции и др. Выразим силы натяжения канатов выдвижения и втягивания через абсолютное удлинение половины каната выдвижения X

$$S_1 = S_{10} + C_1 X, \quad S_2 = S_{20} - C_2 X. \quad (2)$$

Здесь S_{10} и S_{20} – предварительное натяжение канатов выдвижения и втягивания, C_1 и C_2 – жесткость на растяжение половины каната выдвижения и каната втягивания.

$$C_1 = 2E_1 / l_1, \quad C_2 = E_2 / l_2,$$

где, E_1 и E_2 – жесткости канатов выдвижения и втягивания на растяжение, l_1 и l_2 – длины канатов выдвижения и втягивания.

После предварительного натяжения примем $X = 0$, тогда из уравнения (1) следует, что

$$2S_{10} - S_{20} + F_0 = 0,$$

где F_0 – проекция главного вектора F при предварительном натяжении канатов. (Теперь X – это абсолютное удлинение половины каната выдвижения после предварительного натяжения.)

Из уравнений (1) и (2) следует, что

$$S_1 = S_{10} + (F_0 - F)\lambda_1, \quad S_2 = S_{20} - (F_0 - F)\lambda_2,$$

где $\lambda_1 = C_1 / (2C_1 + C_2)$ и $\lambda_2 = C_2 / (2C_1 + C_2)$.

Чтобы канат выдвижения оставался всегда натянутым, сила его предварительного натяжения S_{10} должна быть больше части λ_1 максимального для всех режимов увеличения проекции $(F - F_0)$. Аналогично, величина предварительного натяжения каната втягивания S_{20} должна быть больше части λ_2 максимального для всех режимов увеличения проекции $(F_0 - F)$.

$$S_{10} > (F - F_0)\lambda_1, \quad S_{20} > (F_0 - F)\lambda_2. \quad (3)$$

На заводе-изготовителе телескопическую стрелу собирают, регулируют натяжение канатов, а затем устанавливают на кран. При этом полиспаст и крюковая подвеска отсутствуют.

Если секции 2 и 3 не зафиксированы относительно секции 1, то при предварительном натяжении каната выдвижения секция 3 начинает выдвигаться, если выполняется условие (без учета сопротивления вращению канатных блоков, сил инерции и отсутствия эффекта заклинивания секций):

$$2S_1 > S_2 + G_3(\sin \beta + f_0 \cos \beta).$$

Здесь f_0 – коэффициент трения покоя в опорах скольжения секций.

При предварительном натяжении каната втягивания секция 3 начинает втягиваться, если выполняется условие (при тех же допущениях)

$$S_2 > 2S_1 + G_3(-\sin \beta + f_0 \cos \beta).$$

Секция 2 при этом остается неподвижной.

Таким образом, при натяжении каната выдвижения

$$F_0 = -G_3(\sin \beta + f_0 \cos \beta).$$

При натяжении каната втягивания

$$F_0 = G_3(-\sin \beta + f_0 \cos \beta).$$

Так при натяжении каната выдвижения ($\beta = 0$, $G_3 = 8,44$ кН, $f_0 = 0,15$) $F_0 = -1,27$ кН, при натяжении каната втягивания $F_0 = +1,27$ кН.

В табл. 1 приведены величины сил S_{10} и S_{20} при поочередном натяжении канатов выдвижения и втягивания без фиксации секций 2 и 3 и $F_0 = \pm 1,27$ кН.

Таблица 1. Величины сил S_{10} и S_{20} при поочередном натяжении канатов выдвижения и втягивания без фиксации секций 2 и 3

Номер шага	S_{10} , кН	S_{20} , кН
1	0,635/0	0/1,27
2	0,635/1,27	2,54/1,27
3	1,905/1,27	2,54/3,81
4	1,905/2,54	5,08/3,81

В числителях приведены значения S_{10} и S_{20} , если натяжение канатов начинают с каната выдвижения; в знаменателях – если натяжение канатов начинают с каната втягивания.

Из (3) следует, что S_{10} необходимо определять по наибольшей величине $F > 0$, а S_{20} по наименьшей величине $F < 0$. Ориентировочные значения S_{10} и S_{20} можно рассчитать без учета сопротивления вращению канатных блоков, сил инерции и отсутствия эффекта заклинивания секций. Например, при равномерном подъеме груза и втянутых секциях проекция F определяется формулой

$$F = -G_n K_n^{-1} \zeta_n^{-1} - (G_n + G_3)(\sin \beta - f_0 \cos \beta), \quad (4)$$

где K_n – кратность грузового полиспаста, ζ_n – коэффициент полезного действия полиспаста.

При подъеме максимально допустимого груза массой 25 т ($\beta = 77^\circ$, $G_n = 248,2$ кН,

$G_3 = 8,44$ кН, $f_0 = 0,15$, $\zeta_n = 0,95$, $K_n = 8$) $F = -274,1$ кН. При статических испытаниях механизма подъема ($G_n = 296,8$ кН) и $F = -326,1$ кН.

При равномерном вытягивании секций с допустимым грузом, минимальной длиной стрелы и небольшим углом β проекция F определяется формулой

$$F = -G_n K_n^{-1} \zeta_n + (G_n + G_3)(-\sin \beta + f_0 \cos \beta). \quad (5)$$

Вытягивание секций при отсутствии эффекта их заклинивания не создает существенных по величине проекций $F > 0$. Так при вытягивании секций с допустимым грузом массой 3 т ($\beta = 5^\circ$, $G_n = 32,4$ кН, $G_3 = 8,44$ кН, $f_0 = 0,15$, $\zeta_n = 0,95$, $K_n = 6$) $F = -2,59$ кН, при вытягивании секций без груза ($G_n = 2,94$ кН) $F = +0,24$ кН.

При $C_1 = 2,72$ кН/м и $C_2 = 1,61$ кН/м $\lambda_1 = 0,386$ и $\lambda_2 = 0,229$. Тогда $F = 0,24$ кН, $F_0 = -1,27$ кН и канату выдвижения необходимо предварительное натяжение $S_{10} > 0,58$ кН. Для каната вытягивания при $F = -326,1$ кН и $F_0 = 1,27$ кН необходимо предварительное натяжение $S_{20} > 75$ кН.

Из формул (3) и расчетов следует, что канату вытягивание необходимо большее предварительное натяжение, чем канату выдвижения, так как при статических испытаниях механизма подъема абсолютная величина F многократно больше, чем при вытягивании секций. Данные таблицы 1 показывают, что создать существенно разные предварительные натяжения канатов возможно лишь при фиксации секций 2 и 3. Однако, после снятия фиксации секция 3 втянется, а секция 2 выдвинется так, чтобы натяжения канатов уравнились и соответствовали уравнению (1) при $F = F_0$. Чтобы смещения секций 2 и 3 после снятия фиксации были небольшими, канат выдвижения необходимо дополнительно натянуть согласно (1) при $F = F_0$. Тогда для рассмотренного примера $S_{10} = 38,1$ кН.

Статический расчет ориентировочных значений S_{10} и S_{20} применим для начального этапа проектирования телескопической стрелы. Для окончательных проектных решений и проверки работоспособности необходимо компьютерное моделирование всех режимов работы телескопической стрелы.

Описание компьютерной модели телескопической стрелы

Для моделирования движения телескопической стрелы создана компьютерная модель трехсекционной стрелы в среде УМ. Компьютерная 2D-модель включает три секции стрелы, полиспаст с крюковой подвеской, груз, гидроцилиндр выдвижения секции 2, канатный механизм. Тела модели перемещаются в вертикальной плоскости уз. Силы и перемещения тел в направлении оси x не рассматриваются. Секция 1 может вращаться в вертикальной плоскости относительно оси крепления. Секции 2 и 3, полиспаст с крюковой подвеской, груз имеют три степени свободы.

Контактное взаимодействие каждой пары секций представлено 4 контактными силами «точка-плоскость», описанными в Руководстве пользователя УМ [5]. Силы трения F_{mp} в опорах скольжения секций выражена через коэффициент трения скольжения f и нормальные реакции N

$$F_{mp} = fN.$$

Величина коэффициента трения скольжения f зависит от скорости скольжения V_S . В модели принята экспоненциальная зависимость

$$f(V_S) = f_\infty + (f_0 - f_\infty) \exp(-V_S / v_{str}),$$

где f_0, f_∞ – коэффициенты трения при $V_S = 0$ и $V_S = \infty$; v_{str} – скорость Штрибека,

определяющая интервал экспоненциального уменьшения коэффициента трения.

Переход от трения скольжения к трению покоя происходит, если скорость скольжения меняет направление на противоположное.

Канаты выдвижения и втягивания в компьютерной модели представлены телами каната (ТК), соединенными упруго-диссипативными элементами. Необходимые количества ТК N_1 и N_2 определяются соотношениями длин канатов (l_1 и l_2) и диаметров блоков (D_1 и D_2).

Обозначим расстояние между соседними ТК в растянутом состоянии l_{01} и l_{02} . Если принять соотношения $D_1/l_{01} > 3$ и $D_2/l_{02} > 3$, то

$$N_1 > 3l_1 / D_1 \text{ и } N_2 > 3l_2 / D_2.$$

Жесткости канатов выдвижения и втягивания на растяжение, коэффициенты вязкости определяют по экспериментальным данным затухающих продольных колебаний образцов канатов с грузом на конце [6].

Для канатных блоков механизмов выдвижения и втягивания моменты сопротивления вращению M_{Ci} выражены через реакции подшипников блоков R_i

$$M_{Ci} = R_i D_i (1 - \zeta) / 2(1 + \zeta), \quad i = 1, 2. \quad (6)$$

где D_i – диаметр i -го канатного блока, R_i – реакция подшипников i -го блока, ζ – коэффициент полезного действия блока.

Моделирование грузового каната цепью ТК и упруго-диссипативных элементов приводит к усложнению модели при увеличении кратности полиспаста. Существенно упростить модель полиспаста можно, если не учитывать изменение массы и жесткости каната полиспаста при изменении его длины, а рассмотреть только изменение длины полиспаста [7]. В этом случае модель полиспаста включает верхний блок, соединенный с нижним блоком поступательным шарниром. При заторможенном барабане грузового каната поступательный шарнир обеспечивает изменение длины полиспаста Δ_n по закону

$$\Delta_n(t) = \Delta_b(t) / K_n, \quad (7)$$

где t – время, Δ_b – изменение длины стрелы.

Жесткость на растяжение и коэффициент диссипации полиспаста C_p и μ_p вычислялись для ветвей каната средней для рассматриваемой задачи длины полиспаста l_p

$$C_p = K_n E_k / l_p, \quad \mu_p = K_n \eta_k / l_p,$$

где E_k и η_k – жесткость на растяжение и коэффициент вязкости при растяжении грузового каната.

Поскольку полиспаст соединен последовательно со стропами, эквивалентная жесткость на растяжение одной стропы C_e , учитывающая жесткость на растяжение полиспаста, определяется выражением

$$C_e = C_p C_c N_c / (C_p + C_c N_c),$$

где N_c – количество строп в подвеске, C_c – жесткость на растяжение стропы.

Аналогично эквивалентный коэффициент диссипации стропы μ_e определяется выражением

$$\mu_e = \mu_p \mu_c N_c / (\mu_p + \mu_c N_c),$$

где μ_c – коэффициент диссипации стропы.

Воздействие верхней ветви грузового каната на секцию 3 представлено силой S_k .

$$S_k = R_n / K_n \zeta_n \text{ при подъеме груза; } S_k = R_n \zeta_n / K_n \text{ при опускании груза.} \quad (8)$$

Здесь R_n – реакция подшипников верхнего блока полиспаста.

В компьютерной модели зависимости (6, 7 и 8) созданы с использованием мастера связи с внешними библиотеками [8].

Результаты моделирования

Для выдвигания и втягивания секций с заданной скоростью усилие гидроцилиндра выдвигания F_h задано формулой

$$F_h = \gamma_0 + \gamma_1 (v_{20} - v_2),$$

где γ_0 и γ_1 – коэффициенты, v_{20} и v_2 – заданная и текущая скорости выдвигания секции 2.

При выдвигании секций стрелы $F = F_h$.

На рис. 4 приведены графики изменения силы гидроцилиндра F_h при выдвигании секций стрелы с постоянной длиной полиспаста ($v_{20} = 0,2$ м/с, $G_n = 2,94$ кН без груза, $G_n = 32,37$ кН с грузом массой 3 т, $G_3 = 8,44$ кН, $\zeta_n = 0,95$, $K_n = 6$, $f_0 = 0,155$, $f_\infty = 0,15$, $v_{str} = 0,01$ м/с).

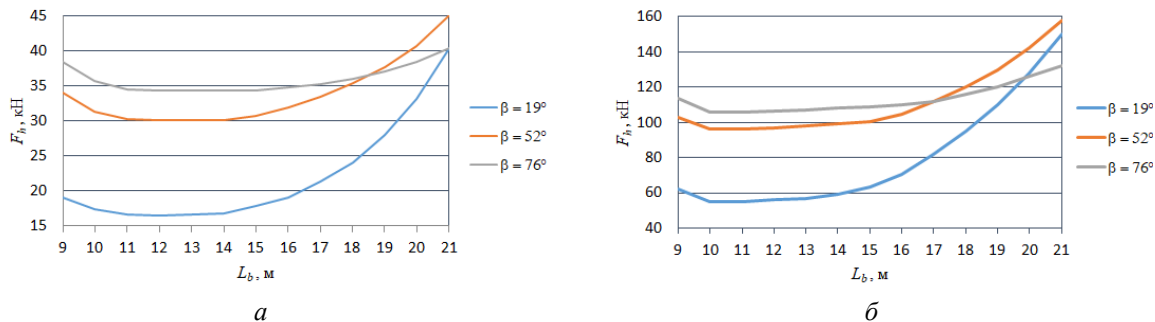


Рис. 4. Графики изменения силы F_h (кН) при выдвигании секций стрелы: *а* – без груза, *б* – с грузом массой 3 т

Результаты моделирования показывают увеличение силы выдвигания гидроцилиндра с увеличением длины стрелы и угла β (рис. 4), хотя максимальное значение F_h при $\beta = 76^\circ$ (136,5 кН) меньше, чем при $\beta = 52^\circ$ (161,5 кН) из-за ослабления эффекта заклинивания при больших углах наклона стрелы.

При минимальной длине стрелы секция 2 опирается на секцию 1, а секция 3 на секцию 2 двумя нижними контактными точками. При сохранении такой схемы контакта перемещение секций не изменяет суммарную силу трения в опорах скольжения при неизменном угле наклона стрелы.

При увеличении длины стрелы происходит изменение схемы контакта секций. В контакт вступают верхние контактные точки, и перемещение секций изменяет суммарную силу трения в опорах скольжения. Удлинение стрелы сопровождается увеличением суммарной силы трения в опорах скольжения (при неизменном угле наклона стрелы). То есть, эффект заклинивания начинается, когда в контакт вступают верхние контактные точки.

В табл. 2 приведены значения сил натяжения канатов выдвигания и втягивания S_1 и S_2 для различных режимов работы телескопической стрелы, полученные в результате

компьютерного моделирования.

Таблица 2. Значения сил натяжения канатов S_1 и S_2

Операция	β , град	L_b , м	M_n , т	S_1 , кН	S_2 , кН
Предварительное натяжение канатов	0	9	0	95,5	181
Подъем груза	77	9	30,25	178	9,8
Подъем груза	77	9	25,3	162,5	43
Выдвижение стрелы с грузом	52	9	3,3	105	168
Выдвижение стрелы с грузом	52	21	3,3	114	156
Выдвижение стрелы с грузом	19	9	3,3	104	174
Выдвижение стрелы с грузом	19	21	3,3	113	159
Втягивание стрелы с грузом	19	21	3,3	82,5	208
Втягивание стрелы с грузом	19	12,2	3,3	100	186

M_n – масса полиспаста и крюковой подвески с грузом.

Для рассмотренных режимов работы сила натяжения каната выдвижения достигает максимальной величины (178 кН) при статических испытаниях механизма подъема груза, наименьшей (82,5 кН) при втягивании стрелы с грузом.

Сила натяжения каната втягивания достигает максимальной величины (208 кН) при втягивании стрелы с грузом, наименьшей (9,8 кН) при статических испытаниях механизма подъема груза.

Компьютерное моделирование показало, что ориентировочные значения сил предварительного натяжения канатов S_{10} и S_{20} , рассчитанные по формулам (1), (4) и (5) без учета сопротивления вращению канатных блоков, сил инерции и заклинивания секций, оказались в 2,5 и 2,4 раза меньше результатов моделирования. Наибольший вклад в расхождение ориентировочных и модельных значений сил предварительного натяжения канатов вносит эффект заклинивания секций.

Предварительное натяжение каната выдвижения может быть снижено до 74 кН, а каната втягивания до 138 кН, если допустить опирание секции 3 на секцию 2 при подъеме максимального груза массой 25 т и статических испытаниях крана.

В [3] указано, что при ослаблении натяжения возможно соскакивание каната со шкива. При углах подъема стрелы $\beta > \beta_1$ секция 3 начинает неуправляемо скользить вниз, независимо от движения секции 2. С учетом формулы (5) скольжение секции 3 без заклинивания начинается при $F < 0$. То есть, для $f_0 = 0,155$, $\zeta_n = 0,95$, $K_n = 6$ и $M_n = 0...3,3$ т $\beta_1 = 6,4...1,67^\circ$. Опускание груза на опорную поверхность снижает натяжение грузового каната, и скольжение секции 3 замедляется или прекращается.

Моделирование аварийного втягивания секций при обрыве или ослаблении крепления каната выдвижения показывает, что снижение силы натяжения каната выдвижения S_1 сопровождается резким втягиванием секции 3 на величину порядка F/C_2 и падением натяжения каната втягивания.

При $L_b = 17$ м проявляется эффект заклинивания 3-й секции и $\beta_1 = 12,5...0^\circ$ при $M_n = 0...3,3$ т. При $L_b = 21$ м эффект заклинивания 3-й секции усиливается и $\beta_1 = 28...44,7^\circ$ ($M_n = 0...3,3$ т).

При падении силы натяжения каната выдвижения секция 3 втягивается рывком на 0,57...0,3 м при $L_b = 17$ м и на 0,4...0,2 м при $L_b = 21$ м ($M_n = 0...3,3$ т и $\beta = 0$). Скорость секции 3 достигает 2,05...4,97 м/с в момент удара о секцию 2 ($L_b = 21$ м, $M_n = 0...3,3$ т, $\beta = 28...44,7^\circ$). Усилие в стропах возрастает в 10...15 раз. Груз, раскачиваясь на стропах, ударяет по секции 2.

При обрыве или ослаблении крепления каната втягивания сила натяжения каната выдвижения также резко снижается до величины $F_0/2$. Секция 3 рывком выдвигается и затем

остается в выдвинутом положении даже при втягивании секции 2 и углах подъема стрелы $\beta \leq \beta_2$. При $L_b = 21$ м и $M_n = 3,3$ т секция 3 выдвинулась на 0,2 м.

Если секция 2 неподвижна, то при угле $\beta \geq \beta_2$ секция 3 выдвигается на величину порядка $F/2C_1$, и канат выдвижения натягивается. Секция 3 остается в таком положении под действием силы S_1 . В дальнейшем, если секция 2 была втянута, то при увеличении угла $\beta > \beta_2$, колебаниях стрелы или снятии груза секция 3 начинает самопроизвольно скользить вниз и ударяет в секцию 2.

Для $L_b = 21$ м $\beta_2 = 52...57,8^\circ$ при $M_n = 0...3,3$ т. Угол β_2 больше β_1 , так как секция 3 выдвинулась, а не втянулась при обрыве каната втягивания, и эффект ее заклинивания усилился.

Заключение

Получены зависимости для расчета предварительного натяжения канатов механизма выдвижения секций на начальном этапе проектирования телескопической стрелы. Показано, что канату втягивания необходимо большее предварительное натяжение, чем канату выдвижения.

Разработана компьютерная многомассовая динамическая модель движения канатного механизма телескопической стрелы, позволяющая более точно определять параметры силового и кинематического взаимодействия элементов канатного механизма с учетом механических характеристик канатов, секций и их контактного взаимодействия.

Для определения экстремальных значений сил натяжения канатов выдвижения и втягивания необходимо моделирование подъема груза, соответствующего статическим испытаниям крана, и втягивание разрешенного груза при минимальном угле наклона и максимальной длине стрелы.

Сила натяжения каната выдвижения достигает максимальной величины при статических испытаниях, минимальной при втягивании стрелы с грузом. Сила натяжения каната втягивания достигает максимальной величины при втягивании стрелы с грузом, минимальной при статических испытаниях.

Ориентировочные значения сил предварительного натяжения канатов, рассчитанные без учета сопротивления вращению канатных блоков, сил инерции и заклинивания секций, в 2,4...2,5 раза меньше результатов моделирования и не могут использоваться для проектных расчетов. Наибольший вклад в расхождение ориентировочных и модельных значений сил предварительного натяжения канатов вносит эффект заклинивания секций.

Проведено моделирование аварийного втягивания секций при обрыве или ослаблении крепления каната выдвижения, которое показало, что при углах подъема стрелы (длиной 21 м) более $28...44,7^\circ$ секция 3 начинает неуправляемо скользить вниз, независимо от движения секции 2. Падение силы натяжения каната выдвижения сопровождается резким втягиванием секции 3 на величину порядка на 0,57...0,2 м и снижением натяжения каната втягивания.

При обрыве или ослаблении крепления каната втягивания сила натяжения каната выдвижения также резко снижается. Секция 3 рывком выдвигается и затем остается в выдвинутом положении даже при втягивании секции 2 и углах подъема стрелы (длиной 21 м) меньше $52...57,8^\circ$.

Компьютерную модель и установленные закономерности работы канатного механизма телескопической стрелы целесообразно использовать при проектировании грузоподъемных кранов с телескопическими стрелами.

Список литературы:

1. Реутов, А.А. Расчет усилий механизма выдвижения телескопической стрелы / А.А. Реутов // Вестник Брянского гос. технического ун-та. – 2013. – № 3, – с. 41-45.
2. Шестеров, Ю.В. Моделирование выдвижения секций телескопической стрелы крана / Ю.В. Шестеров // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы Всерос. науч.-практ. конф. / Брян. гос. техн. ун-т. – Брянск, 2019. – С. 55-60.
3. Becker, R. The great book of mobile and crawler cranes/ R. Becker // Handbook of mobile and crawler crane technology / Griesheim, Germany, KM Verlags GmbH. – 2001. – Vol.1 – P.404. – ISBN 3-934518-00-2
4. Кран автомобильный КС-55713-5К-1. Руководство по эксплуатации КС-55713-5К-1.00.000 РЭ. – URL:<http://oaokaz.ru/catalog/avtokran/KS-55713-5K-1> (дата обращения: 21.05.2020). – Текст : электронный.
5. Программа ввода данных. Руководство пользователя. – URL:http://www.universalmechanism.com/download/80/rus/03_um_data_input_program.pdf (дата обращения: 21.05.2020). – Текст: электронный.
6. Реутов, А.А. Моделирование приводов ленточных конвейеров / А.А. Реутов. – Брянск: Изд-во Брянского гос. технического ун-та, 2011. – С. 141-142.
7. Реутов, А.А. Динамическая модель полиспаста механизма подъема груза /А.А. Реутов// Сб. научн. трудов XII-ой Междунар. научно-практ. конф. «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» 19-20 марта 2015 г. / Юго-Западный гос. ун-т. – Курск, 2015. – т. 3. – С. 391-394.
8. Примеры моделирования. Руководство пользователя. – URL:http://www.universalmechanism.com/download/80/rus/07_um_data_input_program.pdf. (дата обращения: 21.05.2020). – Текст: электронный.

References:

1. Reutov, A.A. Calculation the Efforts of the Mechanism for Telescopic Boom Extension / A.A. Reutov // Bulletin of Bryansk State Technical University. – 2013. – № 3, – pp. 41-45.
2. Shestеров, Yu.V. Modeling the Section Extension of a Crane Telescopic Boom / Yu.V. Shestеров // Innovative development of lifting and transport equipment: materials of the All-Russian scientific-practical conf. / Bryansk State Technical University. – Bryansk, 2019. – pp. 55-60.
3. Becker, R. The Great Book of Mobile and Crawler Cranes/ R. Becker // Handbook of mobile and crawler crane technology / Griesheim, Germany, KM Verlags GmbH. – 2001. – vol. 1 – P.404. – ISBN 3-934518-00-2
4. Automobile Crane KS-55713-5K-1. Operation manual KS-55713-5K-1.00.000 RE. – Available at: <http://oaokaz.ru/catalog/avtokran/KS-55713-5K-1> (accessed 21 May 2020). – Text: electronic.
5. Data entry program. User guide. – Available at: http://www.universalmechanism.com/download/80/rus/03_um_data_input_program.pdf (accessed 21 May 2020). – Text: electronic.
6. Reutov, A.A. Modeling belt conveyor drives / A.A. Reutov. – Bryansk: Publishing house of Bryansk State Technical University, 2011. – pp. 141-142.
7. Reutov, A.A. Dynamic Model of the Hoist Mechanism for Lifting the Load / A.A. Reutov // Proceedings of the XIIth Intern. scientific and practical conf. “Modern Instrumental Systems, Information Technology and Innovation” March 19-20, 2015 / the Southwest State University. – Kursk, 2015. – vol. 3. – pp. 391-394.
8. Examples of modeling. User guide. – Available at: http://www.universalmechanism.com/download/80/rus/07_um_data_input_program.pdf. (accessed 21 May 2020). – Text: electronic.

Статья поступила в редколлегию 20.01.2021

*Рецензент: д-р. техн. наук, доцент,
Брянский государственный технический университет
Захарова А.А.*

Статья принята к публикации 25.01.2021.

Сведения об авторах:

Реутов Александр Алексеевич

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
E-mail: bgtu2012@yandex.ru

Information about authors:

Reutov A.A.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department “Mechanical Handling Machines and Equipment” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
E-mail: bgtu2012@yandex.ru.

Е.Э. Аверченкова, А.В. Аверченков, Л.И. Пугач

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Представлен подход к определению системного увеличения эффективности управления СУ РСЭС, которое основано на свойстве эмерджентности. Показано, что совокупный синергетический эффект накапливается за счет как взаимного положительного влияния показателей Национальных проектов РФ друг на друга, так и за счет внедрения предлагаемой методологии управления РСЭС, позволяющей своевременно корректировать управленческое воздействие на РСЭС, что позволит в установленные сроки достигать заявленные целевые ориентиры Национальных проектов РФ.

Ключевые слова: региональная социально-экономическая система, синергия.

E.E. Averchenkova, A.V. Averchenkov, L.I. Pugach

SYNERGY EFFECT IN THE CONTROL SYSTEM OF THE REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEM

An approach to determining the systemic increase in the management efficiency of the Regional Socio-Economic System (RSES) control system is presented, which is based on the emergence property. It is shown that the cumulative synergistic effect is accumulated due to both the mutual positive influence of the RF National Project indicators on each other, and due to introducing the proposed methodology for managing the RSES, which allows timely adjusting the managerial impact on the RSES, which will give the opportunity to achieve the declared targets of the RF National Projects at the stated time.

Keywords: regional socio-economic system, synergy.

Введение

Данная публикация является продолжением ряда работ авторов [1, 2], в которых развивается методология управления региональной социально-экономической системой (далее РСЭС), которая отличается учетом воздействующего влияния Национальных проектов РФ в условиях влияния внешней среды. Понятие системы управления региональной социально-экономической системой (далее СУ РСЭС) определяется в работе [3] как множество элементов и устоявшихся, упорядоченных взаимосвязей, ориентированных на достижение оптимального управления РСЭС в части целевых установок Национальных проектов РФ в условиях влияния внешней среды. В статье показано, что СУ РСЭС свойственен синергетический эффект, в основу которого положен принцип эмерджентности сложных систем, предполагающий, что одновременное действие нескольких факторов практически всегда отличается от суммы раздельных эффектов.

Отметим, что применение синергетического подхода в различных прикладных областях науки развивалось такими исследователями, как Г. Хакен, Г. Николис, Пригожин, А. Баблоянц, С. Вейнберг, П. Гленсдорф, Р. Грэхем, К. Джордж, Р. Дефэй, Дж. Каглиоти, М. Курбейдж, С.П. Курдюмов, Л. Лугиато, Х. Майнхардт, К. Майнцер, Б. Мизра, Дж.С. Николис, К. Николис, Л. Розенфельд, М. Стадлер, Дж. М.Т. Томпсон, Дж.В. Хант, Ф. Хенин и др.

В рамках научно-практических исследований авторов особый интерес у них вызвали работы Бударова А.Ю., развивающего тематику синергетики в экономических системах [4, 5]. Так, в его работе «Принципы системно-синергетического подхода к управлению развитием научно-производственных комплексов» изложен системно-синергетический подход, позволяющий выстроить базис для создания, модернизации, систематизации и объединения множества методов и инструментов управления в рамках разработанной методологической концепции [4].

В работе [6] показаны особенности определения частных синергетических эффектов для социально-экономических систем. В статье Линева И.В. показано, что имеющиеся в каком-либо кластере синергетические связи формируют социально-экономический эффект через интеграцию эффектов всех структурных элементов, что обеспечивает результат больший, чем их простая сумма. По мнению автора, «эмерджентность в кластере обуславливает повышение производительности за счёт инноваций в технологической и организационной сферах и стимулирования рождения новых бизнесов» [7].

Таким образом, можно констатировать, что изучение синергетических связей в социально-экономических системах проходит как в общем контексте науки, так и в применительно к отдельным отраслям и комплексам.

1. Предметная область исследования

Определение синергетического эффекта в СУ РСЭС рассматривалось авторами в контексте методологии управления РСЭС, предложенной в работе [8]. Данная методология состоит из пяти этапов и девяти методик, описывающих регион как объект управления, испытывающий на себе управляющее воздействие Национальных проектов РФ. Методология управления РСЭС обеспечивает полный управленческий цикл: от формализации основных понятий до описания системы контроля и обратной связи. Информационная реализация методологии представляется в виде автоматизированного продукта – СППР «ДАТА» - который может быть использован при формировании автоматизированного рабочего места госслужащих. Методы управления РСЭС, заложенные в СУ РСЭС, основаны на принципах разомкнутого управления, управления по возмущениям и обратной связи [9]. Отметим, что в предлагаемой СУ РСЭС особое место отводится лицу, принимающему управленческие решения, т.к. госслужащий оценивает необходимость и срочность корректирующих воздействий на СУ РСЭС, тем самым обеспечивает достижение целей СУ РСЭС, определяет ее развитие.

Применение теории управления для построения СУ РСЭС позволило иначе подойти к проблематике регионального управления [10]. Так, в предложенной методологии РСЭС рассматривается как объект управления, на который поступает управляющее воздействие от СППР «ДАТА», которая в свою очередь является приемником для сигналов внешней среды [11, 12]. Комбинированный принцип управления, заложенный в рассматриваемой модели СУ РСЭС, обеспечивает, с одной стороны, учет управляющим устройством возмущающего воздействия внешней среды, проходящего через систему измерительных устройств, а с другой стороны, принцип отрицательной обратной связи учитывает отклонение, возникающее между предполагаемым трендом развития РСЭС и ее фактической траекторией.

2. Построение модели совокупного синергетического эффекта в СУ РСЭС

Системное увеличение эффективности управления в СУ РСЭС происходит в результате эмерджентности. Действительно, у СУ РСЭС как системы появляются свойства, не присущие её элементам в отдельности: так, достижение одних целевых показателей Национальных проектов происходит не только под воздействием ранее спланированных управленческих воздействий, но и под влиянием параллельного выполнения других целевых установок. Например, комплексное выполнение мероприятий регионального проекта «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» в рамках Национального проекта «Демография», будет способствовать достижению сверхзаявленного значения такого показателя, как «Смертность от инфаркта миокарда, на 100 тыс. населения» в рамках регионального проекта «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями» Национального проекта «Здравоохранение». Таким образом, можно говорить о накоплении синергетического эффекта $\mathcal{E}_{\text{синерг}}^{\text{НП}}$ за счет взаимного системного влияния целевых показателей Национальных проектов РФ друг на друга (рис. 1).

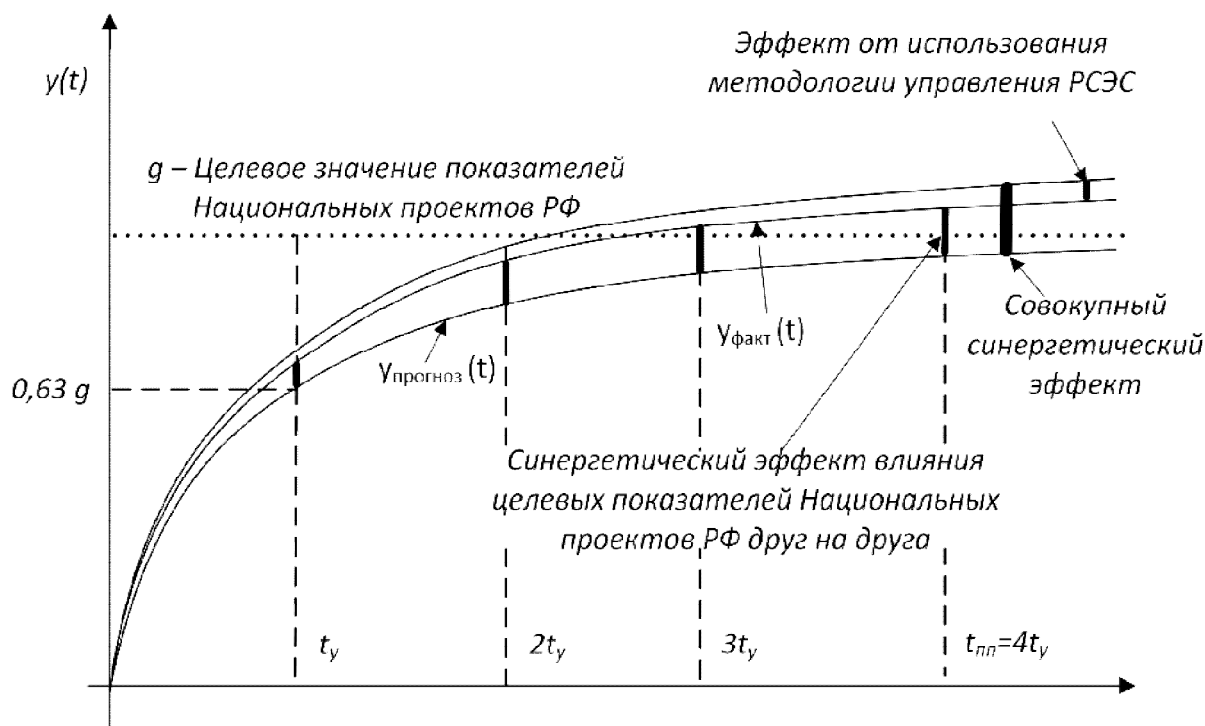


Рис. 1. Формирование совокупного синергетического эффекта в СУ РСЭС

Значение эффекта, получаемого от внедрения предлагаемой методологии управления РСЭС $\mathcal{E}^{\text{метод}}$, определяется своевременностью коррекции управленческого воздействия на РСЭС, что позволит в заданные сроки достигать заявленные целевые установки Национальных проектов РФ. Соответственно, определим совокупный синергетический эффект $\mathcal{E}_{\text{синерг}}^{\text{совокуп}}$ в виде выражения:

$$\mathcal{E}_{\text{синерг}}^{\text{совокуп}} = \mathcal{E}_{\text{синерг}}^{\text{НП}} + \mathcal{E}^{\text{метод}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{синерг}}^{\text{НП}}$ — приращение среднего значения процента выполнения целевых показателей Национальных проектов РФ за счет взаимного влияния; $\mathcal{E}^{\text{метод}}$ — приращение среднего значения процента выполнения целевых показателей Национальных проектов РФ за счет своевременности коррекции управленческого воздействия на РСЭС.

Представление СУ РСЭС с позиций формирования дополнительной эффективности за счет синергетического эффекта позволяет классифицировать разработанную СУ РСЭС как сложную на основе следующих признаков:

- комплексный характер управляемого объекта (РСЭС), который состоит из двухуровневых иерархий составляющих РСЭС;
- необходимость последовательного решения задачи управления РСЭС;
- иерархическая структура задач управления РСЭС, представленной трехуровневым подходом, определяющим стратегические, тактические и локальные ориентиры в рамках как задающего воздействия $g(t)$, так и выходных координат системы $y(t)$.

В свою очередь, признание синергетического эффекта в разработанной СУ РСЭС позволяет структурировать решаемые в СУ РСЭС задачи управления по следующим уровням:

- стратегического охвата (обеспечение целевого уровня развития РСЭС в целом в рамках поставленных Национальными проектами ориентиров);
- тактического уровня (достижение целевого уровня по группам составляющих РСЭС);
- локального уровня (достижение конкретных целевых показателей по каждой из составляющих РСЭС) далее.

3. Модель совокупного синергетического эффекта в СУ РСЭС как часть методики моделирования СУ РСЭС

В разработанной методологии управления РСЭС на основе анализа влияния внешней среды важное место занимает понятие СУ РСЭС, поэтому проектирование основных компонентов и информационных потоков СУ РСЭС задается отдельной методикой моделирования СУ РСЭС. Состав конкретных мероприятий, определяющих содержание предложенной методики моделирования СУ РСЭС, приведен в таблице. Отметим, что построение модели совокупного синергетического эффекта в СУ РСЭС является завершающим этапом рассматриваемой методики.

Таблица 1. Состав методики моделирования СУ РСЭС и применяемые методы

Разработанная методика	Содержание методики	Применяемые методы
Методика моделирования СУ РСЭС	1. Построение модели СУ РСЭС 2. Формирование задачи оптимального управления в СУ РСЭС, критериев оптимальности и ограничений. 3. Построение модели совокупного синергетического эффекта в СУ РСЭС	– методы теории управления; – методы теоретико-множественного подхода; – методы принятия решений; – методы математического анализа

Прежде всего, методика моделирования СУ РСЭС включает в себя визуальную и математическую формализацию СУ РСЭС. Кроме того, важным элементом разработанной методики является формирование задачи оптимального управления в СУ РСЭС, критериев оптимальности и соответствующих ограничений. Построение модели совокупного синергетического эффекта в СУ РСЭС позволяет оценить системное увеличение эффективности управления в СУ РСЭС в результате эмерджентности.

Выводы

Резюмируем, что разработанная СУ РСЭС является сложной системой, имеющей в своем составе большое количество взаимодействующих факторов, которые обеспечивают синергетическое усиление общей эффективности управления СУ РСЭС. Приращение среднего значения процента выполнения целевых показателей Национальных проектов РФ

обеспечивается составляющими совокупного синергетического эффекта: взаимным влиянием Национальных проектов РФ друг на друга и своевременной коррекцией управленческого воздействия на РСЭС. Предложенная модель совокупного синергетического эффекта в СУ РСЭС представляет собой часть методики моделирования СУ РСЭС, которая рассматривается в свою очередь в контексте методологии управления СУ РСЭС.

Список литературы:

1. Аверченкова, Е.Э. Современные научные подходы в управлении региональными социально-экономическими системами в условиях влияния внешней среды / Е.Э. Аверченкова, А.В. Аверченков, А.Н. Горбунов, Д.И. Гончаров // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2020 - № 1(07) 2020. - С. 26-35.
2. Averchenkova, E.E. Procedure for Adopting Regional Managerial Decisions on the Basis of Applying DSS "DATA" / E.E. Averchenkova, A.V. Averchenkov // 2nd International Scientific and Practical Conference "Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth" (MTDE 2020). Advances in Economics, Business and Management Research, volume 138, pp. 538-545, <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200502.088>
3. Аверченкова, Е.Э. Особенности управления региональными социально-экономическими системами в условиях социально-техногенного влияния внешней среды / Глобалистика-2020: Глобальные проблемы и будущее человечества. Электр. сб. тезисов участников VI Международного научного конгресса, МГУ имени М.В.Ломоносова 18-22 мая 2020 г. / под ред. И.В. Ильина. – М., ФГП МГУ им. М.В.Ломоносова, 2020. - С.585-586. – ISBN
4. Бударов, А.Ю. Принципы системно-синергетического подхода к управлению развитием научно-производственных комплексов / А.Ю. Бударов // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2015. - № 1 (5). - С.3-12.
5. Бударов, А. Ю. Теоретические положения системно-синергетического подхода к управлению развитием научно-производственных комплексов / А.Ю. Бударов // Экономические и социально-гуманитарные исследования. - 2014. - № 3-4. - С. 9-14.
6. Таймасханов, Х.Э. Синергетический эффект социально-экономической системы как качество взаимодействия составляющих ее потенциалов / Х.Э. Таймасханов, М.А. Бетилгириев, И.М. Бетилгириев // Вестник ВолГУ. Серия 3, Экономика. Экология. - 2017. - Т. 19. № 2. - С.10-16.
7. Линева, И. В. Эмерджентность и мультипликативный эффект в кластере / И. В. Линева // Вестник ВГУИТ. - 2016. - № 2. - С. 378-383. - doi:10.20914/2310-1202-2016-2-378-383
8. Аверченкова, Е.Э. Методологические подходы к управлению региональной социально-экономической системой / Е.Э. Аверченкова // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2019. - 23(6). – С. 148-160. - <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-148-160>
9. Аверченкова, Е.Э. Управление региональными

References:

1. Averchenkova, E.E. Modern Scientific Approaches in Management of Regional Socio-Economic Systems under the Influence of the External Environment / E.E. Averchenkova, A.V. Averchenkov, A.N. Gorbunov, D.I. Goncharov // Automation and Modeling in Design and Management. – 2020 – no. 1(07) 2020. – pp. 26-35.
2. Averchenkova, E.E. Procedure for Adopting Regional Managerial Decisions on the Basis of Applying DSS "DATA" / E.E. Averchenkova, A.V. Averchenkov // 2nd International Scientific and Practical Conference "Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth" (MTDE 2020). Advances in Economics, Business and Management Research, volume 138, pp. 538-545, <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200502.088>
3. Averchenkova, E.E. Features of Managing Regional Socio-Economic Systems in the Context of the Social and Technogenic Influence of the External Environment / Globalistics-2020: Global Problems and the Future of Mankind. Electr. Coll. of Abstracts of the Participants of the VIth International Scientific Congress, Moscow State University named after M.V. Lomonosov May 18-22, 2020 / ed. I.V. Ilyin. – M., FSE Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2020. – pp. 585-586. – ISBN
4. Budarov, A.Yu. Principles of a System-Synergetic Approach to Managing the Development of Scientific and Industrial Complexes / A.Yu. Budarov // Economic and Social-Humanitarian Research. – 2015. – no. 1 (5). – pp. 3-12.
5. Budarov, A.Yu. Theoretical Provisions of the System-Synergetic Approach to Managing the Development of Scientific and Industrial Complexes / A.Yu. Budarov // Economic and Social-Humanitarian Research. – 2014. – no. 3-4. – pp. 9-14.
6. Taymaskhanov, Kh.E. The Synergetic Effect of the Socio-Economic System as the Quality of Interaction of Its Constituent Potentials / Kh.E. Taymaskhanov, M.A. Betilgiriev, I.M. Betilgiriev // Journal of Volgograd State University. Series 3, Economics. Ecology. – 2017. – vol. 19. no. 2. – pp.10-16.
7. Linev, I.V. Emergence and Multiplicative Effect in a Cluster / I.V. Linev // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2016. – no. 2. – pp. 378-383. – doi: 10.20914 / 2310-1202-2016-2-378-383.
8. Averchenkova, E.E. Methodological Approaches to Regional Socio-Economic System Management / E.E. Averchenkova // News of the Southwest State University. – 2019. – 23 (6). – pp. 148-160. – <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-148-160>.
9. Averchenkova, E.E. Management of Regional Socio-

социально-экономическими системами на основе систем поддержки принятия решений./ Е.Э. Аверченкова, А.В. Аверченков. - Брянск: Новый проект, 2020. – 175 с.

10. Аверченкова, Е.Э. Применение теории управления для описания системы управления региональной социально-экономической системой / Е.Э. Аверченкова, А.Н. Горбунов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2019. – 23(4). – С. 105-115.

11. Аверченкова, Е.Э. Методика моделирования системы управления региональной социально-экономической системой / Е.Э. Аверченкова, Ф.Ю. Лозбинева // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Брянск: Брян. гос. инженерно-технол. ун-т., 2019. – С.21-25. – 814 с. – ISBN: 978-5-98573-244-3

Economic Systems Based on Decision Support Systems. / E.E. Averchenkova, A.V. Averchenkov. – Bryansk: New project, 2020. – 175 p.

10. Averchenkova, E.E. Application of Control Theory to Describe the Management of the Regional Socio-Economic System / E.E. Averchenkova, A.N. Gorbunov // News of the Southwest State University. – 2019. – 23 (4). – pp. 105-115.

11. Averchenkova, E.E. Methodology for Modeling the Management of the Regional Socio-Economic System / E.E. Averchenkova, F.Yu. Lozbineva // Digital Region: Experience, Competencies, Projects: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Bryansk: Bryansk State Engineering and Technology University, 2019. – pp. 21-25. – 814 p. – ISBN: 978-5-98573-244-3

Статья поступила в редколлегию 13.12.2020.

Рецензент:

канд. техн. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Подвесовский А.Г.

Статья принята к публикации 09.01.2021.

Сведения об авторах:

Аверченков Андрей Владимирович

Доктор технических наук, доцент,
Заведующий кафедрой «Компьютерные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
ORCID: 0000-0003-0196-1332
E-mail: mahar@mail.ru

Аверченкова Елена Эдуардовна

Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Цифровая экономика»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
ORCID: 0000-0003-2098-6156
E-mail: lena_ki@inbox.ru

Пугач Леонид Израилевич

Кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры «Информатика и программное обеспечение» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
ORCID: 0000-0003-2931-6677
E-mail: lip58b@yandex.ru

Information about authors:

Averchenkov A.V.

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department “Computer Technologies and Systems” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
ORCID: 0000-0003-0196-1332
E-mail: mahar@mail.ru

Averchenkova E.E.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department “Digital Economy” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
ORCID: 0000-0003-2098-6156
E-mail: lena_ki@inbox.ru

Pugach L.I.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor of the Department “Computer Science and Software” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
ORCID: 0000-0003-2931-6677
E-mail: lip58b@yandex.ru

УДК: 681.5.011

DOI:10.30987/2658-6436-2021-1-29-34

М.К. Егоров, А.Н. Феофанов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ

Статья посвящена анализу использования метода дерева решений, анализу брака на машиностроительном предприятии. Рассмотрению причин появления брака в изделии. А также предложению по внесению изменений в нормативно-техническую документацию. На данный момент широкое распространение получили методы неразрушающего диагностирования, которые позволяют определять места локализации неисправностей и прогнозировать состояние объекта без необходимости проведения исследований, требующих выведения объекта из работы или его демонтажа. Построение диагностических моделей выполняется с помощью методов и средств регрессионного анализа, теории искусственных нейронных сетей и т.д. Однако они не обладают высоким уровнем обобщения, а нейронные сети являются трудно интерпретируемыми, что и усложняет их применение на практике.

Ключевые слова: автоматизация, автоматизированные системы, управление качеством, дерево решений, эффективность.

M.K. Egorov, A.N. Feofanov

IMPROVING THE ENTERPRISE PERFORMANCE ON THE BASIS OF APPLYING DECISION TREE METHOD

The article is devoted to considering the use of the decision tree method, defects at a machine-building enterprise, the reasons for having defects in the product and proposals for amending the normative and technical documentation. At the moment, non-destructive diagnostics methods have become widespread, which make it possible to determine the places of fault localization and predict the object state without the need for research which requires making object inoperative or its dismantling. The construction of the diagnostic models is implemented using the methods and tools of regression analysis, the theory of artificial neural networks, etc. However, they do not have a high level of generalization, and neural networks are difficult to interpret, which complicates their application in practice.

Keywords: automation, automated systems, quality management, decision tree, efficiency.

Введение

С каждым днем система менеджмента качества становится более востребованной. Это обуславливается тем, что организации стремятся повысить качество и эффективность производства, актуализировать и структурировать происходящие процессы с целью роста эффективности работы компании в целом и роста в глазах клиентов.

Цель работы - повышение эффективности функционирования предприятия с помощью анализа отдела гарантийного обслуживания и ремонта бракованных изделий.

Анализ исследовательских работ по теме

Для анализа работы и внесения изменений в нормативно-техническую документацию целесообразно применять «Дерево решений». Такие модели обладают высокими обобщающими способностями и хорошо интерпретируются в прикладных областях специалистами.

Метод дерева решений применяется в задачах классификации и прогнозирования, когда решения приходится принимать в условиях риска, неопределённости и исход событий

зависит от вероятностей.

В статье «Гофмана Е. А., Олейника А. А., Субботина С. А. «Использование деревьев решений для диагностирования автотранспортных средств» рассмотрена задача диагностирования автотранспортных средств с использованием деревьев решений. Предложен метод синтеза деревьев решений. Разработано программное обеспечение идентификации деревьев решений» [1].

«Известные методы построения деревьев решений используют «жадную» стратегию поиска, не позволяющую в процессе поиска заменять атрибуты, по которым уже выполнено разбиение, на другие, более эффективные. Поэтому для построения деревьев решений предлагается использовать поиск, который на основе стохастического подхода позволяет перебирать различные комбинации, не заикливаясь на исследовании» [1].

Анализ данной работы выявил основные проблемы при использовании указанного метода:

- невозможность учёта фактора времени;
- невозможность выявления основных дефектов, возникающих на предприятии;
- требует подготовки большого количества данных.

Соответственно необходимо выявить основные дефекты, возникающие на предприятии. А также, подготовить все входные данные.

В статье «Т.Ю. Чернышева, А.Г. Жукова «Программный модуль учета рисков проекта на основе дерева решений» рассматривается проблема учета и определения влияния рисков на выполнение проекта. Предложено использовать метод анализа иерархий при оценке рисков, алгоритм процедуры учета рисков проводить методом дерева решений. Обоснована актуальность разработки программного модуля» [5].

Анализ работы выявил такие проблемы при использовании метода как:

- создание информационной системы на платформе 1С;
- в проекте не всегда можно идентифицировать все риски;
- сложность подразделения проблем на классы.

На данный момент платформа 1С устаревает, зарубежные аналоги лучше справляются с поставленной задачей. Нужно прикладывать больше усилий в идентификацию всех рисков и проводить масштабный анализ.

Повышение эффективности деятельности предприятия

На данный момент широкое распространение получили методы неразрушающего диагностирования, которые позволяют определять места локализации неисправностей и прогнозировать состояние объекта без необходимости проведения исследований, требующих выведения объекта из работы или его демонтажа. Построение диагностических моделей выполняется с помощью методов и средств регрессионного анализа, теории искусственных нейронных сетей и т.д. Однако они не обладают высоким уровнем обобщения, а нейронные сети являются трудно интерпретируемыми, что и усложняет их применение на практике.

На каждое решение влияют какие-то определённые факторы, и у каждого решения есть свои последствия, которым присущ вероятностный характер. В этих условиях процесс принятия решений является последовательным и метод дерева решений предполагает определять, какие действия следует предпринять в каждой вершине дерева.

Далее выполнен анализ дефектов с помощью диаграммы Парето (таблица 1, рисунок 1) и выясняем какого типа дефектов больше всего, чтобы минимизировать брак.

Таблица 1. Количество дефектов на предприятии

Типы дефектов	Число дефектов	Накопленная сумма числа дефектов	Процент числа дефектов по каждому признаку к общей сумме	Накопленный процент
Дефект радиоантенны	159	159	53	53
Выход из строя радиолокационной системы	51	210	17	70
Дефект ТГС (Турбогенератора)	36	246	12	82
Царапины	24	270	8	90
Вмятины	12	282	4	94
Прочие	18	300	6	100
Итого	300		100	

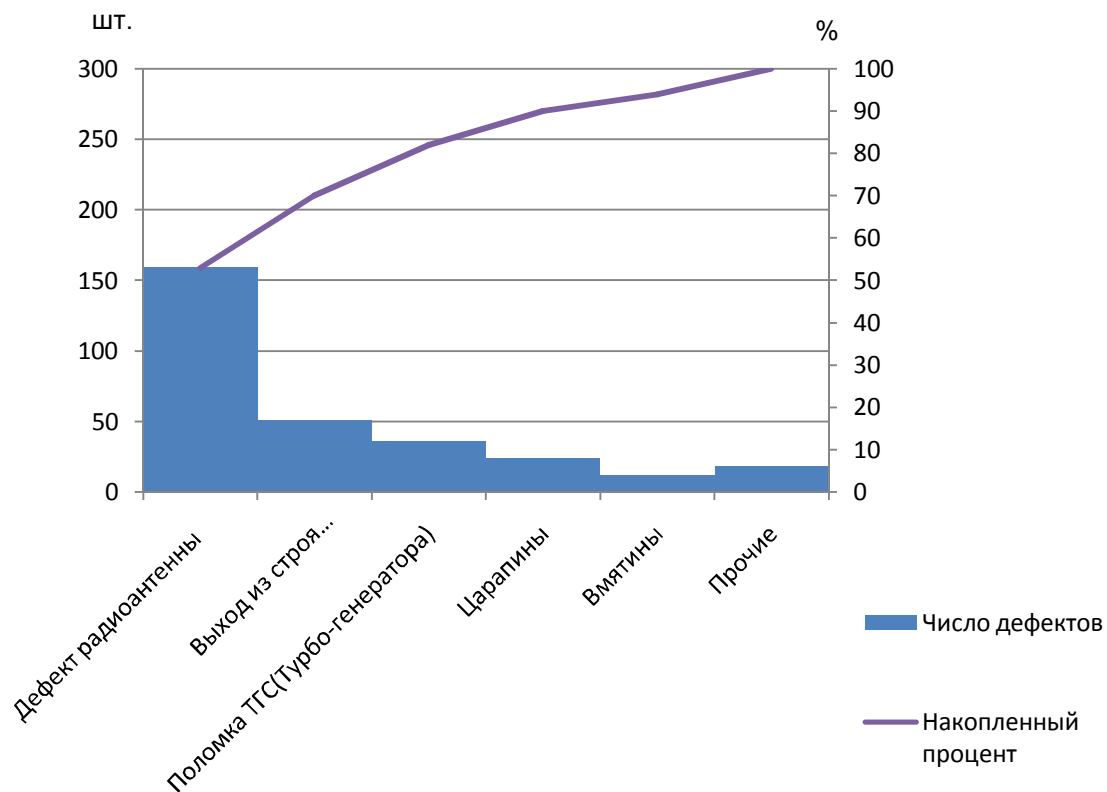


Рис. 1. Диаграмма Парето анализа дефектов на предприятии

На диаграмме видно, что больше всего дефектов на предприятии связано с поломкой радиовзрывателя.

Описание дефекта по рекламационному акту – изделие 9Э346 не соответствует требованиям п 1.3.1 – изделие не выходит на режим готовности. Причиной отказа является прибор №16 из состава изделия 9Э346. В приборе №16 отказал трансформатор, обнаружен обрыв первичной обмотки в месте пайки обмоточного провода ПЭТВ-2 с проводом МГТФ. Дефект возник из-за некачественной пайки первичной обмотки трансформатора. Как правило, отказ происходит на этапе эксплуатации у заказчика. Дефект производственный.

Устранив этот дефект можно снизить процент брака на 30%. Устранить дефект можно с помощью контроля за сборкой изделия, постоянное повышение квалификации и мотивация сотрудников, увеличение коллективной ответственности рабочих.

«Риск можно снизить, но избежать полностью в инновационной деятельности невозможно, для этого следует тщательно анализировать инновационные проекты» [6].

Следующие факторы могут повлиять на появление брака. Как правило выделяют несколько:

- сырьё;
- оборудование;
- условия труда;
- низкая квалификация сотрудников;
- технология производства изделия.

Теперь рассматривается каждый фактор по отдельности:

Сырьё – следует отказаться от поставщиков некачественного сырья, проводить тщательный контроль качества на этапе закупки. От материала напрямую зависит качество изделия.

Оборудование – провести испытания и анализ работы аппаратуры на предприятии, тогда можно будет точно сказать, какое оборудование нуждается в наладке. Отслеживать, проводятся ли все плановые ТО, либо произвести замену оборудования на новое, более точное.

Условия труда – является немаловажной частью любого производства. Этот фактор затрагивает вопросы освещения, отопления, оснастки рабочего места, а также поощрения за выполнение и перевыполнение плана, например: премии, экскурсии, поездки за счет предприятия и т.д.

Низкая квалификация сотрудников – обучение молодых специалистов, регулярное повышение квалификации всех работников. Тщательный отбор кандидатов на рабочие места, регулярное проведение аудита. Внедрение автоматизированной системы управления процессами для того, чтобы можно было свести к минимуму человеческий фактор, где это возможно.

Технология производства – анализ производственных методов, выявление «слабых» мест в технологии производства. Внедрение автоматизации и информационных технологий, усовершенствование существующих методов. Разработка новых методик, более экономичных, экологичных и намного более эффективных.

Рекламационная деятельность тоже должна быть стандартизирована. Поэтому предложено ввести номенклатуру стандартов рекламационного отдела:

1. Распоряжения по цеху.
2. Планы работы цеха 147.
3. Характеристики на работников цеха.
4. Документы о гарантийных изделиях.
5. Переписка с подразделениями.
6. Переписка с организациями.
7. Переписка с изд. «БС5».
8. Переписка по изд. «9М317».
9. Переписка по изд. «Кипятильник».
10. Переписка по изд. «Кресло».
11. Переписка по изд. «ЦЛУ, ИЧ, ЦА».
12. Переписка по изд. «КАБ-1545ЛГ, АТ».
13. Переписка по изд. «ДГ 75А».
14. Отчеты по качеству.

Предположено, что с данной номенклатурой будет упрощена систематизация документооборота в отделе и приведён в единую систему архив.

Вывод

Повышение эффективности деятельности предприятия на основе актуализации нормативно-технической документации очень важный аспект, который нельзя упускать. Ведь без повышения эффективности конкурировать с другими предприятиями будет просто невозможно, а это в свою очередь приведёт к потере заказчиков и, как следствие, прибыли. Устранив самый часто проявляющийся дефект можно снизить процент брака на 30 %. Дефект можно устранить с помощью контроля за сборкой изделия, постоянное повышение квалификации и мотивация сотрудников, увеличение коллективной ответственности рабочих.

Практическая значимость работы состоит в организации взаимодействия информационных потоков на предприятии. Благодаря предложенной номенклатуре стала упрощена систематизация документооборота в отделе и достигается возможность приведения архива в единую систему.

Список литературы:

1. Гофман, Е. А. Использование деревьев решений для диагностирования автотранспортных средств / Е. А. Гофман, А. А. Олейник, С. А. Субботин – Текст электронный // АЛГОРИТМЫ, ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ. – URL: https://www.researchgate.net/publication/247158371_Ispolzovanie_derevev_resenij_dla_diagnostirovania_avtotransportnyh_sredstv/. – Дата публикации: 01.01.2011
2. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиадвигателей: Монография / А. В. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, Д. В. Павленко, С. А. Субботин. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. – 468 с.- ISBN 966-2906-19-3
3. ГОСТ Р 7.0.97-2016. Унифицированная система документации. Сбор, обработка информации. Порядок ведения: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 декабря 2016 г. N 2004-ст: нац. Стандарт Российской Федерации : введ. Впервые : дата введ. 2018-07-01 / подгот. Федеральным бюджетным учреждением "Всероссийский научно-исследовательский институт документооборота и архивного дела" (ВНИИДАД) Федерального архивного агентства. – М.: Стандартинформ, 2019.
4. Кузнецова, Н.В. Управление качеством: учеб. пособие / Н.В. Кузнецова. — М.: Флинта; МПСИ. -2009. — 360 с. - ISBN: 978-5-9770-0377-3
5. Чернышева, Т.Ю. Программный модуль учета рисков проекта на основе дерева решений / Т.Ю. Чернышева, А.Г. Жукова // Ползуновский вестник. -2012. - № 3/2. – С. 70-73
6. Бондарчук, Н.Д. Повышение конкурентоспособности предприятия с помощью современных методов управления / Н.Д. Бондарчук, А.Н. Феофанов, Е.Ю. Бондарчук, Т.Г. Гришина // Вестник современных технологий. - 2017. - № 2 (6). - С. 9-15.

References:

1. Gofman, E.A. Using Decision Trees for Diagnosing Vehicles / E.A. Gofman, A.A. Oleinik, S.A. Subbotin – Text: electronic // ALGORITHMS, EXPERT SYSTEMS. – Available at: https://www.researchgate.net/publication/247158371_Ispolzovanie_derevev_resenij_dla_diagnostirovania_avtotransportnyh_sredstv/. – Date of publication: 01 January 2011
2. Progressive Technologies for Modeling, Optimization and Intelligent Automation of the Life Cycle Stages of Aircraft Engines: Monograph / A.V. Boguslaev, Al.A. Oleinik, An.A. Oleinik, D.V. Pavlenko, S.A. Subbotin. – Zaporozhye: OJSC "Motor Sich", 2009. – 468 p. – ISBN 966-2906-19-3
3. GOST R 7.0.97-2016. Unified documentation system. Collection, Processing of Information. The Order of Procedure: approved and entered into force by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of December 8, 2016 N 2004-st: nat. Russian Federation Standard: introduced for the first time: date of entry into force 01 July 2018 / prepared by the Federal budgetary institution "All-Russian Scientific Research Institute of Documentation and Archival Affairs" (ASRIDAA) of the Federal Archival Agency. – M.: Standartinform, 2019.
4. Kuznetsova, N.V. Quality Management: tutorial / N.V. Kuznetsova. – M.: Flinta; MPSI. – 2009. – 360 p. – ISBN: 978-5-9770-0377-3
5. Chernysheva, T.Yu. Software Module for Project Risk Assessment Based on the Decision Tree / T.Yu. Chernysheva, A.G. Zhukov // Polzunovsky Bulletin. – 2012. – no. 3/2. – pp. 70-73
6. Bondarchuk, N.D. Increasing the Competitiveness of the Enterprise with the Help of Modern Management Methods / N.D. Bondarchuk, A.N. Feofanov, E.Yu. Bondarchuk, T.G. Grishina // Bulletin of Modern Technologies. – 2017. – no. 2 (6). – pp. 9-15.

Статья поступила в редколлегию 15.12.2020.

Рецензент:

канд. биол. наук, доц..

Брянский государственный технический университет

Кузьменко А.А.

Статья принята к публикации 14.01.2021.

Сведения об авторах:

Феофанов Александр Николаевич

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Инженерная графика», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (Москва, Россия)

E-mail: feofanov.fan1@yandex.ru

Егоров Михаил Константинович

аспирант кафедры «Автоматизированных систем обработки информации и управления» Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (Москва, Россия)

E-mail: 5970510@mail.ru

Information about authors:

Feofanov A.N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Engineering Graphics" of Moscow State Technological University "STANKIN" (Moscow, Russia)

E-mail: feofanov.fan1@yandex.ru

Egorov M.K.

Postgraduate student of the Department "Automated Information Processing and Control Systems" of Moscow State Technological University "STANKIN"

E-mail: 5970510@mail.ru

УДК: 316.46

DOI:10.30987/2658-6436-2021-1-35-41

Е. В. Карпенко, М. С. Симутин

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОЛЛЕКТИВНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ПРИРОДЕ ЛИДЕРСТВА

В статье рассматриваются основные методы для управления лидерством, основанные на коллективно-синергетическом подходе к пониманию лидерства. Выделены особенности лидерства в сложных организациях с многоступенчатой иерархией. Проанализирована возможность применения «умных» технологий для анализа и мониторинга статуса лидерства в организации. Сделаны выводы о возможности автоматизации этого процесса.

Ключевые слова: лидерство, группа, управление лидерством, коммуникация, искусственный интеллект.

E.V. Karpenko, M.S. Simutin

METHODOLOGICAL FEATURES OF THE COLLECTIVE-SYNERGETIC APPROACH TO THE NATURE OF LEADERSHIP

The article examines the main methods for leadership management based on a collective-synergetic approach to understanding leadership. The features of leadership in complex organizations having a multi-level hierarchy are highlighted. The possibility of using “smart” technologies to analyze and monitor the leadership status in the organization is considered. Conclusions are drawn about the possibility of automating this process.

Keywords: leadership, group, leadership management, communication, artificial intelligence.

Введение

Сегодня одной из важнейших проблем социологии, безусловно, является проблема лидерства. «Актуальность изучения проблемы лидерства как социологического явления определяется прежде всего тем, что лидерство представляет собой один из наиболее значимых факторов групповой интеграции, способствующих достижению организационных целей с наибольшим эффектом» [1].

Феномен лидерства занимает особое место в формировании современного взгляда на управление организацией: всё чаще можно встретить различные образовательные программы, практики, тренинги и пр., имеющие своей целью «воспитание» лидера. Спрос на подобный спектр образовательных услуг обусловлен нередко действительно высокой результативностью компаний, проектов и политик, реализуемых лидерами. Соответственно, наблюдая возрастание эффективности управления в условиях реального лидерства, руководитель стремится обеспечить присутствие последнего и у себя на предприятии. Однако проведённый нами анализ всех современных подходов к лидерству показывает, что не существует чёткого критериального аппарата, который позволяет установить, какие мероприятия должны быть осуществлены для того, чтобы сформировать лидерство в конкретном коллективе и управлять им с помощью специфически лидерских каналов воздействия.

И. В. Котляров отмечает, что «лидерство – это не только форма или разновидность социальной активности, но и способ бытия, природа которого еще полностью не изучена, что ставит новые, еще более сложные задачи перед социологией» [2].

Сущность коллективно-синергетического подхода

В свете существующей неопределённости особое значение приобретает разработка концептуальных подходов к рассмотрению данной проблемы. Имея в виду междисциплинарность изучаемого вопроса и экстраполируя достижения других наук, получаем реальную возможность рассматривать изучаемый объект с иной точки зрения. Одним из таких подходов к лидерству является коллективно-синергетический подход [3].

В его основу положен принцип синергии, определяемый как «совместное действие, взаимодействие различных потенциалов или энергий, имеющее общую направленность к идеалу, с одновременным достижением синергетического эффекта» [4].

Ключевая основа этого подхода – лидерство рассматривается как синергетический продукт группы. Очевидно, что коллектив нельзя рассматривать как простой набор определённого количества индивидов. Взаимосвязи и совокупное сложение экспектаций и потенциалов личностей, составляющих коллектив, и дают так называемый эффект синергии. Синергия коллектива – важное явление, обуславливающее необходимость самого существования коллектива для выполнения широкого спектра задач, поскольку синергетическая сумма обеспечивает большую отдачу от членов коллектива, нежели, чем каждый из них выполнял бы работу по отдельности.

Данный эффект оказывает значительное влияние на феномен лидерства. Любой член коллектива обладает совокупностью представлений о процессе управления, этот набор мы называем «управленческим идеалом», в нем сосредоточены представления, ожидания, атрибуты и психологические установки относительно системы управления. Система управления есть «совокупность элементов, функционирование которых обеспечивает эффективную деятельность, направленную на достижение цели, то есть предвосхищённого результата» [5]. В коллективе управленческие идеалы членов группы складываются в синергетическую сумму и образуют коллективный синергетический управленческий идеал. Вся совокупность идеалов группы не накладывается друг на друга, а, взаимодействуя между собой, образует один монолитный групповой идеал управления. Этот идеал логично называть лидерством, поскольку он отвечает всем чаяниям коллектива. Само лидерство, как любой идеал, является конструктом, зачастую не находящим полного отображения в действительности. Проще говоря, не существует лидера, полностью совпадающего своим «управленческим идеалом» с лидерством. Сформировав коллективный синергетический идеал, группа вынуждена искать индивида, максимально соответствующего своим личным идеалом идеалу групповому. Средой для поиска подобного индивида, как правило, становится сама группа и её ближайшее окружение. Важно понимать, что группа будет считать лидером, индивида, максимально соответствующего сформированному представлению о лидерстве. На рис. 1 представлена схема формирования лидерства.

Методы влияния на лидерство

Если исходить из того, что лидерство есть некая сумма слагаемых, то возможность управления кроется в способности влиять на слагаемые, то есть для управления лидерством необходимо воздействовать на коллектив и отдельных индивидов. На основе такого подхода можно сформировать определённые методы, которые позволяют субъекту влиять на лидерство в конкретной группе. Важным замечанием стоит отметить, то, что сам лидер тоже член коллектива и его управленческий идеал учитывается так же при формировании лидерства.

1. Рекрутинговый метод. Важнейшим инструментом для формирования лидерства можно назвать «эффект рекрутера» или «эффект основателя». Сущность этого инструмента заключается в том, что, когда происходит рекрутинг сотрудника, возникают односторонне зависимые отношения. Рекрутер осуществляет выбор из нескольких кандидатов на вакантное

место. В психологическом представлении соискателя рекрутер наделяется сразу несколькими важнейшими атрибутами: способностью реализовать его потребность, а также принадлежностью к организации, в которую соискатель хотел бы влиться. То есть в этот момент весь будущий рабочий коллектив невольно ассоциируется у кандидата с рекрутером, а это, в свою очередь, приводит к тому, что управленческий идеал индивида невольно начинает копировать общие черты представлений индивида о рекрутере. Здесь уместно говорить об «эффекте рекрутера»: неизбежной деформации управленческих идеалов завербованных членов коллектива в сторону идеала рекрутера. Этот же механизм допустимо назвать «эффектом основателя», предположив, что будущий руководитель осуществляет конкурсный отбор в только что созданную организацию. Для тех, кто пройдет этот отбор, в первое время работы руководитель будет являться и лидером одновременно. Важно внести определённую ясность в использование данного рекрутингового метода. Очевидным минусом здесь является необходимость в наборе новых членов в коллектив, что иногда может быть нецелесообразно. При этом необходимо обратить внимание на следующий момент: при использовании этого метода нужно стараться максимизировать субъективную сторону отношений. С практической точки зрения это выглядит следующим образом: если конкурс среди соискателей напрямую зависит от баллов, полученных за тестирование, или количества индивидуальных достижений, то результативность использования этого механизма будет низкой, поскольку индивид будет склонен видеть решающие факторы приема в себе самом, а не в рекрутере. Очевидно, что в рамках этой парадигмы наиболее целесообразным выглядит применение механизмов эмоционально-психологической связи, поскольку это оправдывает использование таких инструментов, как деловая встреча, собеседование, интервью и так далее.

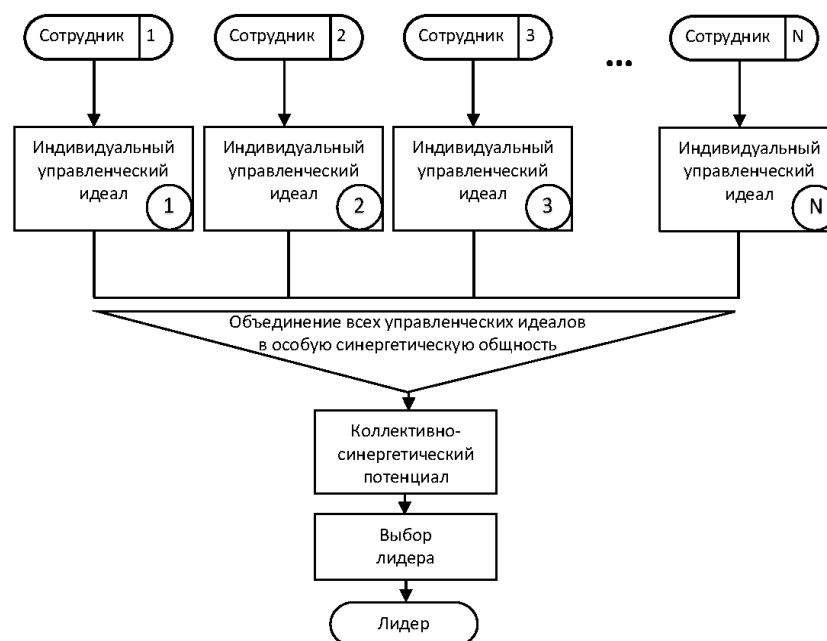


Рис. 1. Схема формирования лидерства в конкретном коллективе

Зачастую, руководители предпочитают отдавать вопросы рекрутинга на откуп HR-специалистам. Это оправдано, так как у руководителя и без того много задач, и услуги специалиста по рекрутингу помогают осуществить наиболее оптимальный отбор будущего сотрудника. Однако при этом может быть нивелирован «эффект рекрутера». Для того, чтобы минимизировать траты времени и получить значительный лидерский потенциал руководителю стоит показать кандидатам на должность превалирование своей роли в отборе соискателей. Принципиально важно, чтобы кандидаты понимали, что их дальнейшее

трудоустройство зависит от решения руководителя организации. Рациональной выглядит тактика тесного сотрудничества со специалистом по кадрам для того, чтобы вербовать вместе с новыми работниками сторонников, а не просто лояльных работников. Нужно отметить, что при условии высокой значимости, экспертности, работника «эффект рекрутёра» работать не будет, ведь в данном случае соискатель выбирает из приоритетных организаций для трудоустройства самую удобную для него, а работодатели со своей стороны желают заполнить высококлассного специалиста.

Описанный выше метод создания нужного коллективно-синергетического идеала подходит для вновь созданных или значительно расширяемых организаций. Опрометчиво будет полагать, что можно уволить старых работников и заново объявить конкурс, ведь в таком случае недоверие со стороны соискателей будет перекрывать «эффект рекрутёра». В случае, если организация не планирует масштабного расширения, а руководитель заинтересован в том, чтобы стать лидером, рационально использовать иные методы.

Остановимся на самой необходимости совмещения руководства и лидерства. Критическое значение приобретает осознание того, что лидерство не является стабильным явлением. Управленческий идеал индивида формируется под влиянием множества внутренних и внешних факторов и с течением времени имеет тенденцию к изменению. Соответственно, вслед за индивидуальным управленческим идеалом изменяется и коллективно-синергетический идеал, а значит и меняется лидерство, что непосредственно отражается на лидере. Этот аспект играет ключевую роль при формировании стратегии по управлению лидерством. Совмещение статуса руководителя и лидера объективно не может быть продолжительным, а следовательно, высокую эффективность управления, получаемую при совмещении этих двух статусов, необходимо использовать максимально полно. Именно поэтому важно начинать процесс управления коллективно-синергетическим идеалом до начала реализации сложных управленческих решений, реформ, глобальных перестроек. В таком случае, использование ресурсов, направленных на создание благоприятного лидерства, максимально себя оправдывает. Используя в правильное время совмещение руководства и лидерства, управленец может достичь высоких результатов. Особенное значение это принимает в проектной и политической деятельности, поскольку и в том, и в другом случае имеет место необходимость принятия высококачественных управленческих решений в ситуации минимальных временных промежутков.

Таким образом, обосновав целевую направленность процессов управления коллективно-синергетическим идеалом группы, мы можем перейти непосредственно к инструментам управления. Как уже говорилось выше, коллективно-синергетический подход опирается прежде всего на то, что качественное управление лидерством возможно лишь только в непосредственном взаимодействии с коллективом.

2. Метод синергетических перестановок. Он потребует от руководителя четкого представления о своих сотрудниках, чему может поспособствовать развитие внутренних коммуникаций. «Внутренняя коммуникация – это поток информации интеллектуального или эмоционального содержания, цель которого ослабление негативных моментов во взаимоотношениях руководства и служащих и усиление/поддержание позитивных» [6]. В коллективе важную роль играют формальные позиции, так более высокое положение позволяет индивиду иметь более широкий круг контактов внутри коллектива. Сделаем оговорку, что это наиболее заметно в больших коллективах, где в силу количества индивидов объективно невозможен постоянный диалог между каждым членом данной общности. Практически, в таком случае, получается, что наиболее коммуникативно слабые позиции имеют самые нижние ступени коллективной иерархии и в то же время, что парадоксально, – самые высокие. Первые вынуждены общаться только между собой и самым низшим звеном начальства, их инициатива, по естественным причинам, не будет услышана, что делает их коммуникацию малоэффективной. В то же время, на вершине иерархической пирамиды организации круг общения индивида ограничен непосредственно руководителем,

равностоящими менеджерами и руководителями ступенью ниже. Любая инициатива на этом уровне будет трактована всеми нижестоящими уровнями как приказ, вследствие чего получаемая обратная связь будет достаточно формализована и скудна. Эти процессы естественны, даже несмотря на то, что сегодня многие компании принимают определённые меры, чтобы минимизировать подобное явление, оно в любом случае имеет место быть.

Зачастую, руководители стремятся расположить лояльных к ним членов коллектива наиболее близко к себе, тем самым создавая приятную атмосферу для своей работы, но в то же время значительно снижая коммуникативную силу своих последователей. При таком раскладе, ситуация может приобрести следующий вид: в рамках коллектива существуют два меньших коллектива, первый «верхушка», которая имеет своим идеалом руководителя, а второй слой – те, кто потерял контакт со сторонниками руководителя, их идеал стал существовать отдельно от идеала «верхушки». Это создает ситуацию неблагоприятную для совмещения лидерства и руководства. Причем, зачастую, руководитель может думать, что его подчинённые считают лидером его, ведь его ближний круг закрывает собой всю действительную картину. Для того, чтобы избежать подобной ситуации, можно применять метод «синергетических перестановок». Сущность этого метода базируется на том, что резоннее распределить сильные коммуникативные позиции в середине иерархии коллектива между сторонниками руководителя, а слабые позиции -вверху и внизу, стараясь обогатить количеством тех, кто имеет более альтернативный вариант управленческого идеала. Достаточно странно звучит утверждение, что в ближний круг руководитель должен включить по возможности больше своих противников. Однако, опираясь на коллективно-синергетический подход, мы можем доказать высокую эффективность такого шага:

- во-первых, средние позиции, занятые сторонниками, тщательно «фильтруют» прямую и обратную связи, придавая им нужный для лидера оттенок, таким образом нивелируя роль риторики противников, модифицируя ее в положительную риторику;

- во-вторых, близость к руководителю его противников, заставит их почувствовать свою причастность к принимаемым решениям, тем самым заставляя их складывать управленческий идеал с идеалом руководителя.

- в-третьих, нижние слои иерархии в силу слабости своей коммуникативной позиции не смогут оказать значительного влияния на общий синергетический идеал, в то время как их позиция всегда будет абсорбироваться средним звеном.

Важно понимать, что речь идет о концентрации определённых сил в разных участках коллективной иерархии, но не о полном превращении этих слоев в монолитные структуры, состоящие только из последователей или противников. Очевидно, что вершина коллективно-организационной иерархии не должна состоять только из противников лидера. В таком случае, из-за чрезмерной силы противников руководитель рискует сам потерять свой идеал и сменить его в соответствии с идеалом противников. «Противники» и «последователи» - понятия используемые здесь намеренно для понимания темы, очевидно, что в реальности, это люди, имеющие схожий или иной вид управленческого идеала. В сущности, очевидные противники лидера могут сыграть ему на пользу, поскольку их управленческий идеал отличается от нужного лишь приставкой «не», то есть они понимают под лидером именно не-этого индивида, тем самым невольно способствуя его структуризации, поскольку так же как и сторонники, стремятся обозначить его форму. Такие индивиды могут сыграть роль некой оппозиции, которая будет помогать понимать границы текущего лидерства. Это всё возможно с учётом небольшой концентрации таких индивидов, что очевидно. В методе «синергетических перестановок» стоит таргетировать две группы: индивиды с управленческим идеалом, близким к управленческому идеалу лидера, и индивидов, чей управленческий идеал другой, тот в который фигура руководителя не вписывается.

Метод синергетических перестановок открывает широкие возможности для управления лидерством и имеет явные преимущества перед использованием «эффекта рекрутёра». Однако у него есть свои недостатки. Во-первых, чрезмерное использование перестановок

может резко сменить микроклимат коллектива. В группах, где мобильность была традиционно низкой, резкая перестановка может стать настоящей революцией, и общий всплеск настроений может серьезно повлиять на коллективно-синергетический идеал, тем самым результативность самой перестановки не будет достигнута.

3. Метод компьютерного моделирования. Необходимая во всех вышеописанных случаях осторожность и умеренность может быть достигнута за счёт глубокой аналитики. В больших коллективах количество данных, собираемых для анализа, может быть весьма значительным, а, если учитывать то, что управленческий идеал понятие динамичное, то сбор данных и их первичная аналитика должны осуществляться на регулярной основе. Всё это, конечно, невозможно представить без использования современных компьютеризированных систем. При использовании значительной вычислительной мощности современного оборудования в аналитическую матрицу можно заложить огромное количество качественных факторов. В то же время, наблюдение за поведением коллектива с использованием искусственного интеллекта, может предоставить руководителю более широкое представление о текущем состоянии коллективно-синергетического идеала.

Особенную роль в этом ключе приобретают методы компьютерного моделирования, ведь при достаточно изученном коллективе представляется возможность создать его компьютеризированную модель, и прежде чем начинать «синергетические перестановки» внутри коллектива, их можно «обкатать» в эмуляторе.

Выводы

Управление лидерством это новая отрасль знания, требующая подготовки соответствующих специалистов в данной области. Переориентация с работы над индивидами на работу над коллективами создаст новое пространство для научных изысканий и эмпирических исследований. В то же время, чем скорее начнется работа по созданию и последующему внедрению компьютерных автоматизированных систем по анализу коллективно-синергетического идеала, тем скорее и больше удастся накопить опыта в этом вопросе, что позволит формировать готовые решения для отдельных коллективов, а это станет не только коммерчески обосновано, но и выгодно для государственного управления.

Список литературы:

1. Капица, С. И. Социологический анализ процесса формирования основных навыков и инструментов эффективного лидерства, основанного на видении будущего / С. И. Капица // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2009. – №103. – С. 190-198.
2. Котляров, И.В. Лидерство в историческом нарративе (социологический дискурс) / И.В. Котляров // Социологический альманах. – 2015. – №6. – С. 16-43, С. 18.
3. Симутин М. С. Коллективно-синергетическая природа лидерства / М. С. Симутин // Молодой ученый. – 2020. – № 17 (307). С. 427-429.
4. Берсенева, Т.П. Синергия. Синергетика. Диалектика. / Т.П. Берсенева // Человек и культура. – 2013. – № 5. – С. 35 - 46.
5. Правовые методы управления. - Текст: электронный // Экономика - инновационные подходы. – 2021. – URL: <http://www.bibliotekar.ru/economika-9/22.htm> (Дата обращения: 12.01.2021).
6. Проблемы внутренней коммуникации в российских компаниях. - Текст : электронный // Лаборатория рекламы, маркетинга и public relations. – 2021. -URL:

References:

1. Kapitsa, S.I. Sociological Analysis of the Process of Forming the Basic Skills and Tools of Effective Leadership Based on the Vision of the Future / S.I. Kapitsa // Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences. – 2009. – vol. 103. – pp. 190-198.
2. Kotlyarov, I.V. Leadership in the Historical Narrative (sociological discourse) / I.V. Kotlyarov // Sociological Almanac. – 2015. – vol. 6. – pp. 16-43, p. 18.
3. Simutin M.S. Collective-synergetic Nature of Leadership / M. S. Simutin // Young Scientist. – 2020. – vol. 17 (307). pp. 427-429.
4. Berseneva T.P. Synergy. Synergetics. Dialectics. / T.P. Berseneva // Man and Culture. – 2013. – vol. 5. – pp. 35-46.
5. Legal Methods of Management. – Text: electronic // Economics – Innovative Approaches. – 2021. – Available at: <http://www.bibliotekar.ru/economika-9/22.htm> (accessed 12 January 2021).
6. Internal Communication Problems in Russian Companies. – Text: electronic // Laboratory of Advertising, Marketing and Public Relations. 2021.

// <http://www.advlab.ru/articles/article243.htm> (Дата обращения: 12.01.2021).

– Available at:
<http://www.advlab.ru/articles/article243.htm> (accessed 12 January 2021).

Статья поступила в редколлегию 12.11.2020.

*Рецензент: д-р. техн. наук, доц.,
Брянский государственный технический университет
Захарова А.А.*

Статья принята к публикации 16.12.2020.

Сведения об авторах

Карпенко Екатерина Викторовна

кандидат социологических наук, доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Брянский филиал).

Симутин Михаил Сергеевич

студент 2-го курса по направлению подготовки «Государственное и муниципальное управление» Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Брянский филиал).

Information about authors:

Karpenko E.V.

Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor of the Department of Social and Humanitarian Disciplines of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Bryansk branch).

Simutin M.S.

2nd year student in the direction of training “State and Municipal Administration” of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Bryansk branch).

УДК: 681.5.011

DOI:10.30987/2658-6436-2021-1-42-51

А.К. Кулагин, А.Н. Феофанов

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОДУЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ

В настоящее время информационные системы используются во всех сферах деятельности человеческого общества. Основным критерием оптимальной работы информационной системы предприятия является полная автоматизация. Это особенно важно при необходимости обрабатывать огромные потоки данных. В связи с этим, реализация автоматизированных систем управления крайне необходима. Они значительно повышают эффективность во всех сферах производства и улучшают продуктивность работы сотрудников. При этом необходимо особое внимание обращать не только на создание единой информационной среды, но и на возможность оценки загруженности и функциональности ее отдельных компонентов. Такую возможность дает применение основ построения функциональных моделей подсистем.

Ключевые слова: моделирование, автоматизация, ИТ-инфраструктура, система управления данными, техническая поддержка.

A.K. Kulagin, A.N. Feofanov

IMPROVING THE QUALITY OF FUNCTIONING TECHNICAL SUPPORT MODULES OF IT- INFRASTRUCTURE

Currently, information systems are used in all fields of the human society. The main criterion for the optimal operation of an enterprise information system is complete automation. This is especially important when you need to handle huge data streams. In this regard, implementing automated control systems is extremely necessary. They significantly increase efficiency in all the areas of production and improve employees' productivity. In this case, it is necessary to pay special attention not only to creating some unified information environment, but also to the possibility of assessing the workload and functionality of its individual components. Such an opportunity is provided by applying the foundations of constructing the subsystem functional models.

Keywords: modeling, automation, IT-infrastructure, data management system, technical support.

Введение

По мере широкого распространения электронной техники на предприятиях, растет актуальность поддержки конечных пользователей, количество которых в последнее время значительно увеличилось сотрудниками, не имеющими соответствующей подготовки. Поэтому на предприятиях остро встает вопрос о поддержке пользователей своих программных продуктов.

Премьер-министр России Мишустин М. В. заявил, что в ближайшее время в нашей стране будет разработана ведомственная программа «цифровой трансформации», реализовывать которую будут заместители министерств и ведомства, ответственные за цифровизацию.

«Я могу сказать, что это цифровой спецназ правительства, можно его так даже назвать», — отметил Мишустин М. В., также добавив, что данные специалисты будут внедрять новые формы и методы работы и на деле «доказывать преимущества цифровых технологий своим руководителям, коллегам, а главное — гражданам» [1].

Реализация будет проходить в рамках нацпроекта «Цифровая экономика». Разрабатываемая программа будет рассчитана на три года.

Данные инициативы правительства ставят новые амбициозные задачи по внедрению автоматизированных информационных систем, которые позволят экономике нашей страны выйти на новый уровень.

Также в недавнем обращении президент России Владимир Владимирович Путин заявил: «У нас огромные планы по развитию так называемых национальных проектов, достижению национальных целей развития. Вот это вот реальный план, который мы должны реализовать», – сказал глава государства на встрече с ветеранами Великой Отечественной войны в Санкт-Петербурге [2].

Во время Послания Федеральному собранию, которое состоялось 15 января 2020 года, Владимир Путин уделил особое внимание национальному проекту «Цифровая экономика». Глава государства поручил значительно ускорить рассмотрение технологических законопроектов. Благодаря этому законопроекту в России должны быть разработаны инновационные технологии и стандарты, в таких сферах как искусственный интеллект и цифровые технологии.

Поэтому так важно внедрять новые и передовые автоматизированные системы управления, которые будут повышать качество функционирования информационных систем организаций и предприятий.

1. Анализ исследовательских работ

На тему автоматизации производств и предприятий было написано множество трудов учеными России, такими как: Китов А. И., Ляпунов А. А., Берг А. И., Соломенцев Ю. М., Митрофанов В. Г., Феофанов А. Н., Гришина Т. Г., Иванов А. А., Капитанов А.В., Исаев В. П.

Для анализа работы были взяты научные труды разных направлений, которые раскрывают отдельные аспекты изучаемой темы. К ним относятся работы Исаева В. П. «От атома до космоса: 50 лет АСУ», Гришина Т. Г. «Оптимизация подсистем автоматизированного производства», журнал «Технология Машиностроения», Митрофанова В. Г. «Современные подходы в области внедрения корпоративных информационно-управляющих систем». Но они скорее описывают основы внедрения автоматизации на производстве, а не затрагивают такое популярное направление как техническая поддержка ИТ-инфраструктуры.

Проведя анализ научных трудов, были выявлены основные проблемы, возникающие при внедрении автоматизированной системы на производстве:

1. Угрозы информационной безопасности и человеческой жизни: автоматизированная система имеет определенный уровень интеллекта и функциональности, поэтому может совершать ошибки за пределами заданной программы.

2. Высокие расходы на разработку: стоимость исследований и разработки процесса автоматизации вполне может превышать средства экономии от нее.

3. Высокая начальная стоимость: автоматизация производства или нового продукта требует крайне больших финансовых вложений по сравнению с изначальной стоимостью продукта, но стоимость автоматизации может быть распределена среди множества продуктов и с течением времени.

В настоящее время с развитием автоматизированных информационных систем, применяемых на предприятиях, становится все больше научных статей на данную тематику. Но крайне мало затрагивается тема качества функционирования технической поддержки, которая играет немаловажную роль в развитии предприятия в целом.

В публикации Мешкова А. В. «Автоматизация работы отдела технической поддержки ФГУ ВПО МИЭМ (ТУ) путем внедрения автоматизированной информационной системы» описывает необходимость внедрения автоматизированной системы, а не ее улучшение.

В статье Феофанова А.Н., Баранова Н.Е. «Обзор развития АСУ производством и типовые риски внедрения системы» рассмотрены вопросы использования автоматизированных систем управления (АСУ) на производственных предприятиях в настоящее время. И проведен анализ неудачи внедрения ERP систем в нашей стране.

Также некоторые аспекты о разработке автоматизированной информационной системы описывает статья иностранных авторов: Джозефа Йодера (Joseph Yoder) и Брайана Фути (Brian Foote) под названием «Большой комок грязи» («Big Ball of Mud») [3]. Но она скорее носит когнитивный характер, нежели имеет применение в улучшении функциональности системы.

2. Компонентное и функциональное моделирование подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Рассмотрим компонентную модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой» на примере автоматизированной информационной системы Пенсионного фонда Российской Федерации.

Компонентная модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой» состоит из шести компонентов, десяти модулей и шестнадцати подмодулей. На рисунке 1 представлен верхний уровень модели.

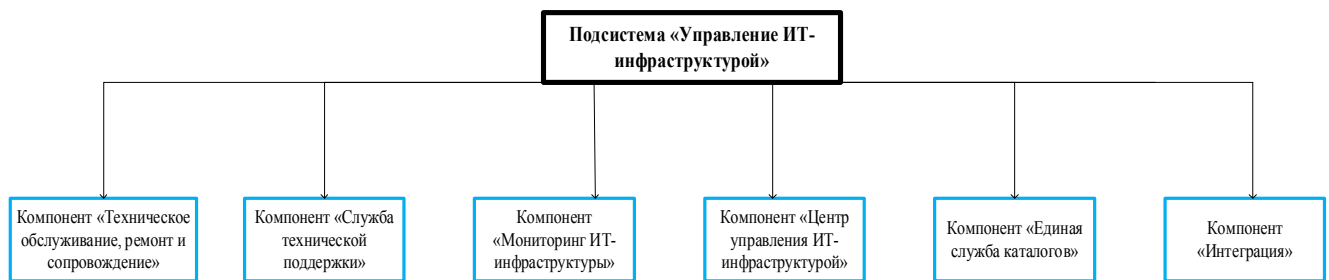


Рис.1. Компонентная модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Первый компонент, входящий в подсистему, называется «Техническое обслуживание, ремонт и сопровождение» (рисунок 2). Из названия следует, что он отвечает за техническое обслуживание, ремонт и сопровождение серверного оборудования, стационарных ПК и сетевой телефонии. В этот компонент входит модуль управления ИТ-активами, который отвечает за учет и регистрацию ИТ-актива, и модуль администрирования, который в свою очередь отвечает за внесение нового элемента подсистемы и управление конфигурациями.

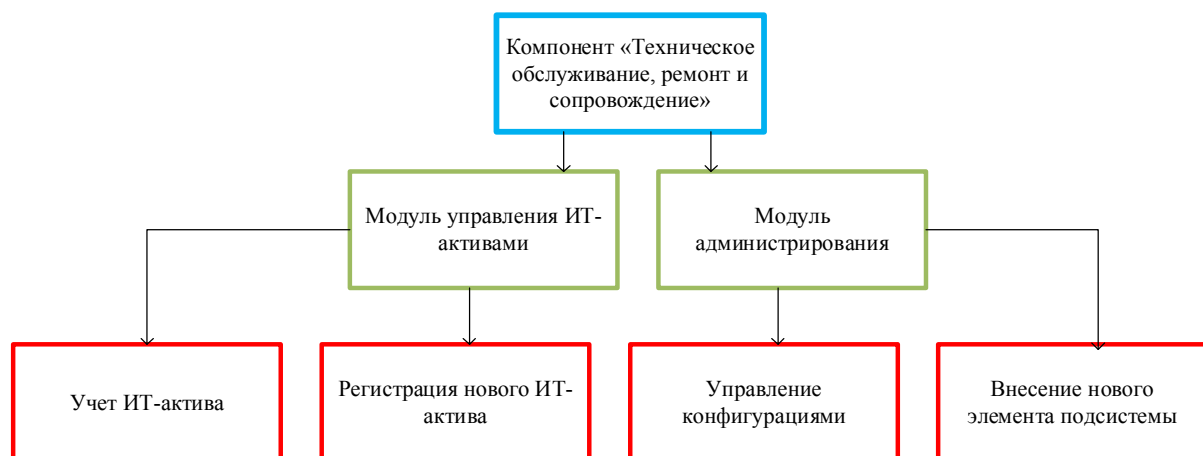


Рис.2. Модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Далее рассмотрим компонент «Служба технической поддержки» - рисунок 3. Он состоит из Модуля управления обращениями (заявками) пользователей и Модуля управления инцидентами. Первый модуль отвечает за регистрацию и дальнейшее сопровождение обращений в систему технической поддержки, поступивших на почтовый ящик или по телефону. Второй же отвечает за создание инцидентов по проблемам с оборудованием в систему технической поддержки из системы мониторинга, а также маршрутизирует инциденты ответственным лицам.

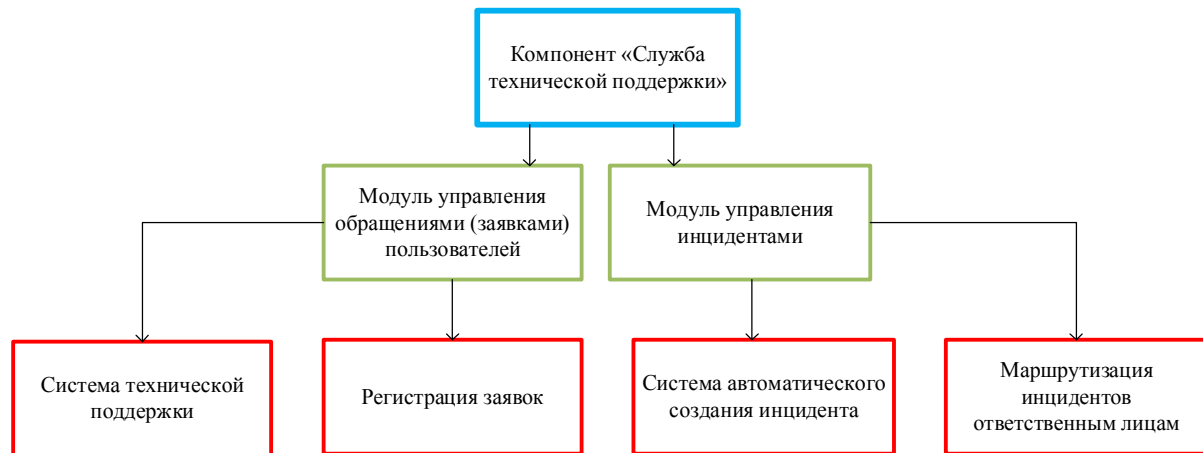


Рис.3. Модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Следующий компонент имеет название «Мониторинг ИТ-инфраструктуры» и представлен на рисунке 4.

В составе данного компонента находится модуль мониторинга серверов и приложений, отвечающий за оповещение о неисправности серверов и приложений и Модуль мониторинга сети, проводящий проверку ЛВС/ИЛВС на выявление неисправностей, и оповещение заинтересованных лиц.

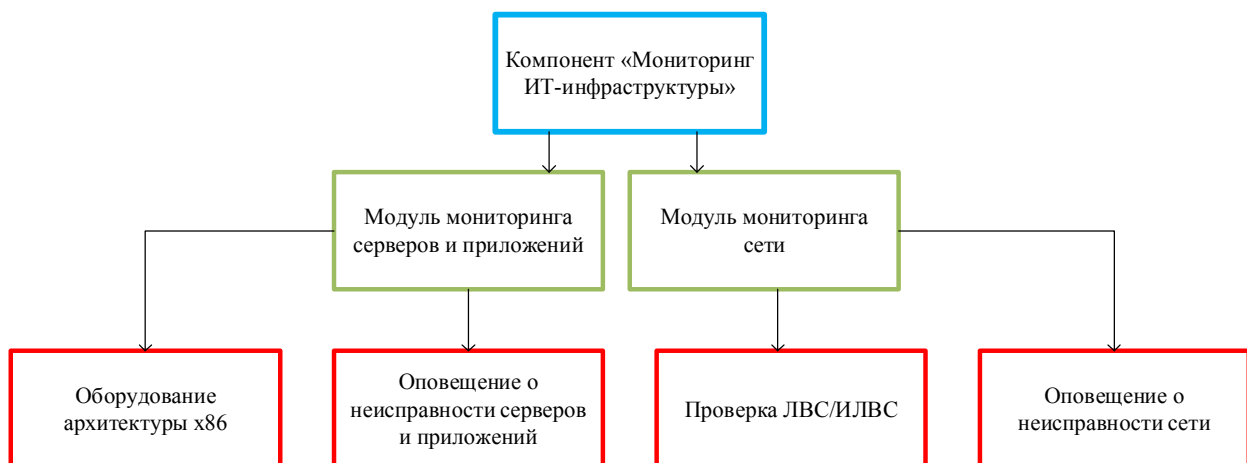


Рис.4. Модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

«Центр управления ИТ-инфраструктурой» - следующий компонент подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой» представлен на рисунке 5. Состоит из Модуля управления «Сетевое обеспечение», отвечающего за управление распределением сетевых ресурсов и администрированием среды виртуализации. А также из модуля управления «Вычислительное оборудование», управляющего средами виртуализации и формирования отчетов о состоянии и использовании ресурсов сред виртуализации.



Рис.5. Модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Компонент «Единая служба каталогов» представлен на рисунке 6. В его состав входит модуль «Документооборот», который в соответствии с названием отвечает за документооборот компании.

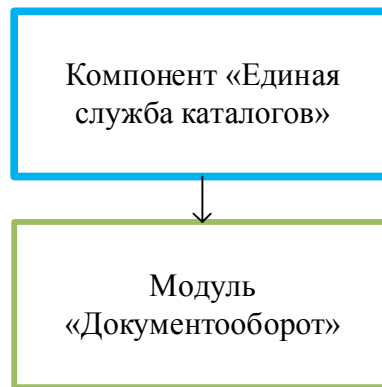


Рис.6. Модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

И заключительный компонент подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой» носит название «Интеграция» (рисунок 7) - в него входит модуль «Взаимодействие» который также в соответствии с названием обеспечивает взаимодействия между подсистемами.



Рис.7. Модель подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Функциональные модели модулей подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

А теперь проведем функциональное моделирование модулей подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой».

На рисунке 8 представлена функциональная модель модуля управления обращениями (заявками) пользователей.

Как видно из рисунка, главная функция – это прием заявки. При приеме новой заявки заполняются данные в систему технической поддержки, где заполняется информация о проблеме, и происходит выбор инициатора в системе. Создается рабочее задание (при необходимости можно создать дочернее РЗ для подключения специалистов другой классификации), происходит выбор классификации и автоматизированная отправка заявки на исполнителя. Данная модель позволяет оперативно создать заявку от пользователя.

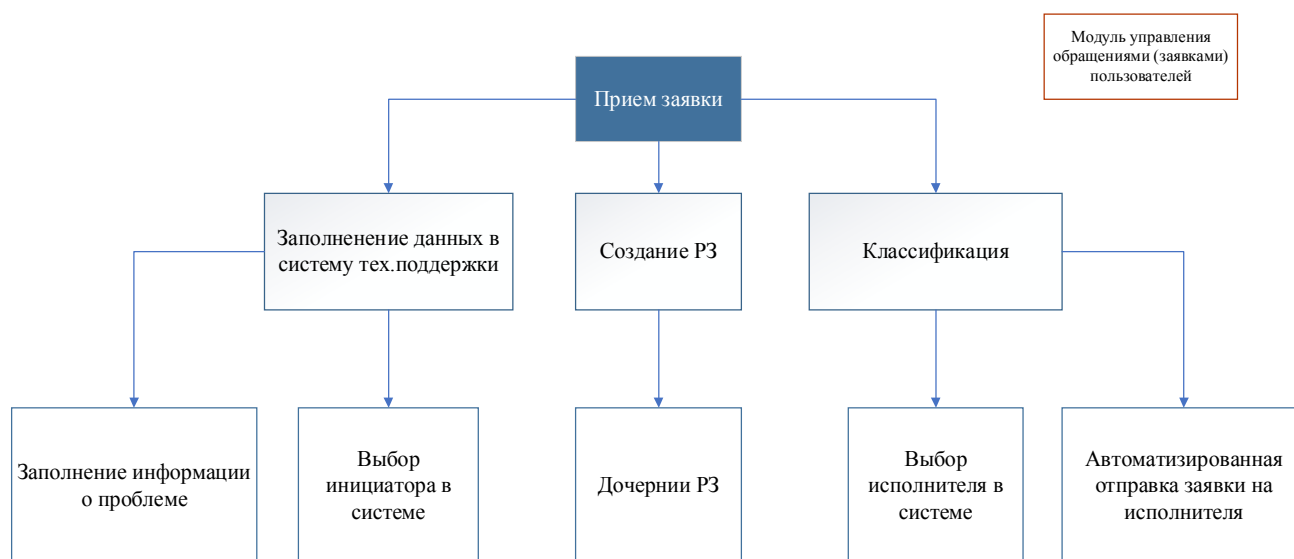


Рис.8. Функциональная модель Модуля управления обращениями (заявками) пользователей

Далее на рисунке 9 рассмотрим модель модуля управления ИТ-активами, главной задачей которого является учет данных. Одной из функций первого и второго уровня данного модуля является создание связи между процессами и сетевой маршрутизации между модулями. Она позволяет в режиме реального времени обмениваться данными между модулями.

Еще одной функцией первого уровня является автоматизированный учет процессов, который отправляет данные в базу данных (второй уровень). Из базы данных информация отправляется в базу сведений (третий уровень) по необходимости. В свою очередь из БД можно запросить нужную информацию.

Также функция учета данных выполняет контроль за изменениями процессов на протяжении всего ЖЦ (первый уровень) с помощью среды виртуализации (второй уровень). За счет этого происходит обеспечение контроля за изменениями процессов системой мониторинга (третий уровень).

И заключительная модель - модуль мониторинга ИТ-инфраструктуры, главной функцией которого является мониторинг ИТ-инфраструктуры (представлен на 10 рисунке).

Проходит проверка статуса функционирования компонента (первый уровень) с помощью автоматизированного мониторинга компонентов (второй уровень), который назначает инцидент на исполнителя (третий уровень).

Еще одной функцией является сохранение собранной информации и проверка на использование ресурсов компонентами в базе данных (первый уровень и второй уровень). Из

БД можно запросить необходимые данные (третий уровень). Модель позволяет в режиме реального времени отслеживать проблемы с оборудованием подсистемы.



Рис.9. Функциональная модель модуля управления ИТ-активами

Данные модели имеют большую перспективность в развитии автоматизации ИТ-инфраструктуры. С помощью них возможна унификация при внедрении автоматизированных средств на производстве, что значительно снизит их стоимость. А также в дальнейшем позволит выработать алгоритм позволяющий производить отбор характеристик функционирования технической поддержки ИТ-инфраструктуры.

2. Выбор направления совершенствования подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой»

Ранее мы рассмотрели функциональную модель подсистемы. Данное моделирование позволило наглядно увидеть ее сильные и слабые стороны. Некоторые элементы сильно загружены, а некоторые требуют автоматизации, что в свою очередь перегружает систему. Рассмотрим способы совершенствования подсистемы, которая в полной мере бы

удовлетворяла требованиям к функциональности, эффективности и скорости работы.



Рис.10. Функциональная модель Модуля мониторинга ИТ-инфраструктуры

Некоторые функции необходимо автоматизировать. В модуле «Управления обращениями (заявками) пользователей» заполнение информации о проблеме и выбор инициатора в системе необходимо заполнять автоматически исходя из данных почты сотрудника. Это в несколько раз увеличит скорость обработки заявок операторами.

В Модуле управления ИТ-активами необходимо исключить «Базу сведений», это позволит разгрузить данный модуль. А предоставление информации будет осуществляться исключительно из самой БД.

В свою очередь в Модуле мониторинга ИТ-инфраструктуры верхнего уровня в функции «Сохранение собранной информации в базе данных» каждый день скапливается множество инцидентов, что может спровоцировать отказ модуля и в дальнейшем подсистемы в случае заполнения памяти. Необходимо оптимизировать данную функцию и выделить ее в отдельный модуль. Это позволит значительно разгрузить модуль. Также необходимо реализовать функцию интеллектуального анализа, которая позволит проводить анализ поступающих инцидентов и в случае кратковременного сбоя (которые происходили неоднократно), не влияющего на работоспособность подсистемы в целом, не отправлять оповещение исполнителям.

Данные меры позволят существенно повысить скорость работы подсистемы в целом, а также повысит скорость и качество работы сотрудников.

Выводы

Разработка модели и выбор направления по совершенствованию подсистемы «Управление ИТ-инфраструктурой» значительно повысит качество функционирования ИТ-инфраструктуры технической поддержки. Но данное моделирование занимает огромное количество времени и требует больших ресурсов, поэтому разработка автоматизированной системы выбора характеристик функционирования технической поддержки ИТ-инфраструктуры упростит совершенствование системы на производстве или предприятии, а также значительно повысит ее функциональность.

Список литературы:

1. Гришина, Т. Г. Оптимизация подсистем автоматизированного производства / Т.Г. Гришина // Технология Машиностроения. - 2011. - №9. - С.54-56.
2. Капитанов, А.В. Автоматизированные управленческие системы в промышленности / А.В. Капитанов, В.И. Мишатин // Вестник МГТУ «Станкин». - 2012. - №2.
3. Митрофанов, В. Г. Современные подходы в области внедрения корпоративных информационно-управляющих систем / В.Г.Митрофанов, А.В. Капитанов // Электротехнические комплексы и системы управления. - 2012. - №3. - С. 27.
4. Мешков, А. В. Автоматизация работы отдела технической поддержки ФГУ ВПО МИЭМ(ТУ) путем внедрения автоматизированной информационной системы
5. Феофанов, А.Н. Обзор развития АСУ производством и типовые риски внедрения системы / А.Н. Феофанов, Н.Е. Баранов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. - 2019. - № 3. -С. 116-119.
6. Мишустин объявил о создании в ближайшее время «цифрового спецназа правительства» – Текст : электронный // Сайт «Коммерсантъ». – 2020. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4285131> (дата обращения: 12.03.2020). [1]
7. Путин сообщил об «огромных планах» по развитию нацпроектов – Текст : электронный // Сайт «РБК». – 2020. – URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5e232aeb9a7947c58641b77b> (дата обращения: 18.01.2020). [2]
8. Большой комок грязи – Текст : электронный // Сайт «BRIAN FOOTE». – 2020. – URL: <http://www.laputan.org/mud/> (дата обращения: 06.12.2020) [3].

References:

1. Grishina, T.G. Optimizing Automated Production Subsystems / T.G. Grishina // Technology of Mechanical Engineering. – 2011. – no. 9. – pp. 54-56.
2. Kapitanov, A.V. Automated Management Systems in Industry / A.V. Kapitanov, V.I. Mishatin // Vestnik MSTU “Stankin”. – 2012. – no. 2.
3. Mitrofanov, V.G. Modern Approaches to Implementing Corporate Information and Control Systems / V.G. Mitorofanov, A.V. Kapitanov // Electrotechnical Complexes and Control Systems. – 2012. – no. 3. – P. 27.
4. Meshkov, A.V. Automating the Work of the Technical Support Department of FSI HVE MIEM (TU) by introducing an automated information system.
5. Feofanov, A.N. Review of the Development of Automated Control System by Production and Typical Risks of System Implementation /A.N. Feofanov, N.E. Baranov // Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences. – 2019. – no. 3. – pp. 116-119.
6. Mishustin Announced the Creation of the “Digital Special Forces of the Government” in the Near Future. – Text: electronic // Site “Kommersant”. – 2020. – Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/4285131> (assessed 12 March 2020). [1]
7. Putin Announced “Huge Plans” for Developing National Projects. – Text: electronic // Site “RBK”. – 2020. – Available at: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5e232aeb9a7947c58641b77b> (assessed 18 January 2020). [2]
8. Big Ball of Mud. – Text: electronic // Website “BRIAN FOOTE”. – 2020 – Available at: <http://www.laputan.org/mud/> (assessed 06 December 2020) [3].

Статья поступила в редколлегию 25.12.2020.

Рецензент: канд. техн. наук, доц., Брянский государственный технический университет Подвесовский А.Г.

Статья принята к публикации 11.01.2021.

Сведения об авторах

Кулагин Алексей Константинович

Студент аспирантуры, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (Москва, Россия)
E-mail: alex.kulagin1996@gmail.com

Information about authors:

Kulagin A.K.

Postgraduate student,
FSBEI HE MSTU “STANKIN” (Moscow, Russia)
E-mail: alex.kulagin1996@gmail.com

Феофанов Александр Николаевич

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Инженерная графика», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (Москва, Россия)

E-mail: feofanov.fan1@yandex.ru

Feofanov A.N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department “Engineering Graphics”, FSBEI HE MSTU “STANKIN”

E-mail: feofanov.fan1@yandex.ru

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

УДК: 681.5.011

DOI:10.30987/2658-6436-2021-1-52-60

А.Г. Бушева, А.Н. Феофанов

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА ЭКСПЕРТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОРРЕКТИРОВОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРЛИЛЬНОГО КОНДУКТОРА

В данной статье представлены основные проблемы, возникающие при эксплуатации сверлильного кондуктора. В работе рассмотрены основные узлы кондуктора и их назначение. Произведен FMEA-анализ, на основе которого выявлены основные риски для потребителя, возникающие в процессе эксплуатации, и предложены корректировочные мероприятия, способные повысить качество изделия. Разобраны основные методы, применяемые для отбора экспертов, а также рассмотрена автоматизированная система отбора экспертов в Российском Научном Фонде. Представлена схема разрабатываемой системы поддержки принятия решений и алгоритм работы автоматизированной системы отбора экспертов, для проведения корректировочных мероприятий, включающий в себя различные методики.

Ключевые слова: автоматизация, эксперт, экспертная оценка, автоматизированная система, алгоритм, кондуктор для сверления.

A.G. Busheva, A.N. Feofanov

DEVELOPING THE ALGORITHM OF AN AUTOMATED EXPERT SELECTION SYSTEM FOR CONDUCTING CORRECTION MEASURES TO IMPROVE THE DRILLING JIG PERFORMANCE

This article presents the main problems that arise during the drilling jig operation. The paper considers the main nodes of the jig and their purpose. An FMEA-analysis is carried out, on the basis of which the main risks for the consumer arising during the operation are identified, and corrective measures are proposed to improve the product quality. The main methods used for choosing the experts are analyzed, and an automated system for selecting the experts in the Russian Science Foundation is considered. The article presents the scheme of the developed decision support system and the algorithm of the automated system for selecting the experts to carry out corrective measures including various methods.

Keywords: automation, expert, expert judgment, automated system, algorithm, drilljig.

Введение

В современном мире существенное внимание уделяется качеству выпускаемой продукции. Качество, как и конкурентоспособность напрямую зависит от управленческих решений, принимаемых на всех этапах жизненного цикла изделия. После перехода к постиндустриальному обществу, теоретические знания о процессах представляют ключевую ценность для человечества.

Для принятия того или иного управленческого решения нередко привлекаются экспер-

ты, их основной задачей является формирование мнения, с целью последующего принятия решения или выбора. Экспертный метод является одним из самых эффективных, но при этом самым сложно реализуемым, т.к. отбор экспертов достаточно трудоёмкий процесс. Существует огромное количество методов отбора экспертов: документальный, экспериментальный, взаимная оценка и самооценка степени компетентности и объективности. Ни один из этих методов не даёт 100% гарантии в том, что выбранное решение будет верным [1].

Отсутствие автоматизированной системы, способной выбирать необходимых экспертов для оценки по заданным параметрам является причиной неослабевающего интереса исследователей к данной теме. От выбора эксперта, зачастую зависит дальнейшая судьба всего предприятия.

Одним из наиболее часто применяемых приспособлений для повышения точности сверления и сокращения вспомогательного времени является сверлильный кондуктор. Его применяют в крупносерийном и единичном производстве. При этом наиболее часто втулки кондуктора имеют низкую износостойкость. Для этого необходимо решить проблему снижения цены без потери качества.

1. Кондуктор для сверления

1.1. Устройство и работа изделия

Кондуктор устанавливается на вертикально-сверлильный станок и предназначен для ориентации и зажима детали при сверлении трех отверстий. На рис. 1 изображен такой кондуктор [2].

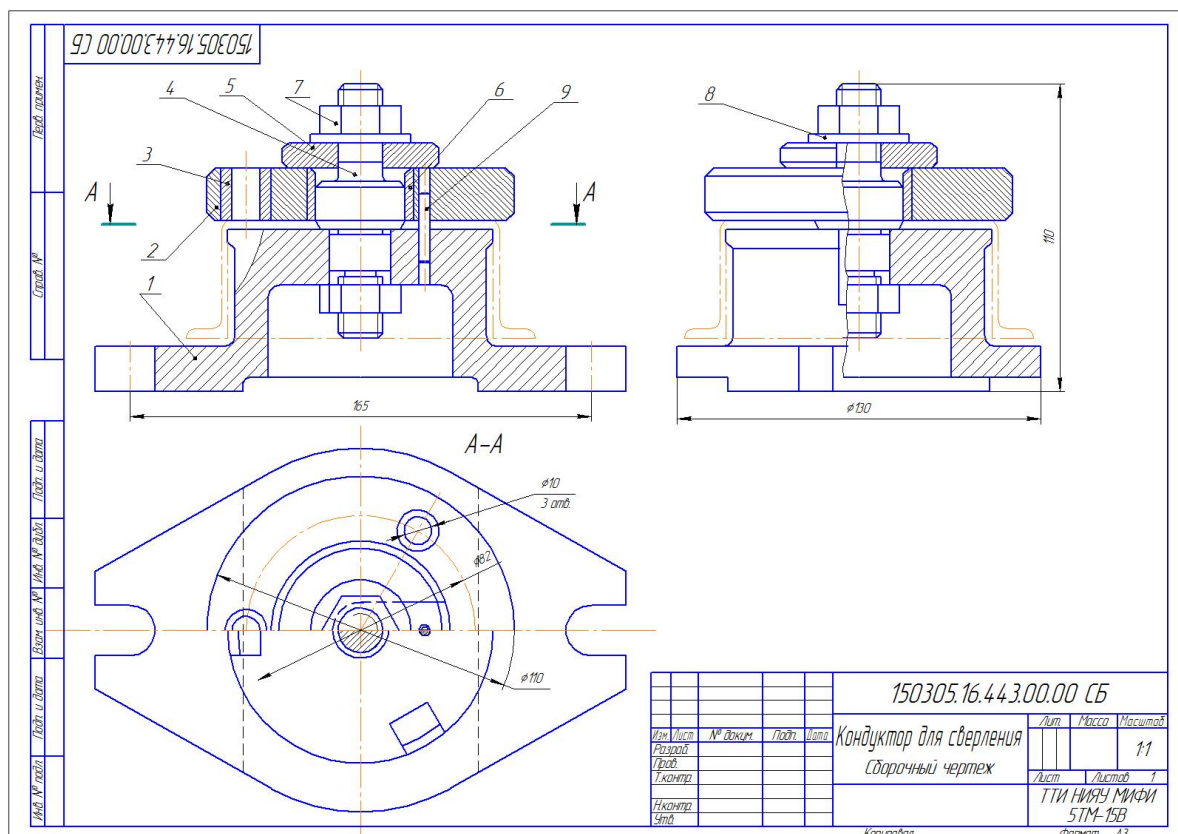


Рис. 1. Кондуктор для сверления

Для изготовления корпуса 1 применяется сталь. Корпус имеет три фрезерованных паза для сверла. Чтобы установить деталь (на чертеже она обозначена тонкой штрихпунктирной

линией) используется верхний цилиндрический пояс.

Для изготовления втулок 7 используется закалённая сталь. Втулки используются для точной установки кондукторной плиты 2, в которую она запрессована, на палец 4.

Кондукторы применяются для обработки отверстий в деталях без предварительной разметки. Обеспечение точности происходит в результате точной взаимной установкой детали и кондукторной плиты. Кондукторы применяются, когда есть необходимость повысить производительность труда и точность.

1.2 Определение потребительских свойств выбранного изделия и построение матрицы структурирования функций качества

Для того, чтобы выявить сложности, возникающие у потребителя во время эксплуатации изделия, необходимо выявить взаимосвязи (рис. 3) между характеристиками качества и запросами потребителя. Для решения этой задачи воспользуемся матрицей структурирования функций качества. Этот инструмент позволяет связать оценку потребителя с характеристиками качества проектируемой продукции [3]. Матрица для кондуктора представлена на рис. 2.

--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--

Рис. 2. Матрица структурирования функций качества сверлильного кондуктора

		Коэффициент
⊗	Сильная связь	9
○	Умеренная связь	3
▲	Слабая связь	1
++	Сильная положительная корреляция	
+	Положительная корреляция	
—	Отрицательная корреляция	
▼	Сильная отрицательная корреляция	
▼	Цель-минимизировать	
▲	Цель-увеличить	
X	Добавление новых элементов	

Рис. 3. Условные обозначения взаимосвязей между компонентами

Согласно составлению матрицы структурирования функций качества основными “узкими местами” нашего изделия являются:

- низкая долговечность;
- наличие всего одного варианта для сверления отверстий;
- большая масса.

1.2 Проведение FMEA-анализа сверлильного кондуктора и определение возможных рисков потребителей

FMEA (Failure modes and effects analysis) – анализ причин и последствий отказов. Данный метод исследования позволяет выявить потенциальные дефекты и причины их возникновения. Главным преимуществом данного метода является то, что он позволяет выявить проблемы до оказания воздействия на потребителя. Для этого производятся экспертные оценки по следующим параметрам:

- тяжесть последствий для потребителя В – проставляется по 10-ти бальной шкале, если последствия дефекта для потребителя несут юридическую оценку, то присваивается оценка 10;
- частота возникновения дефекта А – проставляется по 10-ти бальной шкале, если частота возникновения дефекта выше, чем $\frac{1}{4}$, то присваивается оценка 10;
- вероятность не обнаружения дефекта Е – проставляется по 10-ти бальной шкале, если дефект не может быть выявлен до наступления последствий, то присваивается оценка 10;
- параметр риска потребителя RPZ является произведением всех вышеперечисленных параметров. Дефекты, чей показатель RPZ больше 100 подлежат устранению в первую очередь.

FMEA-анализ сверлильного кондуктора представлен в таблице 1.

На основании FMEA-анализа выявлены основные риски для потребителя:

1. Испорченная поверхность резания.
2. Быстрый износ режущего инструмента.

Самый проблемной частью нашего изделия является втулка. Она оказывает негативное влияние не только на само изделие, но и на режущий инструмент.

Корректировочные мероприятия:

1. Проведение более усиленного контроля закупок материала, а именно стали, из которого изготавливаются втулки.
2. Применение стандартов ИСО-9000 в процессе производства комплектующих и сборки изделия.
3. Ужесточение технического контроля в процессе производства.
4. Проверка работоспособности\правильности функционирования изделия после его изготовления\при его приобретении.
5. Применение новых методов контроля за температурой закалки втулки.

Таблица 1. FMEA-анализ сверлильного кондуктора

Компонент	Потенциальные дефекты	Потенциальные причины	Потенциальные последствия	Возможная диагностика	A	B	E	RPZ
1. Корпус	Корпус недостаточно прочно удерживает остальные элементы	1.Неправильный выбор материала 2. Большая погрешность при изготовлении 3.Износ корпуса	1.Увеличение погрешности при сверлении 2.Поломка кондуктора	Входной, выходной контроль, контроль материала, испытаний, контроль функционирования	5	7	2	70
2. Плита кондукторная	Недостаточно прижимает деталь	1.Неправильный выбор массы 2.Некорректно подобран размер детали	1.Некорректная работа режущего инструмента. 2.Увеличение погрешности при сверлении	Весовой контроль, выходной контроль, контроль материала, испытаний, контроль функционирования	4	5	4	80
3. Втулки кондукторные	Неправильное направление сверла при сверлении	1.Некачественная сталь 2.Низкая температура закалки	1.Испорченная поверхность резания 2.Быстрый износ режущего инструмента	Температурный контроль, летучие перепроверки, входной, выходной контроль, контроль материала, испытаний, контроль функционирования	6	5	7	210
4. Палец	Недостаточный зажим кондукторной плиты	1.Неправильно подобран материал 2.Несоответствие размеру	Поломка кондуктора	Сборочный контроль. Дополнительная проверка чертежей	3	6	4	72
5. Шайба	Низкая точность резьбы	Большая погрешность при изготовлении	Сложно или даже невозможное снятие детали	Контроль функционирования Сборочный контроль	2	7	4	56
6. Гайка	Плохой зажим детали между корпусом и кондукторной плитой	Несоответствие ГОСТУ 5915-70	Низкая точность обработки	Входной, выходной контроль, контроль материала, испытаний, контроль функционирования	3	6	2	36
7. Втулка	Низкая точность установки кондукторной плиты	1.Некачественная сталь 2.Низкая температура закалки	1.Испорченная поверхность резания 2.Быстрый износ режущего инструмента	Входной, выходной контроль, контроль материала, испытаний, контроль функционирования	4	6	3	72
8. Штифт	Отсутствие фиксирования кондукторной плиты	Несоответствие ГОСТ 3128 — 70	Угловой поворот по отношению к обрабатываемой детали	Сборочный контроль. Дополнительная проверка чертежей	2	5	3	30
9. Гайка	Плохое крепление пальца	Несоответствие ГОСТ 11371-68	1.Некорректная работа режущего инструмента 2.Увеличение погрешности при сверлении	Входной, выходной контроль, контроль материала, испытаний, контроль функционирования	3	6	3	54

Для проведения корректировочных мероприятий, необходимо разработать методику их проведения. Для этого предлагается сформировать группу экспертов для решения каждой задачи.

1.3 Анализ исследовательских работ по подбору экспертов для решения вышеперечисленных задач

Эксперт – это человек, обладающий глубокими знаниями и/или практическим опытом в определенной области.

Качества эксперта:

–наличие полных и объективных сведений об объекте экспертизы и/или рекомендации относительно предпочтительных (лучших) вариантов управленческих решений, касающихся данного объекта;

–обладает способностью высказывать свои суждения вне зависимости от внешних факторов и личной выгоды;

–несет ответственность за экспертное заключение, согласно нормативным документам;

–выполняя специальную ролевую функцию, включен в процесс принятия решений с тем, чтобы научно обосновать их [4].

На тему принятия управленческих решений экспертами было написано множество трудов российских авторов: Р.М. Хвастунов, А.Н. Феофанов, В.М. Корнеева, Е.Г. Нахапетян, Ю.Ф. Мартемьянов, Т.Я. Лазарева, А.И. Орлов, Б.Г. Литвак, А.Н. Блинова и А.В. Клименко.

Анализ работ данных авторов выявил основные проблемы, возникающие при работе экспертной группы:

1. Не все участники группы принимают активное участие в работе (человеческий фактор).

2. Некомпетентность экспертов – отсутствие навыков и знаний для работы с данной предметной областью.

3. Неточная формулировка задачи достаточно часто приводит к недостаточной информированности эксперта.

4. Построение процесса экспертизы.

5. Заинтересованность эксперта или группы экспертов в определенном решении для достижения личной выгоды.

6. Необоснованно многочисленное количество участников экспертной группы.

Для успешной работы экспертной группы необходимо минимизировать возникновения данных проблем, еще на этапе подбора экспертов и постановки задачи [1].

Именно оценка данных качеств является наиболее сложной задачей для подбора специалистов в группу. Большинство из вышеперечисленных показателей являются качественными, следовательно не могут быть оценены по единой шкале, что в свою очередь наиболее часто приводит к ошибкам.

В работе А.Н. Блинова и А.В. Клименко «Автоматизированная система подбора экспертов в Российском Научном Фонде» представлены результаты работы системы по автоматическому выбору экспертов в 2018 г. [5].

Основным результатом работы этой системы является доказательство того, что современные технологии позволяют осуществить подбор экспертов без участия человека.

Опыт разработчиков ИАС достаточно хорошо применим, для решения производственных задач, т.к. основывается на анализе большого количества данных.

В статье авторов А.Н. Феофанова, Р.М. Хвастунова и Н.П. Негримовской, выпущенной в 2008 году представлены различные способы отбора экспертов. Авторами были описаны 2 группы:

–способы определения первоначального круга кандидатов в эксперты;

–способы отбора экспертов из сформированного банка данных по кандидатам в эксперты.

Для более успешной работы алгоритма, предлагается использовать ранее перечисленные способы совместно друг с другом для получения наиболее точного результата.

1.4 Автоматизированная система подбора экспертов

Для работы с данной проблемой предлагается описать автоматизированную систему, которая будет оценивать всех кандидатов в группу и подбирать тех, которые действительно

смогут эффективно решать поставленные задачи.

Разрабатываемая система анализирует входные данные, полученные в результате анкетирования и анализа информации из отдела кадров, обрабатывает их и выбирает оптимальных кандидатов. В тоже время система будет иметь возможность назначать не только отдельных экспертов, но и формировать экспертные группы, с учетом совместимости участников.

После анализа всех вышеперечисленных данных система сможет подобрать кандидатов для работы с конкретной задачей, условия которой будут задаваться пользователем.

На рисунке 4 представлена схема разрабатываемой системы поддержки принятия решений (далее - СППР). В нашем случае была выбран кооперативный вид СППР, потому что данный вид позволяет пользователю редактировать решение, принятое системой. СППР, основанное на трёхуровневом хранилище данных, позволяет минимизировать проблемы, связанные с производительностью системы, а также существенно уменьшает время создания и добавления витрин данных. Витрины данных используются для того, чтобы формировать отдельный срез данных из хранилища. Это значительно сокращает объем анализируемой информации.

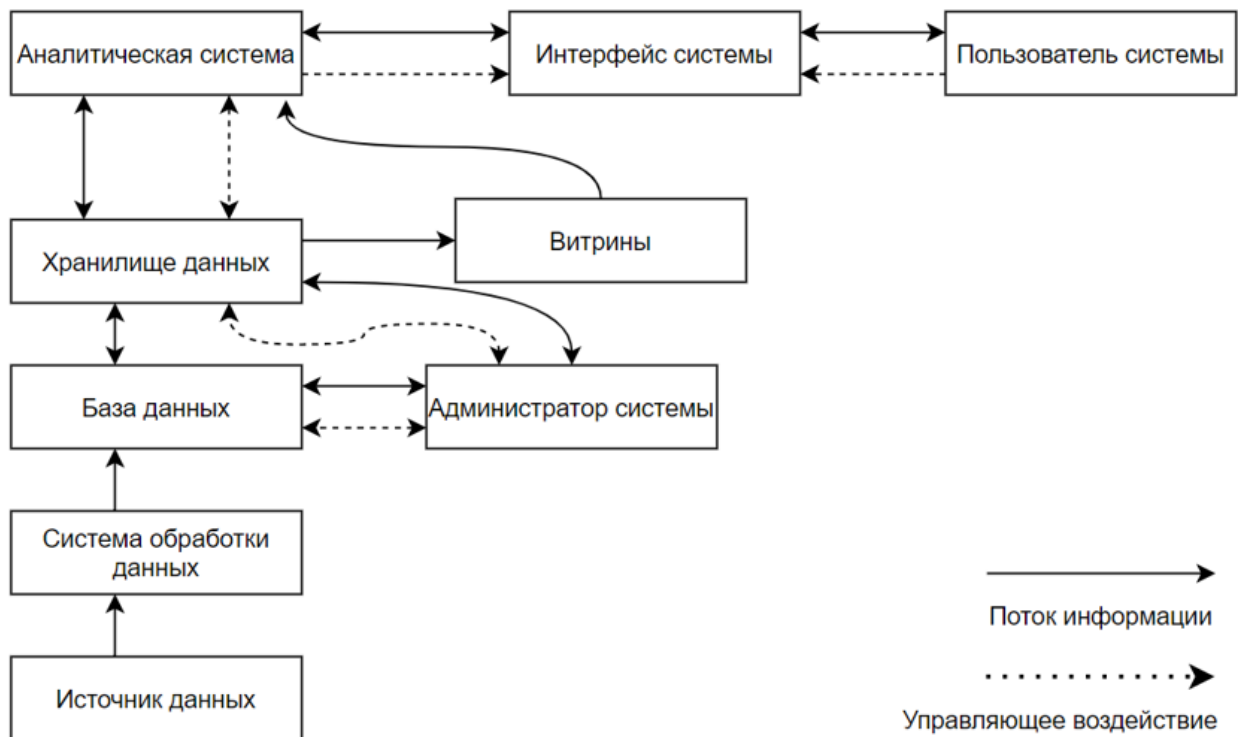


Рис. 4. Схема системы поддержки принятия решений

В качестве основной особенности данной системы можно отметить применение экспертно-статистического и человеко-машинного подхода, что позволяет минимизировать ошибки при выборе эксперта (двойной контроль).

На рисунке 5 представлен возможный алгоритм работы СППР. Предполагается, что основную информацию об экспертах можно будет получить из отдела кадров, тем самым применяя документальный способ подбора экспертов. К сожалению, не все параметры могут быть оценены количественно (например, область научных интересов), следовательно, невозможно учесть данные факторы при подборе. Основной целью дальнейших исследований будет являться нахождение способа включения данных факторов в работу алгоритма.

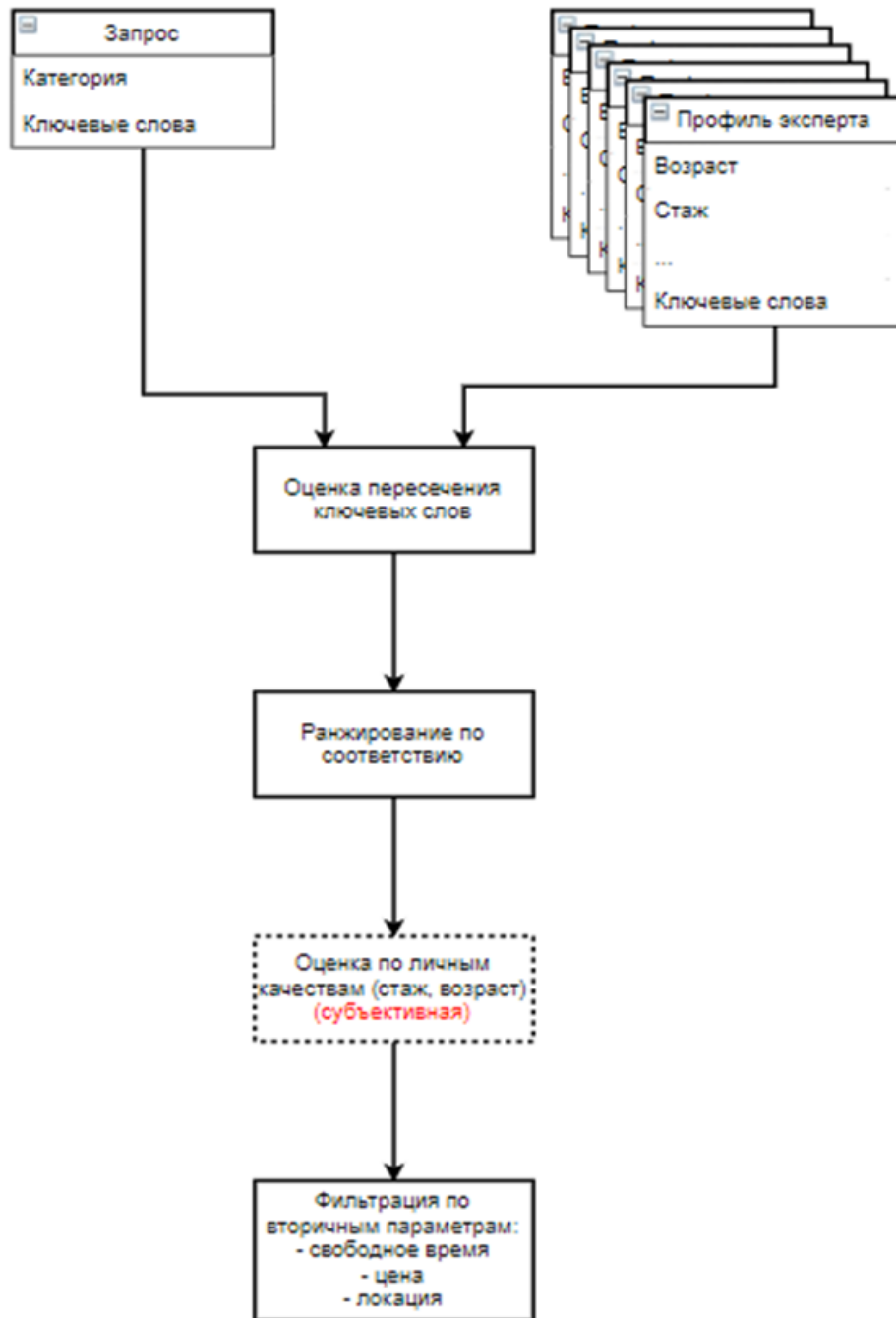


Рис. 5. Алгоритм работы системы поддержки принятия решений

3 Результаты

1. Начата работа по разработке алгоритма системы поддержки принятия решений для экспертной оценки сверлильного кондуктора, а также схемы работы данной системы.
2. Начат подбор критериев, по которым будут оцениваться эксперты (стаж, возраст, опыты работы и т.д.).

Выводы

Основным достоинством автоматизированной системы является хранение всех данных об экспертах и их работе. Наличие такой информации позволяет отслеживать динамику и оценивать эффективность работы как экспертной группы, так и отдельного эксперта. После

завершения экспертизы каждый участник должен иметь возможность оценить свою работу и работу других участников группы.

Чем больше информации представлено в базе данных, тем более точным будет в дальнейшем производиться отбор участников.

Список литературы:

1. Хвастунов, Р. М. Способы отбора специалистов в состав экспертных групп / Р. М. Хвастунов, Н. П. Негримовская, А. Н. Феофанов // Технология машиностроения. - 2008. - N 10. - С. 58-67.
2. Салимгареев, И. T-FLEX DOCS + T-FLEX CAD: новый подход к проектированию групповых чертежей / И. Салимгареев // САПР И ГРАФИКА – 2013. – N 6(200). – С. 86-87.
3. ГОСТ Р 56005-2014. Арматура трубопроводная. Методика обеспечения надежности и безопасности при проектировании и изготовлении с использованием метода структурирования функции качества : нац. стандарт Российской Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 апреля 2014 г. N 402-ст: введ. впервые: дата введ. 2015-01-01/разработан Обществом с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий. - М.: Стандартинформ, 2014.
4. Сидельников, Ю.В. Формирование понятийно-терминологического аппарата экспертологии / Ю.В. Сидельников// Проблемы управления. - 2017. № 5. - С. 18-30.
5. Блинов, А. Н. Автоматизированная система подбора экспертов в Российском Научном Фонде / А. Н. Блинов, А. В. Клименко // Вестник российской академии наук. – 2020. - Том 90, № 6 - С. 540–548.

References:

1. Khvastunov, R.M. Methods of Selecting Specialists in the Expert Group Members / R.M. Khvastunov, N.P. Negrinovskaya, A.N. Feofanov // Mechanical Engineering. – 2008. – no. 10. – pp. 58-67.
2. Salimgareev, I. T-FLEX DOCS + T-FLEX CAD: A New Approach to Designing Group Drawings / I. Salimgareev // CAD AND GRAPHICS. – 2013. – no. 6 (200). – pp. 86-87.
3. GOST R 56005-2014. Pipeline Valves. Reliability and Safety Practice for Engineering and Production by Quality Function Deployment Applying: Nat. Russian Federation Standard: ed. officially: approved and entered into force by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated April 24, 2014 N 402-st: introduced for the first time: date of entry into force 01 January 2015 / developed by the Limited Liability Company "Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies". – M.: Standartinform, 2014.
4. Sidelnikov, Yu.V. Forming the Conceptual and Terminological Apparatus of Expertology / Yu.V. Sidelnikov // Control Problems. – 2017. no. 5. – pp. 18-30.
5. Blinov, A.N. Automated System for Selecting the Experts in the Russian Science Foundation / A. N. Blinov, A.V. Klimenko // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – 2020. – vol. 90, no. 6 – pp. 540-548.

Статья поступила в редколлегию 21.12.2020.

Рецензент: канд. биол. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Кузьменко А.А.

Статья принята к публикации 15.01.2021.

Сведения об авторах

Феофанов Александр Николаевич

д.т.н., проф., проф. кафедры «Инженерная графика»
ФГБОУ ВО "МГТУ "СТАНКИН" (Москва, Россия)
E-mail: feofanov.fan1@yandex.ru

Бушева Анна Геннадьевна

аспирант, кафедра автоматизированных систем
обработки информации и управления ФГБОУ ВО
"МГТУ "СТАНКИН" (Москва, Россия)
E-mail: zub97@mail.ru

Information about authors:

Feofanov A.N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the
Department "Engineering Graphics", FSBEI HE MSTU
"STANKIN" (Moscow, Russia)
E-mail: feofanov.fan1@yandex.ru

Busheva A.G.

Post graduate student, the Department "Automated
Information Processing and Control Systems", FSBEI HE
MSTU "STANKIN" (Moscow, Russia)
E-mail: zub97@mail.ru

УДК: 681.3.015; 681.5.08

DOI:10.30987/2658-6436-2021-1-61-70

П.А. Акулов, А.Д. Сырых, Д.И. Петрешин

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ СОЧЛЕНЕНИЯ И РАСЧЛЕНЕНИЯ КОНТАКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОЕДИНИТЕЛЯ

Предложено алгоритмическое обеспечение для автоматизированной установки измерения силы сочленения и расчленения контактов электрических соединителей, позволяющей получать объективные данные во время проведения испытаний с возможностью регистрации фиксируемой силы. Разработанная система также обеспечивает ввод и редактирование параметров проводимых испытаний при помощи сенсорной панели оператора с использованием Human–Machine Interface, локальную визуализацию процесса измерения, поддержку реализации хранения параметров в энергонезависимой памяти с протоколированием информации об испытаниях. Благодаря возможности проведения измерения силы сочленения и расчленения контактов электрического соединителя в автоматизированном режиме снижается воздействие человеческого фактора на результаты испытания, что увеличивает точность и повышает производительность процесса.

Ключевые слова: электрический соединитель, сила сочленения, сила расчленения, автоматический режим, автоматизированный режим, алгоритм работы, алгоритмическое обеспечение.

P.A. Akulov, A.D. Syrykh, D.I. Petreshin

ALGORITHMIC SUPPORT OF THE AUTOMATED INSTALLATION FOR MEASURING THE MATING AND UNMATING FORCE OF ELECTRIC CONNECTOR CONTACTS

Algorithmic support is proposed for an automated installation for measuring the mating and unmating force of the electrical connector contacts, which allows obtaining objective data while testing with the possibility to register the fixed force. The developed system also provides inputting and editing test parameters applying the operator's touch panel using the Human–Machine Interface, local visualization of the measurement process, support for implementing the parameters storage in non-volatile memory with logging the test information. The ability to automatically measure the mating and unmating force of an electrical connector reduces the impact of human error on test results, increasing the accuracy and the process productivity.

Keywords: electrical connector, mating force, unmating force, automatic mode, automated mode, work algorithm, algorithmic support.

Введение

Среди всех характеристик электрических соединителей, которые необходимо обеспечить при их производстве, важную роль играют характеристики, определяющие протекание электрического тока через контактную пару с минимальными потерями. Как следует из [1], омическое сопротивление пары контактов в значительной степени зависит от силы, с которой контакт розетки и контакт вилки прижаты друг к другу. Данный параметр обозначается как «сила контактного нажатия» или «контактное усилие» [2, 3]. В связи с тем, что прямое измерение данной силы связано с большими техническими трудностями, данное измерение заменяют косвенным методом, заключающимся в контроле/измерении силы расчленения испытуемого контакта контрольным штырем–калибром [4].

При проведении контроля силы расчленения в настоящее время используют следующую методику: контрольный штырь–калибр, имитирующий ответную часть испытуемого электрического соединителя, устанавливается на грузик определенной массы.

Испытатель вручную сочленяет штырь–калибр с испытуемым контактом в электрическом соединителе, после чего контролирует способность контакта удерживать штырь–калибр под действием силы тяжести [5–8].

Описание проблемы

Использование вышеописанной методики проверки силы расчленения контакта не гарантирует получение достоверных результатов с необходимой степенью повторяемости [4, 9–10]. Во-первых, это связано с объективными погрешностями вследствие неравномерности скорости сочленения–расчленения испытуемого электрического соединителя и штыря–калибра, возникновение рывков и перекосов, которые невозможно проконтролировать при ручном процессе проведения испытаний. Во-вторых, это субъективные погрешности, связанные с отсутствием гарантии того, что в ручном процессе проведения испытаний будут проконтролированы все контакты в электрическом соединителе. Увеличение количества контактов в одном электрическом соединителе с одновременной миниатюризацией каждого контакта лишь усугубляет данную проблему. К примеру, электрический соединитель СП388 (аналог Viper VJ776) содержит до 933 контактов в 9 рядах. Соответственно, проведение испытаний электрических соединителей с применением существующей в настоящее время методики, приводит к чрезмерным временным затратам при отсутствии гарантии получения достоверных и повторяемых результатов.

Кроме того, при проведении испытаний с использованием штыря–калибра, важную роль имеет учет износа калибра [4]. В связи с этим необходимо контролировать так же силу, возникающую при сочленении контакта со штырем, а так же количество сочленений–расчленений, которое было выполнено данным штырем–калибром. Это необходимо для своевременного контроля его характеристик во время проведения испытаний с возможностью оповещения о необходимости замены калибра в случае значительного износа.

Общие положения

Для автоматизации силы сочленения и расчленения контакта электрического соединителя с контрольным штырем–калибром была разработана специализированная измерительная установка. Применение данной установки позволит значительно увеличить точность и производительность процесса проведения данного типа испытаний. Такая установка способна работать в режиме «Тестирование» с контролем контактов по принципу «годен – не годен» и в режиме «Измерение» с фиксацией реальных значений сил сочленения и расчленения контактов с контрольным штырем–калибром [4, 9, 10]. Также контроль силы сочленения и расчленения испытуемого контакта со штырем–калибром позволяет прервать процесс проведения испытания в случае, если возникающая сила превышает допустимую величину во избежание повреждения (разрушения) штыря–калибра.

Перемещение штыря–калибра и тестируемого разъема в рабочей области автоматизированной установки осуществляется по трем координатам. Перемещение по оси X обеспечивает переход от одного контакта к другому в ряду, перемещение по оси Y – переход между рядами, а перемещение по оси Z – проведение измерения силы сочленения и расчленения контакта с ответной штырьковой частью разъема, соединенной с тензодатчиком [9, 10].

Ввод, редактирование параметров перемещения и измерения сил сочленения и расчленения, индикация текущих значений параметров и режимов проведения измерения осуществляется с помощью сенсорной панели [9, 10].

Целью данной работы является разработка алгоритмического обеспечения, позволяющего проводить измерение сил сочленения и расчленения контакта электрического соединителя с контрольным штырем–калибром при помощи автоматизированной установки.

Система управления и индикации [9, 10] должна иметь возможность вручную задавать координаты перемещения измерительного механизма с последующим проведением испытания по определению сил сочленения и расчленения конкретного контакта электрического соединителя.

При этом расстояние между контактами и рядами может быть разным для разных типов электрических соединителей. Соответственно, в общем виде отдельный контакт электрического соединителя имеет собственные координаты. Тогда, при измерении сил сочленения и расчленения контактов электрического соединителя с контрольным штырем-калибром необходимо знать координаты всех контактов. В этом случае система координат представлена на рис. 1.

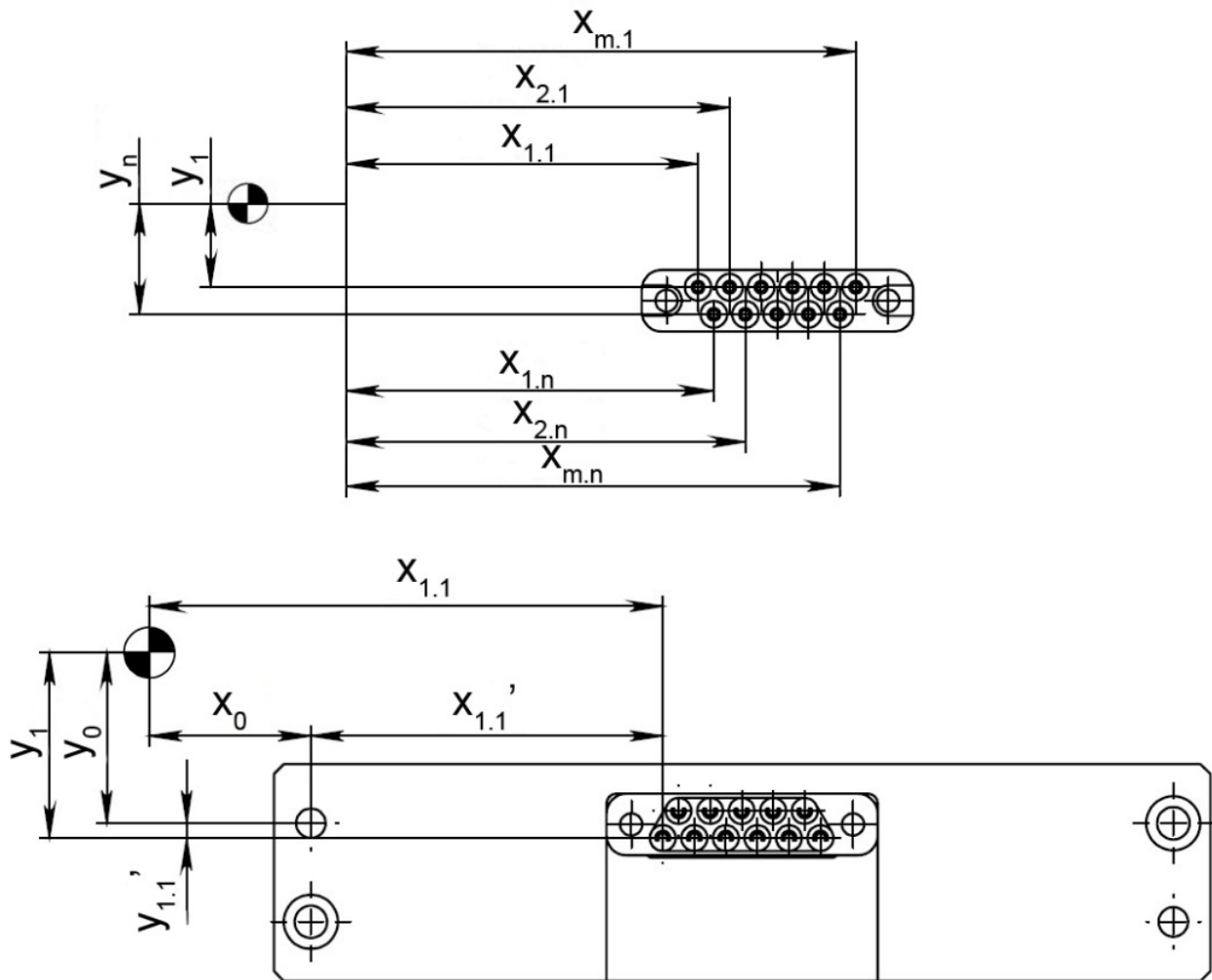


Рис. 1. Общий вид системы координат контактов электрического соединителя

В качестве начала системы координат в данном случае принимается нулевая точка измерительной установки. Положение нулевой точки характеризуется тем, что в ней все три оси измерительной установки находятся в начальном (исходном) положении (так называемая «Home-position»). Таким образом, в общем случае координата m -го контакта в n -ом ряду разъема будет определяться координатой $x_{m,n}$ и y_n .

Исходя из этого, для каждого типа испытуемого электрического соединителя требуется отдельный алгоритм перемещения тензометрического датчика с контрольным штырем-калибром на расстояния $x_{m,n}$ и y_n . Для упрощения этой задачи, предполагается, что оператор сам, зная координаты испытуемых контактов электрических соединителей (исходя из конструкторской документации на соединитель), будет задавать координаты и расстояния

перемещений исполнительных органов измерительной установки.

Поскольку электрический соединитель при измерении силы сочленения–расчленения контакта со штырем–калибром помещается в специализированную высокоточную обойму и позиционируется прижимом к задней стенке оснастки, то $X_{m,n}=X_0+X_{m,n}'$, а $Y_{m,n}=Y_0+Y_{m,n}'$, где X_0 и Y_0 задано конструктивом обоймы и измерительной установки [9, 10], а $X_{m,n}'$ и $Y_{m,n}'$ определяется конструкцией испытуемого соединителя.

Описание алгоритмического обеспечения

На рис. 2 представлена блок–схема алгоритма работы установки.

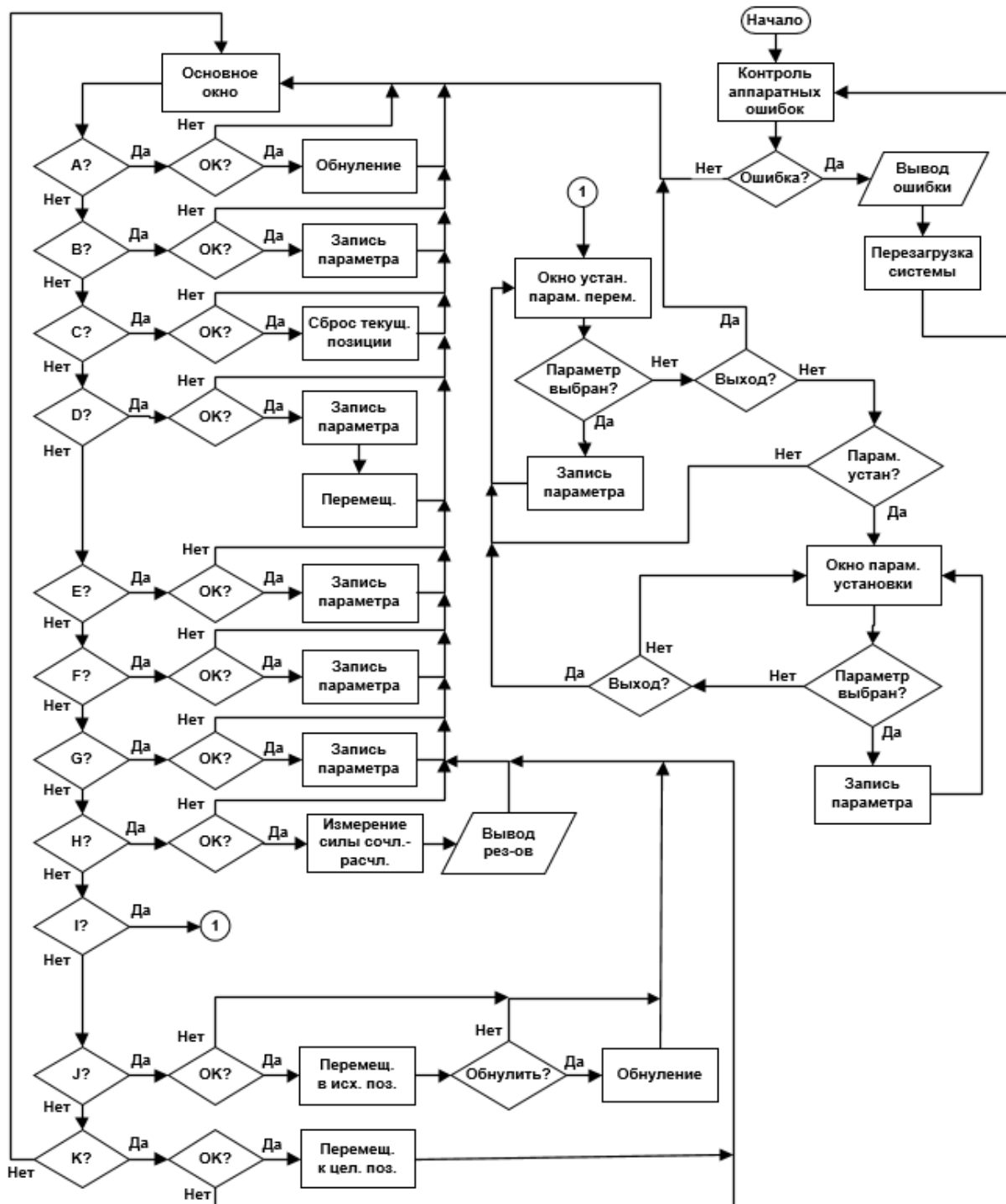


Рис. 2. Блок–схема алгоритма работы установки

После включения установки в питающую сеть запускается процесс контроля аппаратных ошибок. В случае сбоя элементов логики или отсутствия связи с контроллером и измерительным блоком на сенсорном экране появляется сообщение о возникшей ошибке, и система производит перезапуск [11]. В том случае, если все внутренние проверки завершились успешно и периферийные устройства функционируют нормально, то через 30 секунд на экране появляется начальное окно измерительной установки, представленное на рис. 3.

Усилие (гр) 176.9		Макс. усилие (гр) 3000.0	Параметры перемещения	
X Текущая позиция(мм) 0.000000	Y Текущая позиция(мм) 0.000000	Z Текущая позиция(мм) 0.000000		Поиск исх. позиции
Перемещение(мм) + -	Перемещение(мм) + -	Перемещение(мм) + -		
Целевая позиция(мм) 0.000000	Целевая позиция(мм) 0.000000	Целевая позиция(мм) 0.000000		Перемещение к цел. позиц.
Блокировка в паузе ☒ Блок	Блокировка в паузе ☒ Блок	Блокировка в паузе ☒ Блок		
Измерения Дистанция(мм) 3.0	Число циклов 1	ПУСК		
			Выход	

Рис. 3. Визуализация начального окна установки

В верхней левой части окна расположено поле отображения текущей силы, регистрируемой тензодатчиком в ньютонах (опционально значение может быть представлено в грамм-силе (гс)) (метка «А» – на блок-схеме, указанной на рис. 2). При нажатии на это поле запускается процедура подтверждения текущей операции (ППТО). Данная процедура заключается в том, что на экране отображается окно подтверждения, в котором содержится текстовая информация о выполняемой операции, краткой инструкции (сообщение: «Нажмите ОК при готовности») и двух кнопок «ОК» и «ОТМЕНА».

При нажатии на кнопку «ОТМЕНА» происходит возврат к начальному окну, в случае подтверждения выполняемой операции (нажатие на кнопку «ОК») запускается процесс – в данном случае, это процедура калибровки нуля тензодатчика. При этом тензодатчик должен быть нагружен только посадочным местом измерительного щупа и самим щупом. Во время проведения процедуры калибровки запрещается прикасаться к этим элементам и к тензодатчику.

При выполнении калибровки установка выполняет последовательное измерение текущего значения сигнала 100 раз, снимаемого с тензодатчика, и по этим данным вычисляет среднеарифметическое значение. После этого измеренное и усредненное значение устанавливается в качестве нулевого значения, все последующие измерения аддитивно сдвигаются на это значение нуля [11].

Справа от окна отображения текущей силы расположено поле, в котором задается максимальная сила (метка «В» на блок-схеме). При нажатии на данное поле запускается

ППТО, а после подтверждения открывается окно ввода значения параметра (ОВЗП), представляющее собой калькулятор ввода значений с кнопками «ОК» и «ОТМЕНА». Введенное значение должно быть корректным, т.е. удовлетворять условию: $0 < F_{max} \leq 29,4 \text{ Н}$ (3000 гс). Т.к. в конструкции данной установки используется тензодатчик, регистрирующий силу до 29,4 Н (3000 гс), то соответственно, максимальная сила не должна быть выше этого значения.

В том случае, если в процессе работы установки произойдет превышение введенной максимальной силы, то процесс измерения автоматически прерывается, а на экране появляется предупреждение о причине остановки.

Далее расположены три блока для осей перемещения установки по координатам X , Y и Z . Каждый блок перемещений состоит из следующих кнопок/полей: поле отображения текущей координаты в мм (метка «С»), поле перемещения выбранной оси в мм (метка «D»), целевая позиция в мм (метка «E») и функция включения–отключения блокировки вала привода в паузе.

При нажатии на поле отображения текущей координаты открывается ППТО, при подтверждении выполняемого действия текущая координата обнуляется. Это необходимо для того, чтобы при проведении измерения сил сочленения–расчленения контакта электрического соединителя можно было измерять относительные перемещения и производить обнуление координаты.

Поле перемещения выбранной оси состоит из двух кнопок «+» и «-». Кнопка «+» обеспечивает перемещение подвижной плиты, выбранной оси установки, в положительном направлении, а «-» – в отрицательном. При нажатии на каждую из кнопок запускается процедура ППТВО и ОВЗП, после чего происходит перемещение подвижной плиты в выбранном направлении на заданное расстояние в мм. Данная функция необходима для ручной корректировки положения плиты выбранной оси между измерениями.

При нажатии на поле изменения целевой позиции, как и в случае, описанном ранее, происходит запуск ППТВО и ОВЗП, но перемещение подвижных плит установок в координату, определенную данным окном, осуществляется отдельно после нажатия на кнопку «Перемещение к целевой позиции» (метка «K»).

Функция блокировки в паузе определяет поведение контроллера шагового двигателя при остановках. При неактивном состоянии индикатора контроллер шагового двигателя полностью выключает генерацию питающего тока в обмотках шагового двигателя и его вал можно провернуть вручную. При активном состоянии индикатора контроллер шагового двигателя продолжает формировать ток в обмотках двигателя, что приводит к блокировке свободного вращения вала. Нажатие на это поле сенсорного экрана вызывает диалоговое окно с предложением переключить данный режим на противоположный [11].

Процедура испытаний также определяется дистанцией перемещения штыря–калибра по оси Z , иными словами – расстоянием ввода и вывода щупа в соединитель. Данный параметр задается полем «Дистанция измерения (мм)» (метка «F»).

Число циклов измерения задается окном «Число циклов» (метка «G»).

При нажатии на все окна, описанные ранее, запускаются процедуры ППТВО и ОВЗП.

Значения параметров проведения измерений записываются во встроенную энергонезависимую память установки и сохраняются при выключении питания.

Процесс измерения сил сочленения и расчленения контакта электрического соединителя с контрольным штырем–калибром заключается в том, что пользователю необходимо сначала закрепить в специализированной обойме штырь, установить испытуемый электрический соединитель в соответствующие посадочные места, проконтролировать правильность установки параметров измерения и запустить процесс нажатием на поле «ПУСК» (метка «H»). После запуска процесса испытания ось Z , с закрепленным на ней тензодатчиком, перемещается на расстояние, которое задано параметром «Измерения. Дистанция (мм)» с параметрами перемещения, заданными в опциях

группы «Параметры перемещения» с одновременным контролем силы, фиксируемой тензодатчиком.

При успешном завершении процесса испытаний на экране сенсорной панели отображается всплывающее окно с результатами измерений, как это показано на рис. 4. При этом отображаются средние значения сил сочленения и расчленения, а также максимальные значения сил сочленения и расчленения, зафиксированные во время проведения измерений.

В целях получения детализированных данных о результатах тестирования и измерения установка автоматически генерирует файлы протокола и сохраняет их на флеш-карту. Для этого используется формат представления данных JSON, а в качестве имени файла применяют уникальный идентификатор, сформированный из даты и времени начала проведения тестирования или измерения. В файле протоколируется поток данных о величине сил, фиксируемых тензометрическим датчиком, для последующей обработки и формирования графиков. Полученный файл необходимо открыть через специальное приложение, после чего на экране отобразится график с результатами проведенного измерения [11].



Рис. 4. Визуализация окна отображения результатов измерения

Нажатие на поле «Поиск исходной позиции» (метка «J») осуществляет вызов ППТВО, после этого подвижные плиты осей поочередно осуществляют перемещение до срабатывания концевого датчика, который определяет начальное положение. Далее появляется окно подтверждения обнуления исходной позиции.

При нажатии на поле «Параметры перемещения» (метка «I») происходит переключение визуализации на окно установки параметров перемещения (рис. 5).

Данное окно состоит из полей, при помощи которых можно изменять следующие параметры: «Текущая позиция (мм) и «Перемещение (мм)», «Ток двигателя (мА)», начальная и конечная скорости перемещения подвижной плиты выбранной плиты в мм/сек,

«Блокировка в паузе», «Датчик положения «Вкл/выкл».

При нажатии на кнопку «Выход» происходит переключение обратно на начальное окно визуализации. При нажатии на поле «Параметры установки» происходит переключение визуализации на окно «Параметры установки».

X	Y	Z
Текущая позиция(мм) 2.000000	Текущая позиция(мм) 1.500000	Текущая позиция(мм) 0.003125
Перемещение(мм) + -	Перемещение(мм) + -	Перемещение(мм) + -
Ток двигателя(мА) 1000	Ток двигателя(мА) 1000	Ток двигателя(мА) 1000
Скорость нач.(мм/сек) 8.00	Скорость нач.(мм/сек) 8.00	Скорость нач.(мм/сек) 8.00
Скорость кон.(мм/сек) 10.00	Скорость кон.(мм/сек) 10.00	Скорость кон.(мм/сек) 10.00
Блокировка в паузе ☒ Блок	Блокировка в паузе ☒ Блок	Блокировка в паузе ☒ Блок
Датчик положения ☒ Вкл/выкл	Датчик положения ☒ Вкл/выкл	Датчик положения ☒ Вкл/выкл

Параметры установки

Выход

Рис. 5. Визуализация окна установки параметров перемещения

В данном окне имеется возможность редактирования следующих параметров установки:

1) «Микрошаг» – коэффициент дробления микрошагового режима двигателя. Допускается установка коэффициентов: 1, 2, 8, 16. Ввод других значений игнорируется и выводится сообщение о недопустимом значении параметра.

2) «Шагов/оборот» – число полных шагов для полного оборота вала двигателя на 360°. Определяется типом установленного шагового двигателя. Так, для двигателей с углом поворота 1,8°/шаг необходимо установить данный параметр равный 200, а для двигателей с углом поворота 0,9°/шаг необходимо установить параметр равный 400.

3) «Шаг ШВП (мм)» – шаг шарико-винтовой передачи (ШВП) оси, или другими словами перемещение подвижной части установки в мм при повороте вала двигателя на один полный оборот.

4) «Ускорение (%)» – ускорение от начальной скорости шагового двигателя до максимальной (от 0% до 100%) в режиме перемещения.

5) «Торможение (%)» – ускорение торможения от текущей скорости перемещения до нуля в процессе остановки двигателя (от 0% до 100%) в режиме перемещения.

6) «Ток в паузе (%)» – величина тока в обмотках шагового двигателя в режиме остановки в % от значения, установленного параметром «Ток двигателя».

7) «Задержка паузы (мс)» – время (в миллисекундах) от момента остановки двигателя до его перехода в спящий режим и понижения тока в обмотках до величины, установленной параметром «Ток паузы (%)».

Нажатие на кнопку «ВЫХОД» приводит к переключению окна визуализации на предыдущее.

Заключение

Таким образом, разработанный алгоритм работы позволяет в автоматизированном режиме проводить процесс измерения сил сочленения и расчленения контактов электрических соединителей с контрольным штырем–калибром. Благодаря этому повышается точность и производительность процесса измерения, кроме того, исключается воздействие человеческого фактора при испытаниях.

Алгоритмическое обеспечение позволяет перед началом работы выполнять диагностику на наличие аппаратных ошибок, изменять и корректировать различные параметры установки (скорость, ускорение, микрошаг и т.д.), выполнять измерение силы сочленения–расчленения с возможностью ручного ввода параметров перемещения осей установки, а также обеспечивает вывод результатов измерения на экран сенсорной панели или записывает регистрируемые параметры на внешний носитель информации.

В перспективе после определения номенклатуры испытуемых электрических соединителей и разработки посадочных мест для них, предполагается полностью автоматизировать процесс измерения силы сочленения и расчленения контакта с контрольным штырем–калибром за счет применения в программном обеспечении аналогов команд G-кодов, что значительно упростит процесс программирования. Алгоритмы перемещения подвижных осей установки будут храниться в энергонезависимой памяти. В этом случае оператору не нужно будет вручную вводить координаты контактов и каждый раз принудительно запускать процесс измерения – все сведется к тому, что необходимо лишь установить соединители в посадочные места, из всплывающего списка выбрать тип испытуемого разъема, запустить процесс испытания и зафиксировать полученные результаты.

Энергонезависимая память [9, 10] может быть расположена в технологической сменной обложке электрического соединителя, что позволит хранить в ней не только координаты всех контактов соединителя, но и величины сил для конкретного типа соединителя, глубину ввода штыря–калибра, скорости перемещения и прочие персональные данные для конкретного испытуемого типа электрического соединителя.

Список литературы:

1. Сафонов, А. Л. Зависимость переходного сопротивления электрических контактов от направления вектора контактного усилия / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 74–79.
2. Hsu, Y.–L. Shape optimal design of the contact springs of a connector / Y.–L. Hsu, Y.–C. Hsu, M.–S. Hsu // Journal of Electronic Packaging. – 2002. Vol. 124. – P. 178–183.
3. Obane, H. E. Plug-in connectors aging and in situ diagnostic tool for measurement implementation / H. E. Obane, R. Abdi, N. Benjema, E. Carvou // The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics. – 2016. – Issue 49. – P. 19–27.
4. Сафонов, А. Л. О некоторых аспектах разработки и производства электрических соединителей / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов. – СПб. : Изд-во «Медиа Группа Файнстрит», 2015. – 295 с.
5. Уткин, Г. И. Особенности процесса трения рабочих поверхностей деталей контактной пары разъемного электрического соединителя / Г. И. Уткин, В. В. Марков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2–5 (292). – С. 95–

References:

1. Safonov, A.L. Dependence of the Transient Resistance of Electrical Contacts on the Direction of the Contact Force Vector / A.L. Safonov, L.I. Safonov // Technologies in the Electronic Industry. – 2014. – no. 1. – pp. 74–79.
2. Hsu, Y.–L. Shape Optimal Design of the Contact Springs of a Connector / Y.–L. Hsu, Y.–C. Hsu, M.–S. Hsu // Journal of Electronic Packaging. – 2002. vol. 124. – pp. 178–183.
3. Obane, H.E. Plug-in Connectors Aging and in Situ Diagnostic Tool for Measurement Implementation / H.E. Obane, R. Abdi, N. Benjema, E. Carvou // The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics. – 2016. – Issue 49. – pp. 19–27.
4. Safonov, A.L. About Some Aspects of Development and Production of Electrical Connectors / A.L. Safonov, L.I. Safonov. – SPb. : Publishing house “Media Group Finestreet”, 2015. – 295 p.
5. Utkin, G.I. Features of the friction Process of the Part Working Surfaces of a Contact Pair of a Detachable Electrical Connector / G.I. Utkin, V.V. Markov // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. – 2012. – no. 2-5 (292). – pp. 95–100.

100.

6. Катунин, А. Д. Актуальные проблемы контроля сил коммутации прямоугольных электрических соединителей / А. Д. Катунин, Л. И. Лебедева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 4 (306). – С. 139–143.
7. ГОСТ 23784–98. Соединители низкочастотные низковольтные и комбинированные. Технические условия. – Москва : Изд-во стандартов, 1998. – 24 с.
8. ГОСТ 27277–87. Метод проверки удерживающего усилия упругих контактов. Государственный стандарт. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 5 с.
9. Акулов, П. А. Автоматизированная установка измерения силы сочленения и расчленения единичного контакта электрического соединителя / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – № 5 (58). – С. 66–72.
10. Акулов, П. А. Автоматизация контрольной операции проверки электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Автоматизация. Современные технологии. – 2019. – Т. 73. – № 6. – С. 257–262.
11. Акулов, П. А. Алгоритмическое обеспечение установки контроля сил сочленения и расчленения электрических соединителей / П.А. Акулов, Д.И. Петрешин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – Т. 22, № 4 (79). – С. 94–104.

6. Katunin, A.D. Actual Problems of the Switching Force Control of Rectangular Electrical Connectors / A.D. Katunin, L.I. Lebedeva // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. – 2014. – no. 4 (306). – pp. 139-143.
7. GOST 23784–98. Low-Frequency Low-Voltage and Combined Connectors. Specifications. – Moscow: Publishing house of standards, 1998. – 24 p.
8. GOST 27277–87. Check Method of Confining Force of Elastic Contacts. State Standard. – Moscow: Publishing house of standards, 1987. – 5 p.
9. Akulov, P.A. Automated Plant for Measurement of Joint and Disjoint Force of Electric Connector Single Contact / P.A. Akulov, D.I. Petreshin // Bulletin of Bryansk State Technical University. – 2017. – no. 5 (58). – pp. 66-72.
10. Akulov, P.A. Automation of the Control Test Operation of Electrical Connectors / P.A. Akulov, D. I. Petreshin // Automation. Modern Technologies. – 2019. – vol. 73. – no. 6. – pp. 257-262.
11. Akulov, P.A. Algorithmic Support of the Control System of the Force of Joint and Disjoint Of Electrical Connectors / P.A. Akulov, D.I. Petreshin // Proceedings of the Southwest State University. – 2018. – vol. 22, no. 4 (79). – pp. 94-104.

Статья поступила в редколлегию 25.12.2020.

Рецензент: канд. техн. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Подвесовский А.Г.

Статья принята к публикации 11.01.2021.

Сведения об авторах

Акулов Павел Александрович

аспирант кафедры «Автоматизированные технологические системы», ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».
E-mail: akulov.paul@mail.ru

Сырых Андрей Дмитриевич

генеральный директор, ООО «КОНСТРУКТОР», г. Брянск
E-mail: andrew@syrykh.com

Петрешин Дмитрий Иванович

д-р техн. наук, доцент, директор учебно-научного технологического института, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».
E-mail: dipetreshin@yandex.ru

Information about authors:

Akulov P.A.

Post graduate student of the Department “Automated Technological Systems” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
E-mail: akulov.paul@mail.ru

Syrykh A.D.

Director General, “KONSTRUKTOR” LLC, Bryansk
E-mail: andrew@syrykh.com

Petreshin D.I.

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Educational and Scientific Technological Institute of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”
E-mail: dipetreshin@yandex.ru



Лаборатория волнового деформационного и комбинированного упрочнения в аддитивных и субтрактивных технологиях

Задачей лаборатории, созданной в 2016 году на базе Брянского государственного технического университета при финансовой поддержке Фонда перспективных исследований, является разработка новой технологии упрочнения металлов и сплавов с использованием волны деформации.

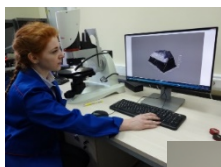
Предлагаемая технология волнового деформационного упрочнения позволяет в 10 раз увеличить длительность импульса, в несколько раз увеличить коэффициент полезного действия удара. В результате наложения проходящих и отраженных волн при определенных условиях в монолитном металлическом материале формируется уникальная многослойная гетерогенная, естественно армированная структура, обеспечивающая высокую вязкость и высокую прочность материала одновременно, что способствует многократному повышению эксплуатационных свойств изделий. Технология ВДУ может применяться как самостоятельно, так и в составе комбинированных упрочняющих технологий, например, совместно с химико-термической и термической обработкой, как в субтрактивных, так и в аддитивных технологиях.

Комплексное использование традиционных субтрактивных технологий и высокоточных аддитивных технологий с последующим волновым деформационным упрочнением материала позволяют значительно повысить эксплуатационные свойства изделий.

Успешное решение поставленной задачи позволит увеличить полезную нагрузку на материал, что таит огромные резервы повышения тактико-технических характеристик изделий в авиации, космонавтике, автомобилестроении, общем машиностроении, инструментальном производстве, энергетической, нефтегазовой и строительной отраслях.

Исследования проводятся в интересах АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод», Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва, Государственного космического научно-производственного центра имени М.В. Хруничева.

Для достижения поставленных целей выстраиваются партнерские отношения с ведущими научно-исследовательскими центрами страны, такими, как Центральный научно-исследовательский институт материалов (г. Санкт-Петербург), Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (г. Москва), Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (г. Черноголовка), АО Центральный научно-исследовательский институт точного машиностроения (г. Климовск), АО "Центральный научно-исследовательский институт "Буревестник" (г. Нижний Новгород).



Тел. (4832) 51-51-38, моб. +7-919-214-04-24
(контактное лицо – д-р техн. наук, проф. Киричек Андрей Викторович)
E-mail: avk@tu-bryansk.ru



Научно-исследовательская лаборатория автоматики, телемеханики и метрологии

Универсальный измерительный комплекс для тестирования электронных компонентов с использованием поведенческих моделей "АТОМ-9х"

Задача измерения параметров электронных компонентов

- Современные электронные компоненты являются сложными устройствами с большим количеством параметров, требующих контроля
- Необходимость автоматизации измерений в массовом производстве
- Устаревшие технологии контроля



Существующие решения

- Специализированные тестеры для конкретных типов аналоговых интегральных микросхем (ИМС)

недостатки: затратность и сложность внедрения при большой номенклатуре изделий

- Универсальные тестеры для нескольких типов аналоговых ИМС (Teradyne, Advantest, Совмест «АТЕ», ФОРМ)

недостатки: высокая цена и требования к квалификации персонала



Предлагаемое решение

- Универсальная измерительная платформа
- Универсальная программная платформа
- Широкая номенклатура адаптеров



Преимущества

- Не требует приобретения дополнительной измерительной техники
- Не требует переобучения персонала
- Снижение затрат при изменении номенклатуры
- Использование моделирования
- Унификация тестового оборудования



Примеры внедрения

- Микросхемы
LM2596, LM2676, LM2675, ADP3050, MP2012, LT1076, LT1372, LT1170, 1290EY1Y, 1290EY2Y, 1290EY3Y, 1290EY4Y, 1290EF1Y, 1290EK2.5Y, 1290EK3.3Y, 1290EK5Y, 1290EK12Y, LM2937ES, LT1963AEST, MC78M05ABDT, MC79M05BT, MC7805BT
- Силовые модули, IGBT, SiC-диоды Шоттки



Работа выполнена при финансовой поддержке
Министерства образования и науки РФ (проект № 8.1729.2017/4.6)

Тел. (4832) 59-01-91, моб. +7-910-337-01-65

E-mail: info@niiatm.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 К.Ю. Андросов.

Сдано в набор 16.03.2021. Выход в свет 30.03.2021.

Объём 50 Мб. ОЗУ 512 Мб. Internet Explorer, Adobe Reader 5.0 и выше.

