

ИЗВЕСТИЯ САМАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

IZVESTIYA OF SAMARA SCIENTIFIC CENTER
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

www.ssc.smr.ru



Издательство
Самарского федерального исследовательского центра
Российской академии наук

Известия Самарского научного центра Российской академии наук

Том 25, № 2(112), 2023

Основан в 1999 г. Выходит 6 раз в год. ISSN: 1990-5378

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре, свидетельство ПИ № ФС77-61347 от 07.04.2015

Главный редактор

Ф.В. Гречников

Заместители главного редактора

Я.А. Ерисов, А.В. Васильев

Ответственный секретарь

В.О. Соколов

Редакционный совет

С.Н. Шевченко, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук (председатель совета);

Ф.В. Гречников, академик РАН, доктор технических наук;

А.И. Рудской, академик РАН, доктор технических наук;

О.М. Буранок, доктор педагогических наук, доктор филологических наук;

А.Н. Пашкуров, доктор филологических наук;

Г.А. Баталова, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук;

Г.С. Розенберг, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук;

Ю.П. Аншаков, доктор исторических наук;

Г.П. Аншаков, член-корреспондент РАН, доктор технических наук;

К.В. Никифоров, доктор исторических наук;

В.П. Шорин, академик РАН, доктор технических наук

Редакционная коллегия

Машиностроение, информационные технологии и телекоммуникации:

Н.Ф. Аверкиев, Д.В. Антипов, Г.П. Аншаков, Р.Н. Ахметов, В.И. Батищев, А.С. Бугаев,

Ю.Н. Горелов, А.Ф. Денисенко, А.М. Дмитриев, Ю.С. Клочков, Н.В. Носов, Г.В. Смирнов,

С.В. Смирнов, В.А. Соболев, Б.В. Соколов, В.А. Сойфер, А.Х. Султанов, А.И. Хаймович,

В.Г. Халин, В.И. Хищенко, Е.В. Шахматов, В.Г. Шуваев, Е.А. Щепаккина, А.В. Юрков, С.И. Ярьсько

Выпускающий редактор

С.С. Мещеряков

Адрес редакции: 443001, г. Самара, Студенческий пер., 3а

Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Тел. +7(846) 340-06-20. И.о. зав. редакцией: Н.Ю. Кузнецова

электронная версия – www.ssc.smr.ru/izvestiya.shtml

Самара

Издательство Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук

© Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Самарский федеральный
исследовательский центр
Российской академии наук, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 2, 2023

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

К 75-летию академика РАН Федора Васильевича Гречникова

Я.А. Ерисов, А.С. Клентак

5

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Модернизированная концепция методики и инструментария обеспечения статистически управляемых процессов контроля и мониторинга качества электрокомпонентов в автосборочном производстве

А.В. Крицкий, В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров

14

Организация производства работ по контролю качества электрокомпонентов в составе электрооборудования автомобилей.

Аппаратное и программное обеспечение работы

А.В. Крицкий, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков

19

Разработка методики модернизации маршрута технического документооборота наукоемкого производства

М.В. Иванов

22

Статистический анализ аварийности на производстве в результате некорректного функционирования системы энергообеспечения предприятия

Р.Н. Пицилова, Т.В. Малышева, Ю.А. Аверьянова, Ф.М. Филиппова

27

К вопросу об организации и развитии распределённых производственных систем

М.Ф. Сафаргалиев

34

Цифровые двойники как инструмент мониторинга производственных процессов в индустрии 4.0

Р.А. Халиулин

45

Особенности реализации процессного подхода в управлении предприятием в условиях Индустрии 4.0

А.И. Шинкевич, М.В. Зимина

51

Анализ задач управления требованиями к продукции и качеством продукции

Е.С. Лесик

61

Разработка методики построения иерархии компетенций инженера-технолога на базе матрицы соответствия

А.М. Ковалева, А.И. Хаймович, Е.А. Колеганова

72

Разработка модели управления рисками предоставления недостоверных результатов испытаний

П.А. Афанасьев

79

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Согласованное наведение и управление мини-спутниками
в низкоорбитальных группировках космического землеобзора**

Е.И. Сомов, С.А. Бутырин, С.Е. Сомов, Т.Е. Сомова

88

**Управление информационной поддержкой процесса онбординга
IT-специалистов с использованием RPA-технологий**

Е.А. Дронь, Т.В. Павлович

97

CONTENTS

Number 2, 2023

SCIENTIFIC LIFE

To the 75th Anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences

Fedor Vasilievich Grechnikov

Ya.A. Erisov, A.S. Klentak

5

MECHANICAL ENGINEERING, MACHINE SCIENCE

Modernized Concept of the Technique and Instrumentation of Statistically Controlled Processes of Control and Monitoring of the Quality of Electrical Components in the Automotive Assembly Production

A.V. Kritsky, V.N. Kozlovskiy, D.V. Aidarov

14

Organization of Production of Works to Control the Quality of Electric Components in the Electrical Equipment of Cars.

Hardware and Software

A.V. Kritsky, V.N. Kozlovskiy, D.I. Panyukov

19

Development of a Method for Modernization of the Route of Technical Document Management in High-Tech Production

M.V. Ivanov

22

Statistical Analysis of Accidents at Work as a Result of Incorrect Functioning of the Energy Supply System of the Enterprise

R.N. Pigilova, T.V. Malysheva, Y.A. Averyanova, F.M. Filippova

27

On The Organization and Development of Distributed Production Systems

M.F. Safargaliev

34

Digital Twins as a Tool for Monitoring Production Processes in Industry 4.0

R.A. Khaliulin

45

Features Implementation the Process Approach in Enterprise Management in the Industry 4.0 Context

A.I. Shinkevich, M.V. Zimina

51

Analysis of the Objectives of Managing Product Requirements and Product Quality

E.S. Lesik

61

Development of a Methodology for Building A Hierarchy of Competencies of a Process Engineer on the Basis of a Traceability Matrix

A.M. Kovaleva, E.A. Koleganova, A.I. Khaimovich

72

Development of a Model for Risk Management of the Provision of Unreliable Test Results

P.A. Afanasiev

79

INFORMATICS, COMPUTER SCIENCE AND CONTROL

**Coordinated Guidance and Control of Mini_Satellites
in Constellations for Space Earth Survey**

Ye.I. Somov, S.A. Butyrin, S.Ye. Somov, T.Ye. Somova

88

**Management of the Onboarding Process Information Support
of it Specialists Using RPA Technologies**

E.A. Dron, T.V. Pavlovich

97

К 75-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА РАН ФЕДОРА ВАСИЛЬЕВИЧА ГРЕЧНИКОВА

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-5-13

EDN: AZIVIC



5 июня 2023 года исполняется 75 лет академику РАН, лауреату Государственной премии РФ, Заслуженному деятелю науки РФ Федору Васильевичу Гречникову – советнику Губернатора Самарской области, научному руководителю Самарского федерального исследовательского центра РАН, руководителю Представительства РАН на территории Самарской области, заведующему кафедрой обработки металлов давлением и научному руководителю НИИ «Пластическое деформирование специальных материалов» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, Председателю Президиума НАК при СПбПУ Петра Великого, члену Президиума ВАК РФ, главному редактору журнала «Известия Самарского научного центра РАН».

Профессор Федор Васильевич Гречников – известный российский ученый, специалист в области металлофизики и механики процессов пластического формообразования конструкционных материалов. Он автор свыше 500 научных работ, в том числе 15 монографий, 27 учебных пособий, 47 патентов, под его руководством и при его консультировании защищено 10 докторских и 17 кандидатских диссертаций.

Его труд высоко оценен Правительством РФ и Правительством Самарской области. Портфолио Заслуженного деятеля науки РФ (1998 г.) Федора Васильевича Гречникова содержит следующие Государственные награды и премии: Лауреат Государственной премии РФ (2003 г.), премии Ленинского комсомола (1981 г.) и премии Минвуза СССР (1986 г.); лауреат Губернской премии (2001 г.) и Премии Губернатора (2010 г.). В его копилке - Медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2009 г.). Среди множества Губернских наград можно остановиться на Почетных знаках Губернской Думы «За служение Закону» (2013 г.) и Губернатора «За труд во благо Земли Самарской» (2016 г.). Награжден Почетными грамотами Главы г.о. Самара трех степеней (2006, 2008, 2013 гг.). Имеет медали «За заслуги в развитии инженерного образования России» (2013 г.) и Минпромторга РФ «За заслуги в области стандартизации и качества» имени В.В. Бойцова (2019 г.). Среди ведомственных наград стоит отметить нагрудные знаки Минвуза СССР «За отличные успехи в работе» (1988г), Минвиапрома СССР «Почетный авиастроитель» (1992 г.), а также медали Федерации космонавтики: имени академика А.Н. Пилюгина (1998 г.), академика С.П. Королёва (2003 г.), 110 лет заводу «Прогресс» (2004 г.), юбилейная медаль «100 лет профсоюзам России» (2004г). Среди наград Ф.В. Гречникова имеются также почетные грамоты Президиума Республиканского комитета профсоюза работников высшей школы РСФСР (1982 г.), дипломы ЦК КПСС, Совета Министров СССР и ВЦСПС (1987 г.) и Минобрнауки Самарской области (2013 г.).



Вручение Ф.В. Гречникову Государственной премии РФ Председателем Правительства РФ М.Е. Фрадковым

Ф.В. Гречников родился в селе Новое Подлесное Клявлинского района Куйбышевской области. Его родители - Надежда Васильевна и Василий Севастьянович были уже немолодыми. Он среди братьев был единственным, рожденным после Великой Отечественной войны, поэтому с детства не понаслышке знал о долге, об ответственности, заботясь о близких людях. И сейчас Федор Васильевич уверен, что именно слова отца «Глаза, сынок, страшатся, а руки делают» - определили вектор его дальнейшей судьбы.

Федор Гречников закончил среднюю школу в районном центре Северное Оренбургской области с золотой медалью. Однако, оформление паспорта отняло драгоценное время. Прием документов в Куйбышевский авиационный институт (КуАИ) на дневное отделение уже был закончен и он, устроившись слесарем в Кировское трамвайное депо, поступает на вечернее отделение металлургического факультета КуАИ. За год он прошел путь от слесаря 1 до 5 разряда, став бригадиром. С металлом он познакомился очень близко. Федор успевал все: хорошо работать, учиться только на 5, заниматься спортом. Ненасытным оставалось одно желание: получать как можно больше знаний, поэтому по совету декана факультета Ю.М. Арышенского он переводится на дневное отделение.

Закончив КуАИ с красным дипломом, Федор Гречников делает первые шаги на пути становления ученого, защитив в 1977 году кандидатскую диссертацию на тему: «Интенсификация процессов листовой штамповки деталей летательных аппаратов путем создания в листах

рациональной анизотропии свойств» по специальности «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов». В 1978 году ему присвоено ученое звание доцента, а в 1991 году - профессора по итогам выхода в свет его монографии в издательстве «Машиностроение». Ф.В. Гречникову удалось создать новое направление в области формирования эффективной кристаллографии структуры и анизотропии свойств авиационных материалов с учетом требований их эффективного использования при последующем многоэтапном пластическом деформировании и эксплуатации изделий. Изложив его суть в диссертации на тему: «Основы интенсификации процессов штамповки путем формирования в листовых материалах рациональной анизотропии свойств» Федор Гречников 19 мая 1993 года в день рождения пионерской организации защищает докторскую диссертацию в МВТУ им. Н.Э. Баумана. Знаменательный день. Гречников, действительно, пионер в своем деле. В этом же году, он возглавил кафедру обработки металлов давлением (ОМД) и НИЛ «Пластическое деформирование специальных материалов» Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ). В 1997 году он открывает и возглавляет Волжский филиал Института металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН на базе его родной кафедры. Сотрудники двух кафедр: ОМД и технологии металлов и авиационного материаловедения (ТМиАМ) получили новые возможности для реализации своего творческого потенциала уже в рамках РАН.



Вице-президент компании РУСАЛ А. С. Булыгин (в центре) и генеральный директор СМЗ М.Б. Оводенко (первый справа) на кафедре ОМД СГАУ
слева-направо: декан факультета №4 профессор В.Р. Каргин, профессор И.П. Попов, доцент А.Ю. Иголкин, зав.кафедрой ОМД Ф.В. Гречников, доцент В.И. Дровяников

Проводимые кафедрой научные исследования требовали своего «выхода». Было принято решение о проведении на базе кафедры первой МНТК «Металлдеформ - 99». В дальнейшем эта конференция стала традиционной: «Металлдеформ-2004», «Металлдеформ-2009», «Металлдеформ-2015». В них принимали активное участие не только ученые России, но и других стран ближнего и дальнего Зарубежья. Пятая МНТК «Металлдеформ-2017» состоялась уже как 1-ый Международный конгресс «Процессы пластического деформирования авиакосмических материалов. Наука, технология, производство».

Разработки ученых кафедры, которую Ф. В. Гречников возглавляет уже на протяжении 30 лет, были отмечены премиями Ленинского комсомола, Совета Министров СССР, Губернатора Самарской области, Губернскими премиями, премиями имени С.И. Мосина, премиями Президиума РАН для молодых ученых.

Кафедра активно сотрудничает с базовым для нее предприятием - Самарским металлургическим заводом (СМЗ) и предприятиями аэрокосмической отрасли РФ. В 2000-2003 гг. под научным руководством Ф.В. Гречникова осуществлена модернизация прокатного комплекса СМЗ, где впервые была разработана и внедрена технология производства высокопрочной алюминиевой ленты, поставляемой на экспорт. Работа удостоена Государственной премии РФ в области науки и техники. Экономический эффект разработок на момент внедрения составил свыше 1,5 млрд. руб.

Жизнь Ф.В. Гречникова до предела насыщена созидательной работой, яркими событиями, мыслями человека, продвигающего науку и образование в родном Отечестве. Уже с 1973 года он – декан вечернего отделения факультета ОМД КуАИ при Куйбышевском металлургическом заводе. По инициативе Ф.В. Гречникова и при поддержке директора СМЗ Г.В. Ходасевича и ректора КуАИ профессора В.П. Лукачева вечернее отделение было преобразовано в вечерний факультет технологии и организации авиационного производства.

Более четверти века Федор Гречников - проректор по учебной работе КуАИ - СГАУ. Как отмечал в своей книге «Записки самарского ректора» Николай Николаевич Панов, прошедший путь от проректора по учебной работе и ректора Куйбышевского политехнического института до заведующего отделом ЦК КПСС: «Проректор по учебной работе - это один из самых неблагодарных участков работы в вузе». «Да, работа хлопотная», - отмечал и Ф.В. Гречников. По отзывам коллег: «Хобби Гречникова - это успех и достижения СГАУ». Поэтому все эти 27 лет он был на своем месте. Любовь к Alma-Mater, творческий успех напрямую связаны с интеллигентностью и достоинством Федора Гречникова. В его приемной всегда находились люди. Часы приема по личным вопросам - круглосуточно... Как отмечала по этому поводу корреспондент Людмила Мартова на страницах газеты «Волжская коммуна»: «Мудрость и знание жизни выражаются в конкретной помощи каждому, обратившемуся к нему человеку».



В лаборатории НИЛ-37 каф. ОМД Самарского университета им. С.П.Королева.
Верхний ряд: доц. каф. экономики С.А. Колычев, проф. каф. ТМиАМ Е.В. Арышенский, доцент А.Г. Шляпугин, проф. Я. А. Ерисов
Средний ряд: доц. С.В. Сурудин, зав. каф. ТМиАМ проф. Е.А. Носова, науч. рук. НИЛ-41 Д.Г. Черников
Нижний ряд: зав. каф. академик РАН Ф.В. Гречников, доц. каф. ТМиАМ А. А. Кузина, зав. каф. «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» СамГТУ проф. А.П. Амосов, председатель профкома Самарского университета, доц. М.В. Хардин, проф. И.П. Попов

20 лет Федор Гречников работал с ректором КуАИ-СГАУ профессором Виктором Александровичем Сойфером. Вместе они принимали решение об организации и создании новых образовательных структур, таких как экономический факультет СГАУ, Тольяттинский филиал СГАУ при ОАО «АВТОВАЗ», сотрудничество с Университетом Брэдли (США), НОУ ВПО с красивым названием «МИР», Самарский международный аэрокосмический лицей (СМАЛ) на базе СГАУ, а также лицей авиационного профиля на базе физико-математической школы №135 (ныне базовая школа РАН). Были открыты под председательством Ф.В. Гречникова два докторских диссертационных совета технического и экономического профиля по 6 специальностям и многое другое.



На заседании юбилейной комиссии
50-летия КуАИ -СГАУ

Слева-направо: ректор В.А. Сойфер, председатель юбилейной комиссии Ф.В. Гречников, ученый секретарь Т.Д. Павлова

Связи и интересы проректора Ф.В. Гречникова были разносторонние. Будучи, по приглашению летчика-космонавта А.А. Сереброва в центре подготовки космонавтов на учредительном собрании Всесоюзного молодежного аэрокосмического общества «Союз» (ВАКО СОЮЗ) он предложил создать на базе КуАИ региональное Поволжское отделение ВАКО СОЮЗ, которое и возглавил. В рамках его деятельности были установлены дружеские связи «юных космонавтов» из Куйбышева с «юными астронавтами» США. Ф.В. Гречников в 1991 году организовал им посещение космодрома Байконур, где «юные космонавты-астронавты» наблюдали запуском на орбиту космического корабля «СОЮЗ».

Работая на таком ответственном участке в вузе как учебная работа, ему часто приходилось общаться с выдающимися людьми Самарской области (СО) и Российской Федерации. Среди них можно отметить Губернаторов СО: К.А. Титова, В.В. Артякова, Н.И. Меркушкина, Д.И. Азарова, Председате-

ля правительства РФ Е.М. Примакова, заместителя Председателя правительства РФ О.Н. Сысуева, вице-преьера Правительства РФ О.Ю. Голодец, Генерального директора ОДК Ростеха А.В. Артюхова, директоров Самарских промышленных предприятий М.Г.Спичака, А.А. Соболева, А.Н. Кирилина, М.Б. Оводенко, Е.П. Корнева, Г.А. Кулакова, В.В. Николаева, П.С. Тюхтина, И.Л. Шитарева и др.



Проректор Ф. В. Гречников и ректор В. А. Сойфер на встрече с Губернатором СО К. А. Титовым



Губернатор СО В.В. Артяков вручает Премию Губернатора СО Ф.В. Гречникову

В рамках выполнения научных исследований Ф. В. Гречников активно сотрудничал и сотрудничает с академиками РАН: Н.П. Лякишевым, И.Н. Фридляндером, Е.Н. Кабловым, Н.Т. Кузнецовым, А.И. Рудским, В. Я. Шевченко, В.П. Мешалкиным, К.В. Григоровичем и членкорреспондентами А.М. Дмитриевым, А.Г. Колмаковым, А.С. Орыщенко и многими другими.



Посещение СГАУ Председателем Правительства РФ академиком РАН Е.М. Примаковым
Принимают его проректоры СГАУ Ф.В. Гречников и Е.В. Шахматов



Обсуждение 3-х стороннего договора о сотрудничестве СО-ВИАМ-СГАУ
в лице Губернатора СО Н.И. Меркушкина, Генерального директора ВИАМ Е.Н. Каблова,
ректора СГАУ Е.В. Шахматова и советника Губернатора СО Ф. В. Гречникова



Заседание Наблюдательного совета НОЦ «Инженерия будущего» под председательством Губернатора Самарской области Д.И. Азарова



Встреча Ф. В. Гречникова с коллегами - академиками РАН А. С. Орыщенко, К. В. Григоровичем, В. П. Мешалкиным, В. Я. Шевченко на общем собрании РАН

История оставляет знаки событий на всем жизненном пути Ф. В. Гречникова.

2006 год - год выборов в Российскую академию наук, который совпал с годом конкурса на лучший инновационный вуз России. Выбор сделан. Все время и силы брошены руководством СГАУ на развитие своего вуза. В результате СГАУ вошел в число 17 инновационных вузов страны. Но оказавшись в лучших, это значит непрерывно работать, не зная ни отдыха, ни усталости, не

жаяля сил. В университете продолжается интеграция научных исследований и учебного процесса. Многолетние традиции, признанные научные школы и материальная база позволяют университету активно участвовать в выполнении государственных и региональных научно-технических программ, развивать международное сотрудничество. Все это позволило СГАУ в числе первых 12 вузов России получить категорию «национальный исследовательский университет».



«Вперед и вверх!»- девиз КуАИ - СГАУ и Федора Гречникова

2008 год и снова выборы в РАН. Ф. В. Гречников избран член - корреспондентом РАН по Отделению химии и наук о материалах, а в 2016 году - академиком РАН.

В 2013 году по приглашению Председателя Самарского научного центра РАН (СамНЦ РАН) академика РАН Шорина Владимира Павловича Ф. В. Гречников переходит на новую работу первым заместителем Председателя СамНЦ РАН.

Владимир Павлович, будучи ректором КуАИ, в свое время, рекомендовал Федора Гречникова на должность проректора по учебной работе КуАИ. И дважды выбор его оказался верным. Именно Федору Васильевичу удалось в рамках Минобрнауки РФ преобразовать СамНЦ РАН в ФГБУН «Самарский федеральный исследовательский центр РАН», объединив при этом академические структуры Самарской области, а также включив в него и Ульяновский НИИСХ РАН.



На заседании ректората:
проректор Ф. В. Гречников с ректором КуАИ (1988-1990), Председателем комитета по науке и образованию Верховного Совета РСФСР (1990-1993) и Председателем СамНЦ РАН (1994-2018) академиком РАН В. П. Шориным

Директором СамФИЦ РАН был избран академик РАН Сергей Николаевич Шевченко, а академик РАН Ф. В. Гречников стал научным руководителем центра и главным редактором журнала «Известия Самарского научного центра РАН».

Одновременно с этими преобразованиями Федор Гречников занимался созданием в регионе собственной структуры РАН - Представительства РАН на территории Самарской области. Как сказал директор СамФИЦ РАН академик РАН С. Н. Шевченко на совещании «Самарская область – опора для российской науки»: «Это всего лишь третий Центр РАН среди всех регионов России и возглавляет его на общественных началах академик Ф. В. Гречников». Безусловно, созданное Представительство РАН способствует объединению и развитию в регионе вузовской и академической науки. «Представительство РАН», как было отмечено на Президиуме РАН, «это своего рода «коммуникатор» между разными структурами, от которых зависит успех научного исследования». В частности, оно активно участвует в реализации программы деятельности межрегионального НОЦ «Инженерия будущего», где Ф.В. Гречников является членом Наблюдательного совета и куратором комитета по материалам и технологиям.



Беседа трех академиков РАН в СамФИЦ РАН
Слева-направо: Председатель СГД, Председатель совета ректоров СО Г. П. Котельников, научный руководитель СамФИЦ РАН, руководитель Представительства РАН на территории СО Ф. В. Гречников, директор СамФИЦ РАН С. Н. Шевченко

Связи академика РАН Ф. В. Гречникова с КуАИ-СГАУ-Самарским университетом имени академика С. П. Королева по прежнему неразрывны. Этот год замечателен еще и тем, что уже 50 лет отдано родному вузу и научно-педагогической и руководящей деятельности в нем. За эти годы Ф. В. Гречников добросовестно работал со всеми ректорами родного вуза: В. П. Лукачевым, В. П. Шориным, В. А. Сойфером, Е. В. Шахматовым и В. Д. Богатыревым. И, на наш взгляд, все они отзывались и отзываются о нем как о надежном коллеге, который может самостоятельно и продуктивно исполнять свои обязанности.

В настоящее время в Самарском университете он не только занимается своей родной кафедрой, но и является активным членом ученого совета университета, а также участвует в работе коллегии Минобразования СО, является Председателем комиссии по экспертизе работ и проектов в области науки и техники, представляемых на соискание Губернских премий и Грантов. Он уделяет большое внимание работе со школьниками, являясь председателем Экспертного Совета регионального центра выявления и поддержки одаренных детей «ВЕГА» и взаимодействуя с базовыми школами РАН.



На фестивале студентов «Мы - будущее России»

Слева-направо: ректор Самарского университета имени академика С. П. Королева В. Д. Богатырев, ректор Международного института рынка В. Г. Чумак, Председатель СГД, Председатель Совета ректоров вузов СО академик РАН Г. П. Котельников, Президент Самарского университета, Председатель общественной палаты СО академик РАН В. А. Сойфер, академик РАН Ф. В. Гречников



Вручение ученикам 7А класса Самарского лицея информационных технологий (Базовая школа РАН) сертификатов о прохождении стажировки на кафедре ОМД

Слева-направо: профессор кафедры, зам. зав. кафедрой Я. А. Ерисов, учащаяся лицея К.Д. Богданова, руководитель Представительства РАН на территории СО Ф. В. Гречников, директор лицея Н. И. Лебедев



ГРЕЧНИКОВ ФЕДОР ВАСИЛЬЕВИЧ
доктор технических наук, профессор, академик РАН,
Заслуженный деятель науки РФ,
Лауреат Государственной премии РФ,
советник Губернатора Самарской области,
заместитель председателя СамНЦ РАН,
председатель Экспертного совета центра «Вега»

*Мир науки и технологий
стремительно развивается.
Создание нового требует
глубоких знаний и постоянного
само совершенствования!*

*Дорогие выпускники!
Пусть знания станут
вашими крыльями и
«ВЕГА» подготовит вас
к новым звездным
открытиям на
благо России!*

Я.А. Ерисов

На заседании Экспертного совета регионального центра «ВЕГА»

Как член экспертной группы Всероссийской Ассоциации организаторов студенческих олимпиад «Я – профессионал» по укрупненной группе «Инженерные науки и технологии» он уделяет внимание и подготовке студентов.

Академик РАН Ф.В. Гречников уже в течение 7 лет участвует в работе Президиума Высшей Аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования РФ. С 2021 года он является также Председателем национального аттестационного комитета (НАК) по присуждению ученых степеней кандидата и доктора наук при Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого.

В 2022 году Федор Васильевич Гречников избран в бюро Отделения химии и наук о материалах РАН, а с 2023 – членом Научного совета по неорганической химии РАН.

Есть такая санскритская молитва: «Дайте мне безмятежность, чтобы принять неизбежное. Смелость, чтобы изменить то, что может быть изменено. И мудрость, чтобы знать эту разницу...» Мудростью и знанием жизни не по учебникам и отличается юбиляр академик РАН Федор Васильевич Гречников.

Главная его черта – скромность. Он идет по жизни с высоко поднятой головой не из гордости, а из-за осознания правоты того дела, которому служит, оставляя позади себя добрые дела.

Поздравляем Федора Васильевича с замечательным 75-летним юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, долголетия, добра и мира! Нам предстоит еще так много сделать вместе, у нас так много всего впереди!

*Заместитель заведующего кафедрой
Самарского национального
исследовательского университета
имени академика С.П. Королева,
профессор кафедры обработки металлов
давлением, д.т.н. Я.А. Ерисов*

*Руководитель департамента
проектной деятельности
Самарского национального
исследовательского университета
имени академика С.П. Королева,
доцент кафедры теплотехники и тепловых
двигателей, к.т.н., доцент А.С. Клентак*

УДК 004.413

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДИКИ И ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОКОМПОНЕНТОВ В АВТОСБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

© 2023 А.В. Крицкий, В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 05.04.2023

В статье представлены результаты разработки модернизированной концепции обеспечения статистически управляемых процессов контроля и мониторинга качества электрокомпонентов в автосборочном производстве.

Ключевые слова: конкурентоспособность, качество, автосборочное производство, электрокомпоненты.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-14-18

EDN: BPHLUS

Существующая насыщенность производственного процесса инструментами мониторинга и контроля качества электрокомпонентов имеет явную недостаточность с точки зрения обеспечения процесса контроля качества электрокомпонентов в составе системы электрооборудования. Изменчивость элементов электрооборудования связанная с технологическими параметрами стабильности производства, может существенно повлиять на стабильность работы электрооборудования в составе системы [1, 2].

Действительно, анализ рисунка 1, показывает, что на финишном этапе производства автомобилей отсутствуют инструменты статистического мониторинга и контроля качества электрокомпонентов в составе системы электрооборудования. Очевидно, что отсутствие таких инструментов, с учетом значительной важности электротехнического комплекса автомобилей в целом и электрокомпонентов в частности создает дополнительные риски недостаточного качества новых автомобилей в целом [3, 4].

Итак, получается, что в настоящее время в автосборочных производствах, работающих в условиях массового изготовления автомобилей, наблюдается недостаток инструментальной базы направленной на мониторинг и контроль качества электрокомпонентов в составе системы электрооборудования [5, 6].

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать актуальную научно-техническую задачу, заключающуюся в необходимости развития инструментов мониторинга и контроля качества электрокомпонентов автомобилей на финишных этапах производства, действующих с учетом массовости производства.

В последние десятилетия, в основном иностранными разработчиками тестового оборудования, были предложены технические решения в области диагностики электрооборудования автомобилей в производстве, как раз направленные на выявление отклонений в области качества продукции на финишных этапах производства. Такие системы реализуют функцию «светофора», то есть при выявлении несоответствия дефектная продукция не пропускается на следующие этапы производства. Одной из важных функций таких технических систем является возможность накопления статистических данных о стабильности диагностируемых электротехнических параметров. Данная функция в процессе производства, до настоящего времени не нашла существенного развития. При это бесспорно, что она обладает значительным потенциалом при решении задач направленных на совершенствование инструментов мониторинга и контроля качества продукции.

Указанные технические решения реализуются на основе компьютерных средств диагностики. Известны такие решения как комплексы компаний Hofman, Bosch, LEM HEMA, GenRad которые реализуют от 4 до 6 программ, последовательного диагностического алгоритма тестирования электрооборудования автомобилей [7 – 9].

Крицкий Алексей Викторович, аспирант.

E-mail: kritskiyav@yandex.ru

Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

Айдаров Дмитрий Васильевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: adv_tol@mail.ru

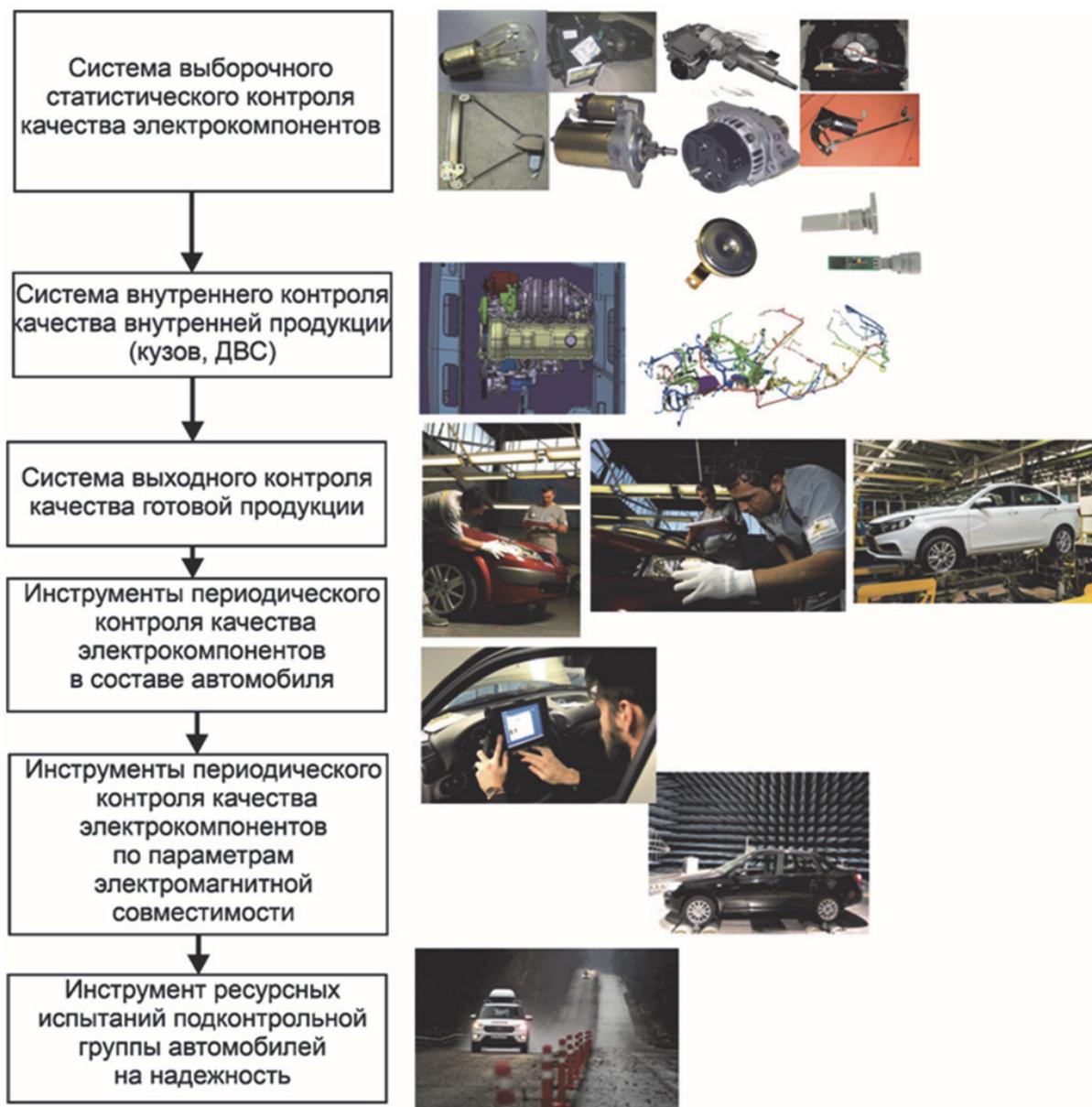


Рисунок 1 – Существующие в действующем производстве инструменты контроля, мониторинга и управления качеством электрокомпонентов (было)

На одном из ведущих автосборочных предприятий, была внедрена система «SofTest ATE», которая работала в режиме «светофора», и осуществляла комплексную работу по диагностированию электрооборудования автомобилей. Основные принципы работы существующих диагностических комплексов работающих в данном направлении заключается в серии измерений потребления тока электрокомпонентом в установившемся режиме работы и сравнении его со стандартным (указанным в технических требованиях, технических условиях) значением. На основании проведенной серии измерений по всем основным электрокомпонентам дается электронное заключение о соответствии/несоответствии электрооборудования установленным требованиям.

Обобщенный алгоритм работы таких систем представлен на рисунке 2. В самом начале работы, система диагностики проводит измерение тока потребления при отсутствии нагрузки $I_{отс}$. За период нормируемого времени $t_{отс}$. Далее проводится два замера установившегося значения токов потребления под нагрузкой $I_{комм}$. Разность между среднеарифметическими значениями этих замеров $I_{изм}$ и током потребления при отсутствии нагрузки рассматривается как ток потребления (нагрузки) электрокомпонента в установившемся режиме работы I. Данное значение тока потребления проходит цикл сравнения с допустимыми значениями тока для оцениваемого электрокомпонента. Затем результат высвечивается на мониторе и заносится в электронную базу данных.

Исходя из вышеизложенного можно выделить ряд актуальных задач, решение которых можно объединить в рамках разработки научно-практического комплекса статистических инструментов по оценке стабильности показателей качества электрокомпонентов с использованием электронной базы данных по результатам измерения тока потребления электрокомпонента в установившемся режиме работы (I).

Таким образом, на основании вышеизложенного, с учетом полученных данных и представленных на рисунках 1 и 2 схем, можно представить концептуальную графическую структуру направленную в развитие существующей системы контроля и мониторинга качества электрокомпонентов в автосборочном производстве (рисунок 3). Структура дополнена блоком компьютерной диагностики электрокомпонентов системы электрооборудования на финишном этапе производства автомобилей, которая обеспечивает необходимый статистический контроль и мониторинг качества электрооборудования с учетом массовости производства.

Таким образом, в качестве ключевых параметров качества электрокомпонентов предлагается рассматривать: напряжение бортовой сети при неработающем двигателе внутреннего сгорания, для оценки аккумуляторной батареи (В); вырабатываемое напряжение генераторной установки, для оценки генератора при работающем двигателе внутреннего сгорания (В); установившийся ток нагрузки (потребления) для всех основных электрокомпонентов бортовой сети автомобилей при работающем двигателе внутреннего сгорания (А).

Как видно из рисунка 3, в рамках статистического инструментария контроля и мониторинга качества электрокомпонентов в составе системы электрооборудования, должны быть разработаны инструменты построения карт индивидуальных значений, гистограммы распределения электротехнических параметров определяющих фактическое состояние процесса. Далее с их использованием, а также на основе требований технических условий на электрокомпоненты появляется возможность для обоснования приемлемых статистических границ определяющих стабильный характер электротехнических параметров электрокомпонентов в составе системы электрооборудования. Также, создаются предпосылки для разработки и реализации цифровых калибров, направленных на управление качеством электрокомпонентов и обеспечение статистической стабильности ключевых электротехнических параметров к которым относится ток потребления.

От общих вопросов создания концепции инструментов статистического контроля, мониторинга и управления качеством электрокомпонентов в составе системы электрооборудования

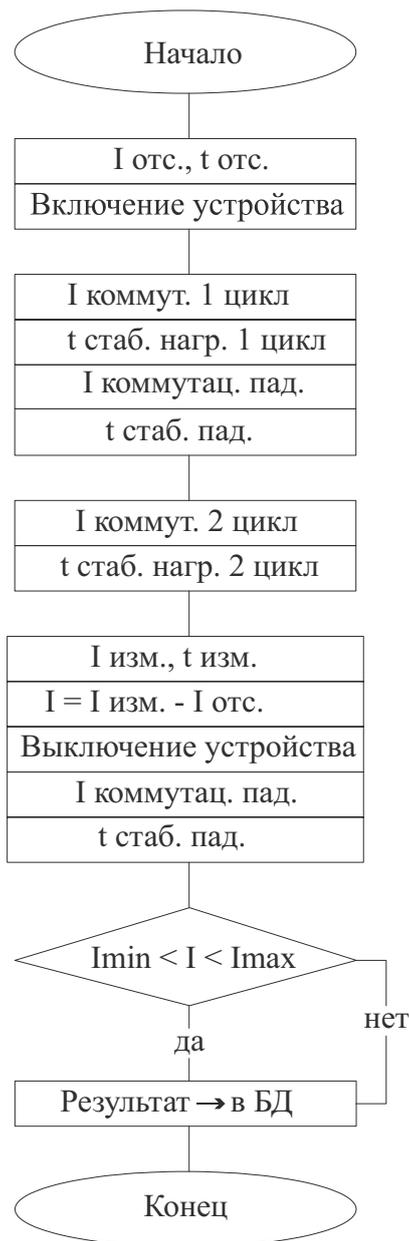


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма работы диагностического комплекса:

- I отс. – ток при отсутствии нагрузки;
- t отс. – время измерения при отсутствии нагрузки (100 мс);
- I коммут. – ток коммутации;
- t стаб. нагр. – время стабилизации тока при наличии нагрузки;
- I изм. – ток измерения;
- t изм. – время измерения;
- I – ток потребления;
- I коммут. пад. – ток коммутации падения;
- t стаб. пад. – время стабилизации тока падения

можно перейти к соответствующим вопросам организации системы массового контроля качества электрокомпонентов в составе электрооборудования новых автомобилей в сборе.

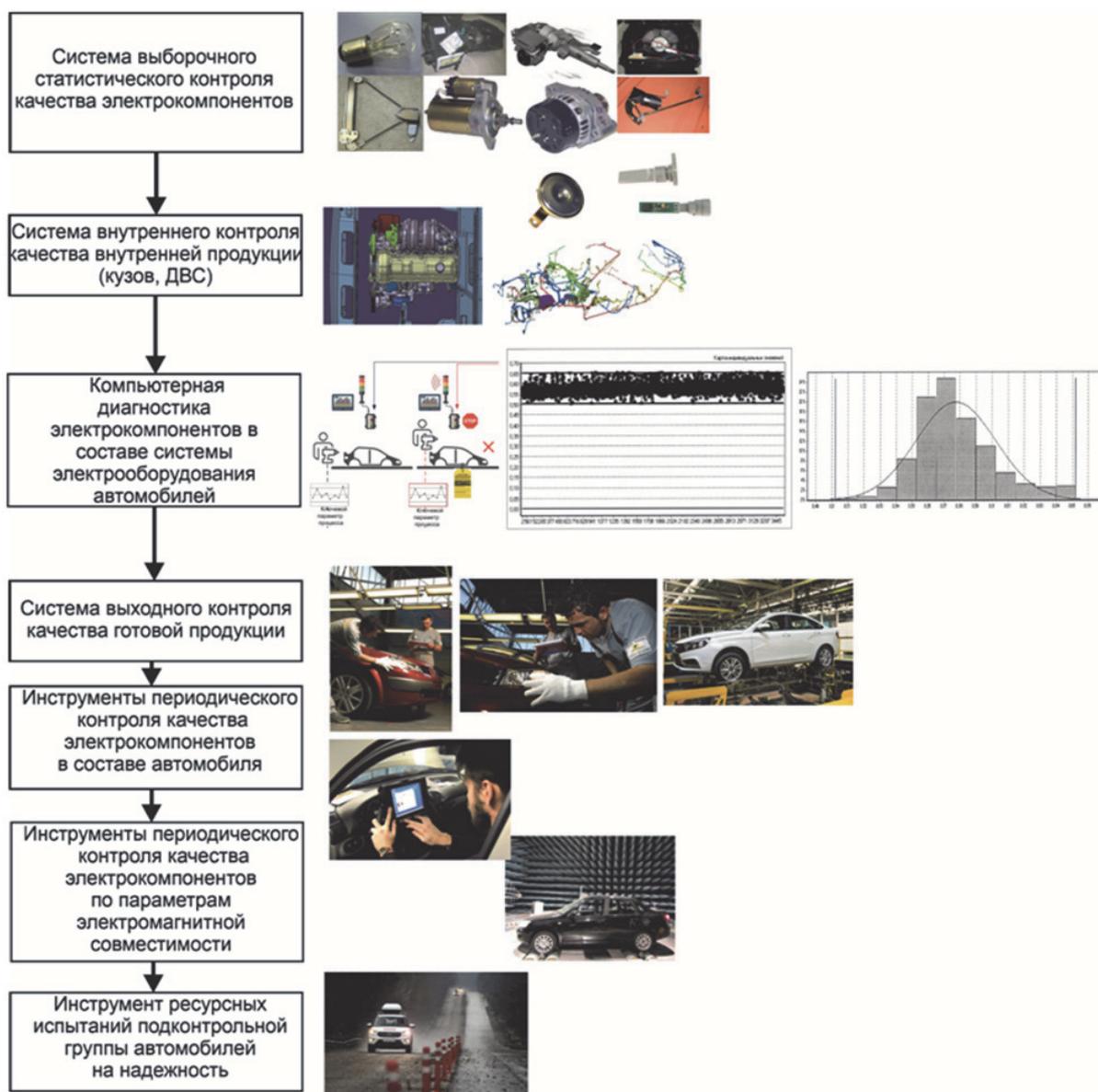


Рисунок 3 – Модернизированная концепция методики и инструментария статистически управляемых процессов контроля и мониторинга качества электрокомпонентов в автосборочном производстве (стало)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дебелов, В.В. Электронная система регулирования скорости движения автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости / В.В. Дебелов, В.В. Иванов, В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.Е. Ютт // Грузовик. – 2013. – № 12. – С. 19-23.
2. Козловский, В.Н. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 2 / В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 19-28.
3. Petrovski, S.V. Intelligent diagnostic complex of electromagnetic compatibility for automobile ignition systems / V.N. Kozlovski, A.V. Petrovski, D.F. Skripnuk, V.E. Schepinin, E. Telitsyna // Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions). 6th International Conference ICRITO. – 2017. – С. 282-288.
4. Строганов, В.И. Моделирование систем электро-мобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой в процессах проектирования и производства: Монография / В.И. Строганов, В.Н. Козловский. – М., 2014.
5. Козловский, В.Н. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 2. / В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 19-28.
6. Козловский, В.Н. Моделирование электрооборудования автомобилей в процессах проектирования и производства: Монография / В.Н. Козловский // Тольятти, 2009.
7. Козловский, В.Н. Обеспечение качества и надеж-

- ности системы электрооборудования автомобилей / В.Н. Козловский // автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т). – Тольятти, 2010.
8. *Козловский, В.Н.* Перспективные системы диагностики управления автономным транспортным объектом / В.Н. Козловский, В.В. Дебелов, О.И. Деев, А.Ф. Колбасов, С.В. Петровский, А.П. Новикова // Грузовик. – 2017. – № 6. – С. 21-28.
9. *Козловский, В.Н.* Развитие проектов электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой / В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров, М.М. Васильев, В.В. Дебелов // Грузовик. – 2018. – № 6. – С. 18-21.

**MODERNIZED CONCEPT OF THE TECHNIQUE AND INSTRUMENTATION
OF STATISTICALLY CONTROLLED PROCESSES OF CONTROL AND MONITORING
OF THE QUALITY OF ELECTRICAL COMPONENTS IN THE AUTOMOTIVE ASSEMBLY PRODUCTION**

© 2023 A.V. Kritsky, V.N. Kozlovskiy, D.V. Aidarov

Samara State Technical University, Samara, Russia

The article presents the results of the development of a modernized concept for providing statistically controlled processes for controlling and monitoring the quality of electrical components in car assembly.

Keywords: competitiveness, quality, car assembly production, electrical components.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-14-18

EDN: BPHLUS

REFERENCES

1. *Debelov, V.V.* Elektronnaya sistema regulirovaniya skorosti dvizheniya avtomobilya v rezhimakh podderzhaniya i ogranicheniya skorosti / V.V. Debelov, V.V. Ivanov, V.N. Kozlovskij, V.I. Stroganov, V.E. Yutt // Грузовик. – 2013. – № 12. – С. 19-23.
2. *Kozlovskij, V.N.* Kompleks elektronnyh sistem upravleniya dvizheniem legkovogo avtomobilya s kombinirovannoj silovoj ustanovkoj. CHast' 2 / V.N. Kozlovskij, V.I. Stroganov, V.V. Debelov, M.A. P'yanov // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 19-28.
3. *Petrovski, S.V.* Intelligent diagnostic complex of electromagnetic compatibility for automobile ignition systems / V.N. Kozlovski, A.V. Petrovski, D.F. Skripnuk, V.E. Schepinin, E. Telitsyna // Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions). 6th International Conference ICRITO. – 2017. – С. 282-288.
4. *Stroganov, V.I.* Modelirovanie sistem elektromobilej i avtomobilej s kombinirovannoj silovoj ustanovkoj v processah proektirovaniya i proizvodstva: Monografiya / V.I. Stroganov, V.N. Kozlovskij. – М., 2014.
5. *Kozlovskij, V.N.* Kompleks elektronnyh sistem upravleniya dvizheniem legkovogo avtomobilya s kombinirovannoj silovoj ustanovkoj. Chast' 2. / V.N. Kozlovskij, V.I. Stroganov, V.V. Debelov, M.A. P'yanov // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 19-28.
6. *Kozlovskij, V.N.* Modelirovanie elektrooborudovaniya avtomobilej v processah proektirovaniya i proizvodstva: Monografiya / V.N. Kozlovskij // Tol'yatti, 2009.
7. *Kozlovskij, V.N.* Obespechenie kachestva i nadezhnosti sistemy elektrooborudovaniya avtomobilej / V.N. Kozlovskij // avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Mosk. gos. avtomobil.-dorozh. in-t (tekhn. un-t). – Tol'yatti, 2010.
8. *Kozlovskij, V.N.* Perspektivnye sistemy diagnostiki upravleniya avtonomnym transportnym ob»ektom / V.N. Kozlovskij, V.V. Debelov, O.I. Deev, A.F. Kolbasov, S.V. Petrovskij, A.P. Novikova // Грузовик. – 2017. – № 6. – С. 21-28.
9. *Kozlovskij, V.N.* Razvitie proektov elektromobilej i avtomobilej s kombinirovannoj energoustanovkoj / V.N. Kozlovskij, D.V. Ajdarov, M.M. Vasil'ev, V.V. Debelov // Грузовик. – 2018. – № 6. – С. 18-21.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА
ЭЛЕКТРОКОМПОНЕНТОВ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ.
АППАРАТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ**

© 2023 А.В. Крицкий, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 05.04.2023

В статье представлены результаты разработки и реализации инструментов организации производства работ по массовому контролю качества электрокомпонентов в составе системы электрооборудования новых автомобилей в сборе.

Ключевые слова: конкурентоспособность, качество, автосборочное производство, электрокомпоненты.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-19-21

EDN: BXGJDT

Технология компьютерного тестирования. Процесс тестирования происходит в режиме диалога установки с оператором: на экран монитора на производственном участке выводятся инструкции оператору; оператор последовательно выполняет инструкции; установка автоматически производит тестирование и выдает результат.

Технология диагностики электрокомпонентов на главном конвейере. Последовательность действий оператора во время диагностики электрооборудования с помощью установки: оператор подключает токовые клещи к аккумуляторной батарее; вводит данные тестируемого автомобиля, считывая штрих код с таблички на кузове автомобиля или с карточки комплектации; садится в салон автомобиля на место водителя, закрепляет носимый пульт управления и подключается к диагностическому разъему; установка автоматически определяет комплектацию автомобиля и загружает программу; установка контролирует мощность потребления электрических цепей автомобиля при выключенном замке зажигания [1, 2]. Если потребляемая мощность в пределах допустимого диапазона, оператор получает команду «Включить замок зажигания» и выполняет ее; далее оператор действует по командам установки, последовательно выполняя их; установка проверяет цепи электрооборудования согласно карте тестирования и выдает сообщения: «годен» или «не годен». При получении сообщения «не годен» предлагает оператору выбрать повторное включение устройства для дополнительного тестирования, либо записать

информацию о дефекте в отчет по диагностируемому автомобилю [1, 3].

Технология устранения дефектов электрооборудования. Процесс устранения неисправностей производится при помощи программного обеспечения в режиме диалога. Оператор последовательно получает на экране монитора рабочей станции инструкции, после исполнения которых установка автоматически совершает требуемые измерения.

Информация о дефектах конкретного автомобиля в соответствии с VIN-номером автомобиля, и номером комплектации (полученным с помощью считывателя штрих-кода или ввода с клавиатуры), запрашивается из базы данных о дефектных автомобилях хранящихся в базовой станции установки. В соответствии с этой информацией базовая станция загружает программу локализации неисправностей [1, 4].

Информацию о неисправностях можно также получить, выполнив полное тестирование автомобиля с установки.

Установка подключается к колодке диагностики автомобиля. На дисплее выводятся инструкции. Слесарь-ремонтник, последовательно выполняя инструкции, осуществляет локализацию и устранение неисправностей.

После устранения неисправностей выполняется полное тестирование электрооборудования автомобиля. Результаты тестирования автоматически передаются в базу данных завода [1, 2, 5].

Программное и аппаратное обеспечение. Установка компьютерной диагностики электрокомпонентов обеспечивает: тестирование элементов электрооборудования автомобилей в процессе сборки на главном конвейере; тестирование и диагностику работоспособности всех элементов электрооборудования автомобилей с целью выявления дефектов и устранения выявленных дефектов на ремонт-

Крицкий Алексей Викторович, аспирант.

E-mail: kritskiyav@yandex.ru

Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

Панюков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, профессор. E-mail: adv_tol@mail.ru

ных участках (в том числе элементов системы электронного впрыска как при работающем, так и при неработающем двигателе); хранение результатов тестирования с привязкой к VIN-номеру автомобиля, номеру комплектации; хранение результатов тестирования и получение статистических данных по запросам с корпоративных рабочих мест; отслеживание тестируемого автомобиля в системе технического обслуживания автомобиля в процессе эксплуатации; сбор и хранение информации о дефектах, причинах и способах их устранения, как в процессе производства, так и в процессе технического обслуживания во время эксплуатации.

Кодификатор дефектов в системе соответствует единому кодификатору дефектов автопроизводителя в эксплуатации. Выявленные дефекты фиксируются в системе управления сборкой автомобилей по VIN-номеру и номеру комплектации для дальнейшей работы с гарантийными автомобилями и статистического анализа качества, как самого автомобиля, так и электротехнических комплектующих. Дефекты, причины и способы их устранения представлены в системе анализа причин дефектов в виде «дерева отказов».

Программное обеспечение, используемое состоит из следующих модулей: программное обеспечение предназначенное для тестирования, диагностики и контроля параметров электрооборудования автомобиля непосредственно на сборочном конвейере; программное обеспечение предназначенное для локализации и выявления электрооборудования, имеющего дефекты [1, 6].

Функционирование программного обеспечения. Работа оператора с программным обеспечением обеспечения осуществляется в режиме диалога. Загрузка программного обеспечения производится автоматически после считывания штрих-кода с таблички на кузове автомобиля. После завершения тестирования автоматически передает результаты тестов с носимого пульта в базовую станцию, с привязкой к VIN-номеру, номеру комплектации автомобиля и идентификационному номеру оператора. Передача результатов тестирования с базовой станции в систему управления сборкой осуществляется автоматически. Общее время диагностики одного автомобиля на сборочном конвейере не превышает 5 минут (при использовании пяти комплектов носимого оборудования не менее 1,1 автомобиля в минуту). В случае ошибочного действия оператора запрашивает подтверждение ввода или позволяет сделать повтор операции без передачи данных на базовую станцию.

На участке устранения дефектов передача данных в систему управления сборкой производится по команде оператора, либо после получения положительного ответа на все тесты. Передача результатов тестирования одного автомобиля в память базовой станции длится не более 10 секунд.

В конструкцию установки заложена возможность модернизации в процессе эксплуатации, без каких либо существенных затрат. В комплект установки входят все необходимые кабели с разъемами и переходниками, необходимыми для подключения к диагностической колодке автомобиля, электронному блоку управления системой впрыска, электрическим и информационным сетям на месте монтажа.

Первичные измерительные преобразователи (датчики, пробники) должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Средства измерений как отечественного, так и зарубежного производства должны проходить обязательные испытания и утверждения типа или сертификацию в соответствии с нормативными документами Государственной системы обеспечения единства измерений (правила по метрологии ПР 50.2.009-94, МИ 2277-93). В первом случае это подтверждается сертификатом об утверждении типа средства измерения, во втором сертификатом соответствия;

2. В комплект документации на средства измерений должны входить паспорт (формуляр), эксплуатационные документы по ГОСТ 2.601 (для импортных средств измерений – комплект документации фирмы – изготовителя, прилагаемый к поставляемому средству измерений с переводом на русский язык), методика поверки и калибровки;

3. В комплект поставки средств измерений необходимо включать специальные средства измерений, меры, приспособления и т.п. для настройки или калибровки и не выпускаемые серийно. На эти технические средства должна быть представлена необходимая документация.

Обучение персонала. Обучение проводится по следующим разделам: основные понятия об электрооборудовании современного автомобиля; эксплуатация установки (порядок работы с установкой, тестирование электрооборудования, техническое обслуживание установки в процессе эксплуатации, меры безопасности при работе с установкой, устранение аварийных ситуаций и сбоев установки).

Объем обучения составляет 40 академических часов, по окончании обучения выдается сертификат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пьянов, М.А. Повышение качества и оперативности диагностирования автомобильного электрооборудования: диссертация кандидата технических наук : 05.09.03 / М.А. Пьянов. – Самара, 2006.
2. Козловский, В.Н. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 2 / В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10. – № 2. С. 19-28.
3. Petrovski, S.V. Intelligent diagnostic complex of electromagnetic compatibility for automobile ignition systems / V.N. Kozlovski, A.V. Petrovski, D.F. Skripnuk, V.E. Schepinin, E. Telitsyna // Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions). 6th International Conference ICRITO. – 2017. – С. 282-288.
4. Строганов, В.И. Моделирование систем электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой в процессах проектирования и производства: Монография / В.И. Строганов, В.Н. Козловский. – М., 2014.
5. Козловский, В.Н. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 2. / В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 19-28.
6. Козловский, В.Н. Моделирование электрооборудования автомобилей в процессах проектирования и производства: Монография / В.Н. Козловский. – Тольятти, 2009.

ORGANIZATION OF PRODUCTION OF WORKS TO CONTROL THE QUALITY OF ELECTRIC COMPONENTS IN THE ELECTRICAL EQUIPMENT OF CARS. HARDWARE AND SOFTWARE

© 2023 A.V. Kritsky, V.N. Kozlovskiy, D.I. Panyukov

Samara State Technical University, Samara, Russia

The article presents the results of the development and implementation of tools for organizing the production of work on the mass quality control of electrical components as part of the electrical system of new vehicles as an assembly.

Keywords: competitiveness, quality, car assembly production, electrical components.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-19-21

EDN: BXGJDT

REFERENCES

1. P'yanov, M.A. Povyshenie kachestva i operativnosti diagnostirovaniya avtomobil'nogo elektrooborudovaniya: dissertaciya kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.09.03 / M.A. P'yanov. – Samara, 2006.
2. Kozlovskij, V.N. Kompleks elektronnyh sistem upravleniya dvizheniem legkovogo avtomobilya s kombinirovannoj silovoj ustanovkoj. CHast' 2 / V.N. Kozlovskij, V.I. Stroganov, V.V. Debelov, M.A. P'yanov // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2014. – Т. 10. – № 2. С. 19-28.
3. Petrovski, S.V. Intelligent diagnostic complex of electromagnetic compatibility for automobile ignition systems / V.N. Kozlovski, A.V. Petrovski, D.F. Skripnuk, V.E. Schepinin, E. Telitsyna // Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions). 6th International Conference ICRITO. – 2017. – S. 282-288.
4. Stroganov, V.I. Modelirovanie sistem elektromobilej i avtomobilej s kombinirovannoj silovoj ustanovkoj v processah proektirovaniya i proizvodstva: Monografiya / V.I. Stroganov, V.N. Kozlovskij. – М., 2014.
5. Kozlovskij, V.N. Kompleks elektronnyh sistem upravleniya dvizheniem legkovogo avtomobilya s kombinirovannoj silovoj ustanovkoj. CHast' 2. / V.N. Kozlovskij, V.I. Stroganov, V.V. Debelov, M.A. P'yanov // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 19-28.
6. Kozlovskij, V.N. Modelirovanie elektrooborudovaniya avtomobilej v processah proektirovaniya i proizvodstva: Monografiya / V.N. Kozlovskij. – Tol'yatti, 2009.

Aleksey Kritsky, PhD Student. E-mail: kritskiyav@yandex.ru
Vladimir Kozlovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru
Dmitry Panyukov, Doctor of Engineering Sciences, Professor. E-mail: adv_tol@mail.ru

УДК 65.011.48

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕРНИЗАЦИИ МАРШРУТА ТЕХНИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА НАУКОЕМКОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2023 М.В. Иванов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Россия

Статья поступила в редакцию 20.04.2023

Предлагается методика модернизации маршрута технического документооборота на предприятии, изготавливающем наукоемкую продукцию, с помощью элементов теории искусственных нейронных сетей. Рассмотрен традиционный маршрут процессов согласования и утверждения технической документации в среде автоматизированной системы предприятия. С помощью анализа с применением элементов теории искусственных нейронных сетей выявлены элементы рассматриваемого маршрута, требующие улучшения. Предложена улучшенная модель маршрута технического документооборота в среде автоматизированной системы предприятия, позволившая улучшить качество процессов согласования и утверждения технической документации предприятия.

Ключевые слова: система, имитационная модель, искусственная нейронная сеть, искусственный нейрон, технический документооборот, техническая документация, качество, модернизация, предприятие, организация.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-22-26

END: DABSCV

ВВЕДЕНИЕ

На предприятии техническая документация (ТД) представлена конструкторской [1] и технологической документацией [2] об изделии. В процессе производства изделий возникают несоответствия, требующие оперативного устранения, а также соответствующих правок в ТД. В связи с этим необходимо улучшить маршрут технического документооборота (ТДО) в части сокращения сроков согласования, утверждения и передачи ТД в производство.

В среде автоматизированной системы (АС), используемой на предприятии, реализован маршрут ТДО в соответствии со стандартами организации (СТО), регламентирующими требования к согласованию, утверждению и передаче в производство ТД на бумажном носителе. Введение в действие модернизированного маршрута ТДО также потребует его стандартизации, не противоречащей требованиям СМК организации.

Инструментом для анализа традиционного маршрута ТДО в среде АС выбраны элементы теории искусственных нейронных сетей (ИНС), которые также применимы и в имитационном моделировании различных систем [3]. Применение данного подхода позволило улучшить качество рассматриваемых процессов согласования и утверждения ТД.

Иванов Максим Викторович, соискатель каф. 5 “Инноватика и интегрированные системы качества”.
E-mail: umka62@list.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕРНИЗАЦИИ МАРШРУТА СОГЛАСОВАНИЯ И УТВЕРЖДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Маршрут ТДО в среде АС предприятия представляет собой цепь последовательно соединенных между собой статусов ТД. Связями между статусами являются переходы из одного статуса в другой. Продвижение ТД по маршруту осуществляется с помощью протокола электронного согласования, допускающего смену статуса ТД, согласно маршруту. Переход между статусами возможен при наличии электронно-цифровой подписи лиц, согласующих документ, на каждом конкретном переходе.

Традиционный маршрут ТДО в среде АС предприятия представлен на рисунке 1.

Согласно нормативно-справочной документации организации, процессы проверки, согласования, предварительного и окончательного нормоконтроля, отправки на учет в архив происходят в жестко определенной последовательности. Доработка ТД происходит при возникновении несоответствий на любом из этапов согласования ТД и в конечном итоге также ведет к последующему этапу согласования ТД. Возврат ТД на доработку или выпуск новой версии ТД с соответствующими исправлениями отражены в маршруте ТДО обратной связью.

Механизм обратной связи является необходимым элементом в алгоритмах обучения ИНС [4] и находит свое применение в имитационном

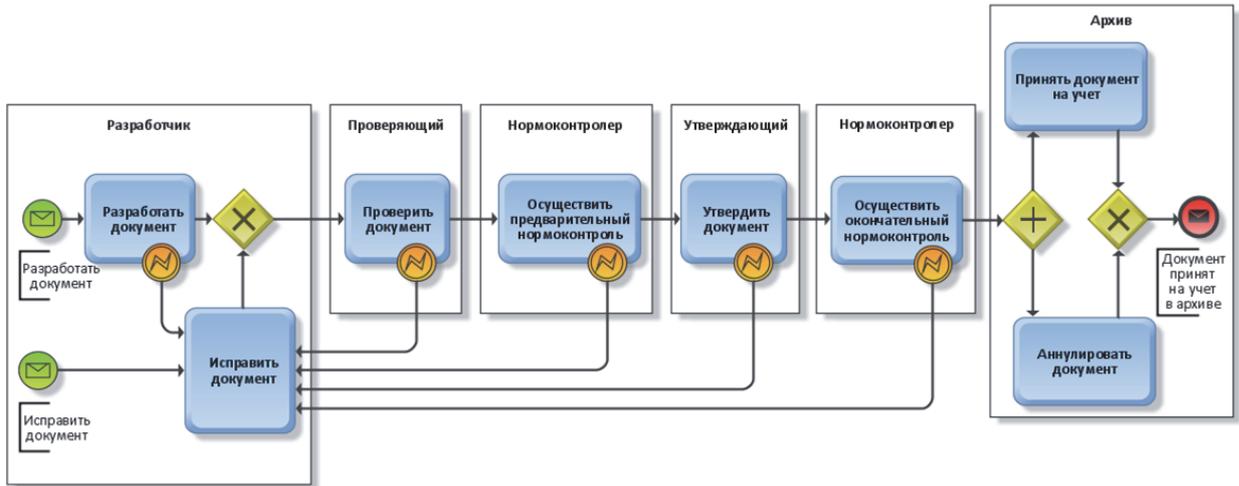


Рисунок 1 – Традиционный маршрут ТДО в среде АС предприятия

моделировании систем, в связи с чем становится возможным создание ИНС-модели традиционного маршрута ТДО [5].

Структуру маршрута ТДО следует читать справа налево сверху вниз, выделяя необходимые структурные элементы для будущей ИНС-модели, а именно: в качестве искусственных нейронов [6] выступают возможные в статусе переходы, их совокупность составляет слой ИНС. Слои нейронных элементов составляются таким образом, чтобы обеспечивались связи между всеми нейронами соседних слоев. Таким образом, становится возможным получить ИНС-модель традиционного маршрута ТДО, в которой выделяются группы однотипных элементов:

- элементы, возвращающие ТД в начало маршрута (группа 1);
- элементы промежуточной обработки ТД (группа 2);
- элементы окончательной обработки ТД (группа 3).

ИНС-модель традиционного маршрута ТДО с выделенными группами элементов представлена на рисунке 2.

В среде АС часть процессов возможно осуществлять параллельно, что позволяет распределить группы элементов в слой ИНС. В полученных слоях ИНС-модели повторяющиеся в функциональном назначении нейронные элементы объединяются в подгруппы (рис. 3).

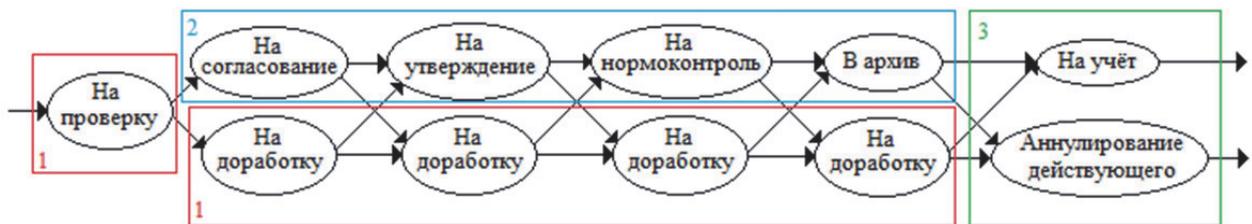


Рисунок 2 – ИНС-модель традиционного маршрута ТДО с выделенными группами элементов

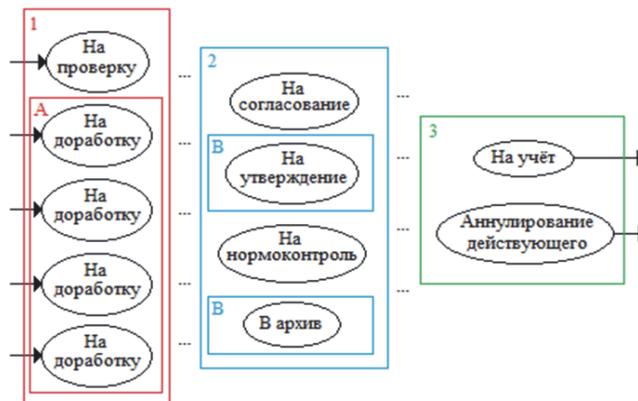


Рисунок 3 – ИНС-модель традиционного маршрута ТДО с учетом возможностей АС с выделение подгрупп функционально повторяющихся нейронных элементов

Функционально повторяющиеся элементы в подгруппах возможно заменить одним нейронным элементом с аналогичной функцией. Четыре элемента отправки ТД на доработку заменяются одним элементом. Согласно СМК организации, конечным результатом операций предварительного (согласование) и окончательного нормоконтроля становится отправка ТД на окончательное решение о приеме ТД или его аннулировании. Вследствие того, что данные операции производятся одним и тем же уполномоченным лицом, в совокупности с возможностями АС параллельной обработки ТД, становится возможным их объединение в один нейронный элемент. Модернизированная ИНС-модель маршрута ТДО с замененными подгруппами на соответствующие нейронные элементы представлена на рисунке 4.

Каждый слой полученной модели возможно представить в виде отдельного статуса согласования ТД с указанием лиц, участвующих в подписании ТД в соответствии с действующими СТО. В результате создан модернизированный маршрут ТДО, отличающийся

ся от исходного меньшим количеством статусов с возможностью параллельной процедуры подписания, что достигается веерной рассылкой ТД абонентам, позволяя сократить длительность согласования ТД (рис. 5).

Вновь разработанный маршрут согласования и утверждения ТД на основе улучшенной структуры ИНС-модели стандартизован и введен в действие СТО, актуализированы смежные СТО.

Оценка качества процессов согласования и утверждения ТД потребовала разработки соответствующей методики:

- в среде АС разработан инструмент [7], позволяющий получить данные по единичным показателям качества процессов ТДО;
- определены весовые коэффициенты единичных показателей качества экспертным методом;
- выполнен расчет комплексного показателя качества до и после внедрения обновленного маршрута согласования и утверждения ТД.

Документация разделена на группы: конструкторская, технологическая и сквозная технологическая (выполняемая на различных площадках предприятия). Рассматривались

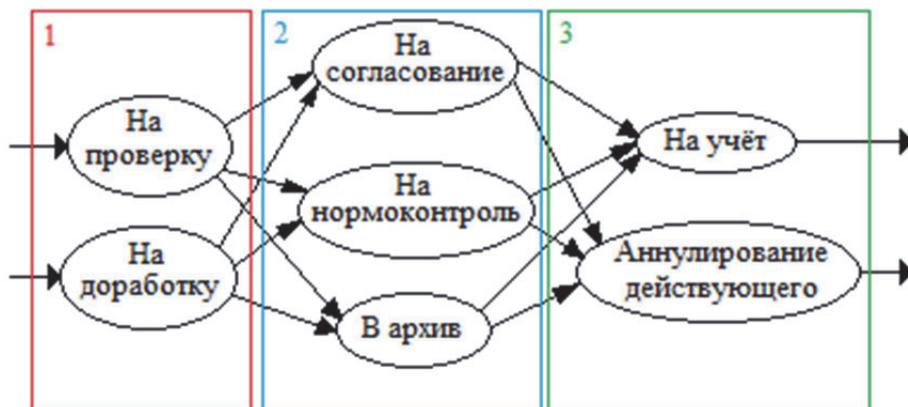


Рисунок 4 – Модернизированная ИНС-модель маршрута ТДО

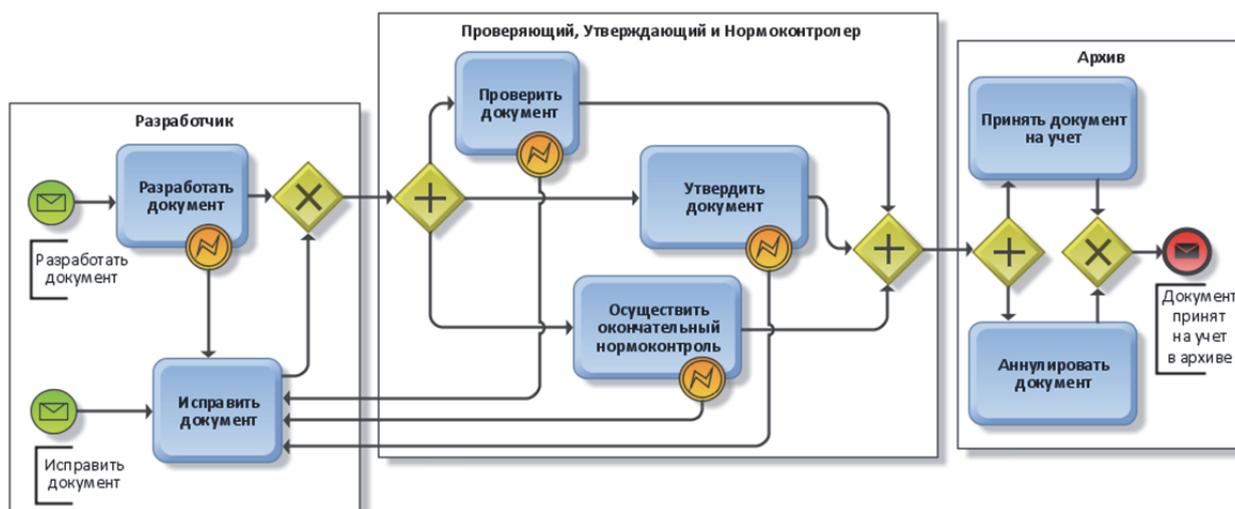


Рисунок 5 – Модернизированный маршрут ТДО

Таблица 1 – Значения показателей качества процессов согласования и утверждения ТД до и после обновления маршрута ТДО

Наименование показателя, единица измерения	t_1	t_2	Q_i	α_i
Средняя длительность согласования конструкторской документации (дней)	52	42	-0,2	0,24
Средняя длительность согласования технологической документации (дней)	35	29	-0,32	0,2
Средняя длительность согласования сквозной технологической документации (дней)	45	34	-0,41	0,16
Общее количество ТД, введенное в действие	3032	5188	0,71	0,15
Общее количество ошибок в ТД, выявленных в процессе согласования и утверждения	509	463	-0,43	0,24
Комплексный показатель качества (Q)	0,17			
Коэффициент конкордации (W)				0,845

периоды до (t_1) и после (t_2) внедрения нового маршрута ТДО. Результаты расчета уровня согласованности экспертных оценок по Кендаллу, в соответствии с шкалами Марголина и Харрингтона показывают, что полученные результаты экспертной оценки обладают достаточным уровнем согласованности, что позволяет использовать их для дальнейшего расчета комплексного показателя качества за рассматриваемые периоды.

В результате проведенных мероприятий по модернизации маршрута ТДО наблюдается общее улучшение качества процессов согласования и утверждения ТД на 17% по сравнению с предыдущим состоянием рассматриваемой системы.

ВЫВОДЫ

Разработана методика модернизации маршрута согласования и утверждения ТД с применением элементов теории ИНС.

Применение предложенной методики позволило выявить элементы традиционного маршрута ТДО, требующие улучшения.

Ввод в действие модернизированного маршрута ТДО позволило улучшить качество процессов согласования и утверждения ТД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов.
- ГОСТ 3.1102-2011 ЕСТД. Стадии разработки и виды документов. Общие положения.
- Иванов, М.В. Применение искусственных нейронных сетей в задачах имитационного математического моделирования систем / М.В. Иванов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 8(98). – С. 57–60.
- Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Internal Representations by Error Propagation // Parallel Distributed Processing. Vol. 1. 1986. pp. 318–362.
- Ivanov, M.V. Improving the quality of the approval procedure for electronic design and technological documentation using the apparatus of artificial neural networks / M.V. Ivanov, S.A. Afanasenkov, E.A. Skorniakova // Proceedings 2021 International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-II-2021). Saint-Petersburg, Russia. 3-6 Mar. 2021. - ICMSIT-II-1074.
- McCulloch W.S., Pitts W. A logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity // Bulletin of Mathematical Biology vol. 52, №1/2. 1990. pp. 99–115.
- Бабаев, С.А. Разработка инструмента контроля готовности конструкторско-технологической документации к запуску изделия в производство на платформе IT-технологии / С.А. Бабаев, М.В. Иванов, Г.В. Невокшенов // Радиопромышленность. 2017. № 4. С.110-115.

REFERENCES

1. GOST 2.102-2013 ESKD. Vidy i komplektnost' konstruktorskih dokumentov.
2. GOST 3.1102-2011 ESTD. Stadii razrabotki i vidy dokumentov. Obshchie polozheniya.
3. *Ivanov, M.V.* Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej v zadachah imitacionnogo matematicheskogo modelirovaniya sistem / M.V. Ivanov // *Nauka i biznes: puti razvitiya*. – 2019. – № 8(98). – С. 57–60.
4. *Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J.* Learning Internal Representations by Error Propagation // *Parallel Distributed Processing*. Vol. 1. 1986. pp. 318–362.
5. *Ivanov, M.V.* Improving the quality of the approval procedure for electronic design and technological documentation using the apparatus of artificial neural networks / M.V. Ivanov, S.A. Afanasenkov, E.A. Skorniakova // *Proceedings 2021 International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-II-2021)*. Saint-Petersburg, Russia. 3-6 Mar. 2021. - ICMSIT-II-1074.
6. *McCulloch W.S., Pitts W.* A logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity // *Bulletin of Mathematical Biology* vol. 52, №1/2. 1990. pp. 99-115.
7. *Babaev, S.A.* Razrabotka instrumenta kontrolya gotovnosti konstruktorsko-tehnologicheskoy dokumentacii k zapusku izdeliya v proizvodstvo na platforme IT-tehnologii / S.A. Babaev, M.V. Ivanov, G.V. Nevokshenov // *Radiopromyshlennost'*. 2017. № 4. S.110-115.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MODERNIZATION OF THE ROUTE OF TECHNICAL DOCUMENT MANAGEMENT IN HIGH-TECH PRODUCTION

© 2023 M.V. Ivanov

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Saint-Petersburg, Russia

A method for modernizing the route of technical document flow at an enterprise manufacturing high-tech products proposed using elements of the theory of artificial neural networks. The traditional route of the processes of approval of technical documentation in the environment of an automated enterprise system revised. With analysis using elements of the theory of artificial neural networks, elements of the route that require improvement identified. An improved model of the technical document flow route in the environment of an enterprise automated system is proposed, which made it possible to improve the quality of the processes of approval of the enterprise's technical documentation.

Keywords: system, simulation model, artificial neural network, artificial neuron, technical document flow, technical documentation, quality, modernization, enterprise, organization.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-22-26

END: DABSCV

УДК 658.5 : 658.345

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕКОРРЕКТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

© 2023 Р.Н. Пигилова¹, Т.В. Малышева², Ю.А. Аверьянова¹, Ф.М. Филиппова¹¹ Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия² Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 15.03.2023

В данной статье представлен анализ аварийности на производстве с целью обеспечения непрерывной работы предприятия. Рассмотрено воздействие потенциально опасных производственных факторов на человека на примере химической промышленности. Проведен анализ статистических данных по аварийным ситуациям в электроэнергетике за последние семь лет. Предложен комплекс мер предупреждения аварий, состоящий из пяти основных групп мероприятий: законодательные, технические, организационные, экономические, медико-профилактические. Одним из лучших и перспективных вариантов по снижению производственных рисков является автоматизированная система управления (АСУ), к преимуществам которой относятся сокращение непроизводительных расходов и потерь энергоресурсов, получение достоверной информации о ходе технологического процесса, состоянии оборудования и средств управления с целью быстрой ликвидации ненормальных аварийных и послеаварийных режимов.

Ключевые слова: авария, промышленные предприятия, организация производства, автоматизированная система управления, риски, анализ рисков, виды аварий.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-27-33

EDN: DADYKI

Промышленные предприятия являются сложным инженерно-техническим комплексом. Природа аварий на предприятиях может быть различна, поэтому высокий уровень организации производства является важным компонентом снижения аварийности.

Обеспечение непрерывности работы предприятия и безопасности работающего персонала является одной из главных задач при организации производства. Внезапные остановки оборудования, вызывающие нарушение производственного цикла, имеют такие же негативные последствия для предприятия, что и несчастные случаи на производстве. Поэтому важно предотвратить производственные риски в обоих указанных направлениях [1].

При организации производства нужно сделать анализ производственных рисков. Проведение анализа позволяет выявить узкие места в организации производства и техники безопасности, сосредоточиться именно на тех на-

правлениях, которые потенциально могут нанести наибольший вред. Анализ и управление производственными рисками осуществляются на основе их классификации и причин возникновения. При этом рассчитываются наиболее вероятное место и сфера возникновения, определяется характер потенциальных последствий и величина возможных потерь [2]. Анализ проводится в двух направлениях:

- исследование рисков для людей
- исследование рисков для оборудования

Для промышленных предприятий самым критичным вариантом являются несчастный случай с летальным исходом либо авария, несущая угрозу для жизни или здоровья персонала [3]. Очевидно, что каждый из этих случаев является чрезвычайной ситуацией (ЧС), которая имеет свои причины. В таблице 1 указаны ЧС, спровоцированные определенными событиями.

Для производства наиболее характерным видом чрезвычайной ситуации является техногенная авария/катастрофа, причиной которой могут являться различные потенциально опасные факторы производственной среды. В таблице 2 представлены производственные факторы, место их локализации, воздействие на человека и соответствующие нормативные документы.

В организации производства все эти факторы должны учитываться с целью последующих профилактических мероприятий.

Существует не менее важный риск на производстве, такой как поломка оборудования,

Пигилова Роза Нилевна, преподаватель кафедры «Инженерная экология и безопасность труда».

E-mail: rozapigilova@yandex.ru

Малышева Татьяна Витальевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры логистики и управления.

E-mail: tv_malysheva@mail.ru

Аверьянова Юлия Аркадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная экология и безопасность труда». *E-mail: filipova.fm@kgeu.ru*

Филиппова Фаида Мизхатовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная экология и безопасность труда». *E-mail: filipova.fm@kgeu.ru*

Таблица 1. Виды и причины аварийных ситуаций

Вид чрезвычайной ситуации	Причины
Природная	Неожиданные катаклизмы
Техногенная	Износ техники, ошибка в проектировании или некорректная установка оборудования
Смешанная	Участвуют оба фактора

Таблица 2. Потенциально опасные факторы производства для предприятий химической промышленности

Опасные и вредные производственные факторы	Место действия	Воздействие на человека	Нормативные документы
Токсичные вещества, применяемые в технологических процессах	Химический цех	Отравление химическими веществами, химические ожоги	ГОСТ Р 58473-2019
Взрыво- и пожароопасные вещества	Химический цех, склады	Термические и химические ожоги, механические травмы	ГОСТ 12.1.044-2018
Взрывоопасное оборудование	Трубопроводы, котельные	Термические и химические ожоги, механические травмы	ГОСТ 31610.0-2019
Движущие машины и механизмы	Погрузочно-разгрузочный цех, цех упаковки	Механические травмы	ГОСТ 2582-2013 ГОСТ 33166.1-2014
Наличие шума и вибрации	Технологическое оборудование химического цеха, цеха подготовки сырья и др.	Расстройства центральной нервной системы (ЦНС), сердечно сосудистой системы (ССС), тугоухость, виброболезнь	ГОСТ 12.1.003-2014 ГОСТ 12.1.012-2004
Наличие высокого электрического напряжения	Оборудование электрической подстанции	Электротравмы, электрические травмы, механические травмы	ГОСТ 12.1.019-2017
Наличие повышенной температуры	Отдельные производственные участки технологического процесса	Термические ожоги	ГОСТ Р 12.4.297-2013

которая влечет за собой простой технологического процесса. К такому риску могут привести те же чрезвычайные ситуации, которые были указаны выше. Но, если природные катаклизмы невозможно предвидеть и противостоять им, то техногенных остановок можно избежать. Чтобы предотвратить производственные аварии, необходимо регулярно проводить технический осмотр всего оборудования с целью своевременного выявления изношенных деталей и узлов. Для обследования техники рекомендуется использовать приборы, способные обнаружить как микроскопические, так и наповреждения.

На промышленных предприятиях имеются сотрудники, которые проводят оценку производственных рисков. Однако мало оценить текущее состояние и выявить участки потенциальных проблем. Необходимо разработать такие меры, снижающие опасность производственных аварий и несчастных случаев.

В организации управления системой энергообеспечения предприятия нужны мероприятия, создающие условия для корректной работы производства в любых условиях (рисунок 1).

Одним из лучших вариантов по снижению производственных рисков является автоматизация технологических процессов. Такие автоматические комплексы осуществляют полный производственный цикл по изготовлению продукции, сохраняя свою производительность даже при неблагоприятных внешних изменениях. Гибкая производственная система оперативно реагирует на прогнозируемые и непрогнозируемые обстоятельства и адаптируется к ним. При необходимости могут изменяться порядок выполнения технологических операций, корректироваться дизайн, упрощаться сборочный процесс [4].

Более крупные предприятия помимо АСУТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) используют комплекс автоматизированных систем управления (АСУ),

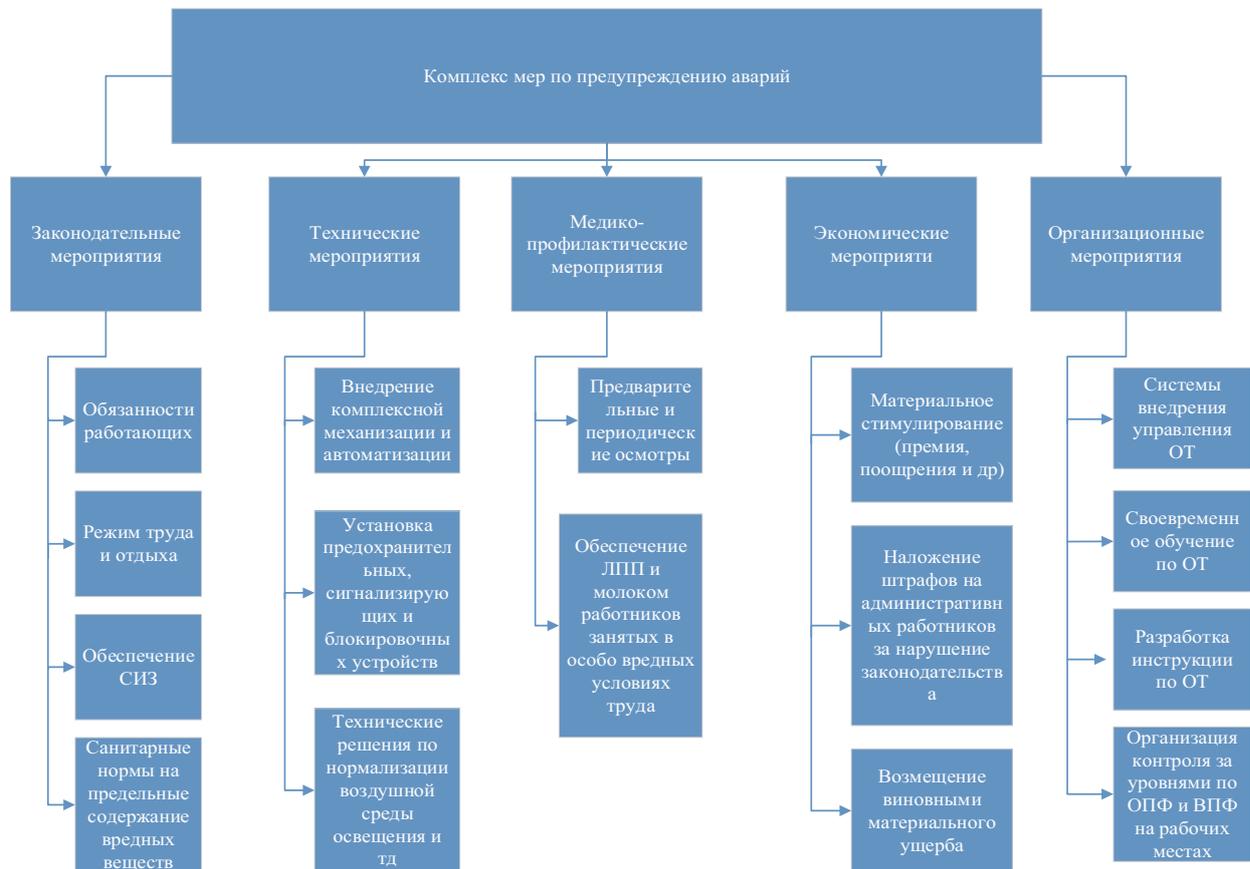


Рис. 1. Мероприятия по предупреждению аварий

в который чаще всего также входят автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), корпоративная система передачи данных (КСПД) и др.

Внедрение АСУ является ключевым фактором, который позволяет повысить уровень надежности эксплуатируемого оборудования, своевременно предоставлять достоверную информацию о ходе технологического процесса, состоянии оборудования и средств управления с целью быстрой ликвидации ненормальных аварийных и послеаварийных режимов [5], снижении непроизводительных расходов и потерь энергоресурсов, а также об обеспечении персонала ретроспективной технологической информацией (архивация событий, расчет показате-

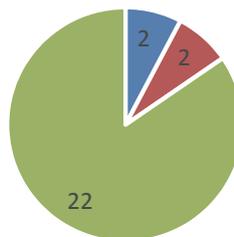
лей для анализа, оптимизация и планирование работы оборудования и его ремонта) [6].

По статистике 2021 года по направлению государственного энергетического надзора произошло 26 аварий [7,8,9]. В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 28.10.2009 № 846 «Об утверждении правил расследования причин аварий в электроэнергетике» Ростехнадзором расследовались 26 аварий, из них

- на электроустановках потребителей – 2;
- на тепловых электростанциях – 2;
- на объектах электросетевого хозяйства – 22

(рис 2).

За аналогичный период 2020 года произошло 20 аварий (18 аварий на объекте электростан-



- на электроустановка потребителей
- тепловые электростанции
- на объектах электросетевого хозяйства

Рис. 2. Распределение аварий по видам объектов энергетики за 2021 год

нергетики, и 2 аварии в сфере теплоснабжения). Таким образом, отмечается значительный рост общего количества аварий на 30 % (6 аварий) по сравнению с аналогичным периодом 2020 года.

При анализе аварийности за семь лет на энергетических производствах выявлены определенные закономерности (рис 3). Как видно из рисунка 3 наблюдается положительная динамика снижения аварийности.

На рисунке 4 представлено распределение аварийных ситуаций в энергетике по федеральным округам РФ за двух летний период.

С 1 января по 31 декабря 2021 года происходили аварии, классифицируемые по следующим признакам (рис. 5).

Из рисунка 5 видно, что наибольшую долю составляют отключения генерирующего оборудования или объектов электросетевого хозяйства, приводящие к снижению надежности энергосистемы (29,20 %), а также нарушение работы средств диспетчерского и технологического управления, повлекшие прекращение связи между диспетчерским центром субъекта оперативно-диспетчерского управления в элек-



Рис. 3. Анализ показателей аварийности в динамике 2015-2021 гг.

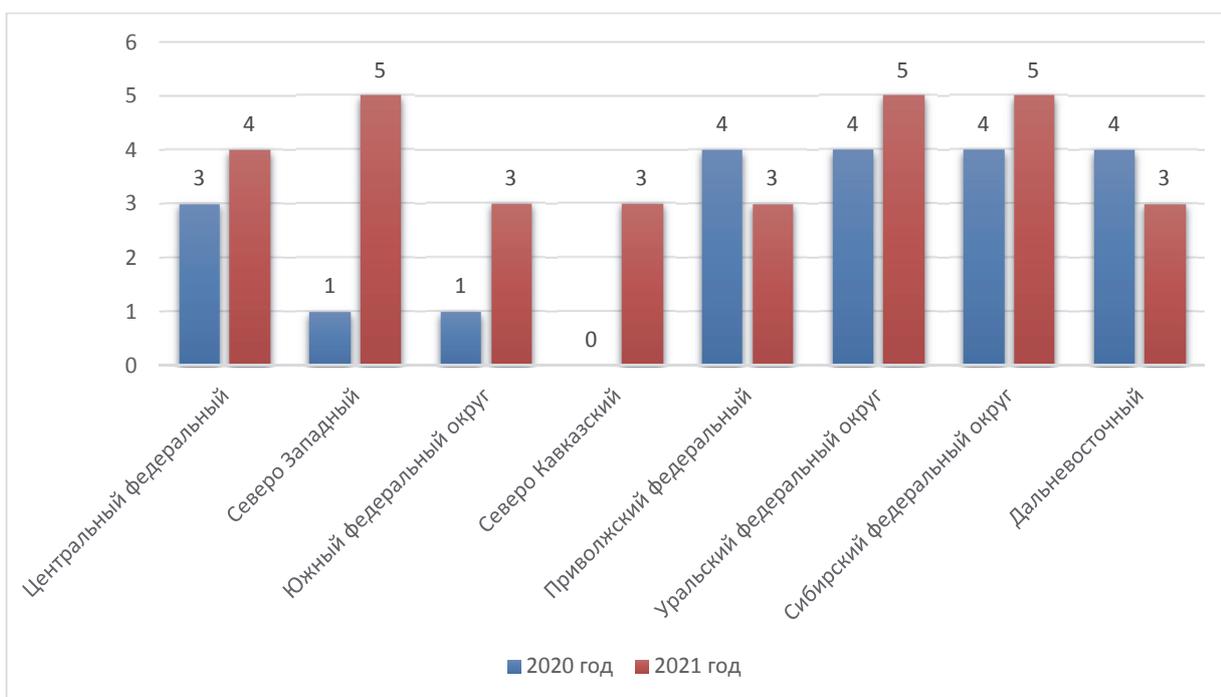


Рис. 4. Распределение аварий, произошедших при эксплуатации электростанций, электрических сетей, тепловых установок и сетей, и гидротехнических сооружений в 2020-2021 годы по федеральным округам Российской Федерации



Рис. 5. Классификация причин аварий, произошедших в 2021 году

Таблица 3. Взаимосвязь несовершенства в организации систем управления предприятием с причинами возникновения аварий в энергетике

Недостатки в организации систем управления	Основные причины аварий
Слабый контроль за техническим состоянием средств диспетчерской связи и организации их эксплуатации	Потеря диспетчерской связи и передачи телеметрической информации
Ненадежный уровень организации производства работ по ремонту энергооборудования	Нарушение в работе противоаварийной или режимной автоматики, обусловленное ошибочными действиями персонала Неисправность релейной защиты и автоматики
Отсутствие контроля за соблюдением инструктажей по охране труда	Ошибочные действия персонала вызвавшие отключение объекта электросетевого хозяйства
Несоблюдение сроков эксплуатации оборудования	Износ оборудования в процессе длительной эксплуатации
Низкий уровень организации производства работ на электрических установках	Нарушение технологии производства работ, установленной локальными нормативными документами Ненадлежащий контроль за осуществлением мероприятий по установке и монтажу системы принудительной вентиляции и вспомогательного электрооборудования Нарушение работниками рабочих, производственных и должностных инструкций
Высокий уровень ошибок при внедрении в производство нового оборудования	Неправильная работа средств режимной и аварийной автоматики из-за проектных ошибок, отклонений от проектов в процессе монтажа и эксплуатации оборудования Производственные дефекты оборудования, приводящие к механическим повреждениям, разрушениям оборудования и возможному возгоранию

троэнергетике (22,50 %). Каждое оставшееся из произошедших нарушений бесперебойной работы в энергосистеме за 2021 год не превышает 16 % от общего количества.

Все вышеперечисленные нарушения могут происходить в результате несовершенства организации систем управления предприятием, которые, в свою очередь, являются предпосылками возникновения аварий на предприятиях (табл. 3).

Таким образом, для обеспечения высокого уровня организации производством необходимо, в первую очередь, произвести анализ причин аварий и потенциальных производственных рисков [10]. На основании этого следует разработать меры, позволяющие снизить опасность возникновения аварий и несчастных случаев. Наиболее перспективным и современным мероприятием является внедрение автоматизированной системы управления (АСУ), которая выбирается, непосредственно, промышленным объектом с целью:

- повышения надёжности и экономичности работы за счёт сокращения времени обнаружения неисправностей в результате постоянной диагностики и получения информации об аварийных отключениях и сбоях;

- увеличения производительности и улучшение качества труда эксплуатационного персонала за счёт роста информированности о неисправностях и повышения качества формирования оперативной информации;

- обеспечения высокого уровня автоматизации для контроля и управления оборудованием за счёт использования современной микропроцессорной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ причин аварий на энергоустановках, подконтрольных органам Ростехнадзора за 2021 год [Электронный ресурс] – [2021]. – URL: http://szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/nesc_sluch/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%20%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B0%202021.pdf (дата обращения: 07.02.2023).
2. *Мальшева, Т.В.* Организация логистических процессов производства в целях повышения конкурентных преимуществ предприятия / Т. В. Мальшева // Теория и практика организации промышленного производства. Эффективность организации и управления промышленными предприятиями: проблемы и пути решения: Материалы Международной научно-практической конференции. Воронеж, 14–15 ноября 2017 года / Воронежский государственный технический университет. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2017. – С. 187-191. – EDN XRJRBJ.
3. *Хацько, М.С.* Оценка профессионально-производственных факторов риска аварий на промышленных предприятиях / М. С. Хацько // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2022. – № 3(59). – С. 73-80. – EDN GRTZON.
4. *Смышляева, Е.Г.* Управление энергообеспечением энергоёмкого промышленного предприятия в современных рыночных условиях / Е. Г. Смышляева. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2009. – № 5 (5). – С. 81-86. – URL: <https://moluch.ru/archive/5/386/> (дата обращения: 20.12.2022).
5. Автоматизированные системы управления. Информация и модели структур управления. – М.: Наука, 2022. – 336 с.
6. Автоматизация проектирования вычислительных систем. Языки, моделирование и базы данных / Digital System design automation: languages, simulation & data base. – М.: Мир, Мир, 2020. – 464 с.
9. Анализ аварийности в электроэнергетике. – Текст: электронный // Ростехнадзор: [сайт]. – URL: <https://tke-moscow.ru/news/1644571195/> (дата обращения: 07.12.2022).
9. *Галеев, А.Д.* Анализ риска аварий на опасных производственных объектах: учебное пособие / А.Д. Галеев, С.И. Поникаров. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. – 152 с.
9. Уроки, извлеченные из аварий. – Текст: электронный // Ростехнадзор: [сайт]. – URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (дата обращения: 25.12.2022).
10. *Иванов, И.Н.* Организация производства в 2 ч. Часть 2: учебник для СПО / И. Н. Иванов [и др.] ; под ред. И. Н. Иванова. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 174 с.

STATISTICAL ANALYSIS OF ACCIDENTS AT WORK AS A RESULT OF INCORRECT FUNCTIONING OF THE ENERGY SUPPLY SYSTEM OF THE ENTERPRISE

© 2023 R.N. Pigilova¹, T.V. Malysheva², Y.A. Averyanova¹, F.M. Filippova¹

¹ Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

² Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

This article presents an analysis of industrial accidents in order to ensure the continuous operation of the enterprise. The impact of potentially hazardous production factors on a person is considered on the example of the chemical industry. The analysis of statistical data on emergency situations in the electric power industry over the past seven years has been carried out. A set of measures to prevent accidents is proposed, consisting of five main groups of measures: legislative, technical, organizational, economic, medical and preventive. One of the best and promising options for reducing production risks is an automated control system (ACS), the advantages of which include reducing unproductive costs and energy losses, obtaining reliable information about the progress of the technological process, the condition of equipment and controls in order to quickly eliminate abnormal emergency and post-emergency modes.

Keywords: accident, industrial enterprises, production organization, automated control system, risks, risk analysis.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-27-33

EDN: DADYKI

REFERENCES

1. Analiz prichin avarij na energoustanovkah, podkontrol'nyh organam Rostekhnadzora za 2021 god [Elektronnyj resurs] - [2021].- URL: http://szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/nesc_sluch/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%20%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B0%202021.pdf (data obrashcheniya: 07.02.2023).
2. Malysheva, T.V. Organizatsiya logisticheskikh processov proizvodstva v celyah povysheniya konkurentnyh preimushchestv predpriyatiya / T. V. Malysheva // Teoriya i praktika organizatsii promyshlennogo proizvodstva. Effektivnost' organizatsii i upravleniya promyshlennymi predpriyatiyami: problemy i puti resheniya: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh, 14–15 noyabrya 2017 goda / Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2017. – S. 187-191. – EDN XRJRBJ.
3. Hac'ko, M. S. Ocenka professional'no-proizvodstvennyh faktorov riska avarij na promyshlennyh predpriyatiyah / M. S. Hac'ko // Nauchnyj vestnik NIIGD Respirator. – 2022. – № 3(59). – S. 73-80. – EDN GRTZOH.
4. Smyshlyaeva, E. G. Upravlenie energoobespecheniem energoemkogo promyshlennogo predpriyatiya v sovremennyh rynochnykh usloviyah / E. G. Smyshlyaeva. – Tekst : neposredstvennyj // Molodoy uchenyj. – 2009. – № 5 (5). – S. 81-86. – URL: <https://moluch.ru/archive/5/386/> (data obrashcheniya: 20.12.2022).
5. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya. Informatsiya i modeli struktur upravleniya. – M.: Nauka, 2022. – 336 s.
6. Avtomatizatsiya proektirovaniya vychislitel'nykh sistem. YAzyki, modelirovanie i bazy dannykh / Digital System design automation: languages, simulation & data base. – M.: Mir, Mir, 2020. – 464 s.
7. Analiz avarijnosti v elektroenergetike. – Tekst: elektronnyj // Rostekhnadzor: [sajt]. – URL: <https://tke-moscow.ru/news/1644571195/> (data obrashcheniya: 07.12.2022).
8. Galeev, A.D. Analiz riska avarij na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektah: uchebnoe posobie / A.D. Galeev, S.I. Ponikarov. – Kazan': Izd-vo KNITU, 2017. – 152 s.
9. Uroki, izvlechenyye iz avarij. – Tekst: elektronnyj // Rostekhnadzor: [sajt]. – URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (data obrashcheniya: 25.12.2022).
10. Ivanov, I.N. Organizatsiya proizvodstva v 2 ch. CHast' 2: uchebnik dlya SPO / I. N. Ivanov [i dr.] ; pod red. I. N. Ivanova. – M.: Izdatel'stvo YUrajt, 2019. – 174 s.

Rosa Pigilova Lecturer the Department «Engineering Ecology and Labor Safety». E-mail: rozapigilova@yandex.ru

Tatyana Malysheva, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Logistics and Management. E-mail: tv_malysheva@mail.ru

Yuliya Averyanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Engineering Ecology and Labor Safety». E-mail: filippova.fm@kgeu.ru

Farida Filippova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Engineering Ecology and Labor Safety». E-mail: filippova.fm@kgeu.ru

УДК 65.011:338

К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИИ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

© 2023 М. Ф. Сафаргалиев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
г. Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 13.02.2023

Статья посвящена вопросам повышения эффективности функционирования современных производственных систем на основе сетевых принципов организации производства. Обоснована необходимость разработки новых методов и инструментов организации и распределённых производственных систем, что позволяет получать эффекты сети. Установлено, что при формировании системных основ распределённой производственной деятельности следует учитывать характеристики распределённой производственной системы, к числу которых относятся: модульность, необходимость настройки рекрутируемых в систему участников на общие ценности и цели, многосторонность, координация. Цель данной статьи заключается в разработке методических аспектов редактирования и развития распределённых производственных систем в современных условиях в контексте цифровизации и кластеризации экономики. Свойства распределённых производственных систем создают условия для формирования гибких организационных структур, для которых характерно: большое количество участников и их неоднородность; несогласованность целей и ценностей участников; сложнопрогнозируемая активность участников во времени и в сетевом пространстве, обусловленная высоким уровнем неопределённости; объектом управления является целая группа однородных или неоднородных процессов; полицентризм как принцип принятия решений в отношении множества напрямую не связанных процессов; высокая степень взаимосвязанности и взаимозависимости решений участников. Планирование организационной структуры и производственных процессов в распределённой производственной системе должно происходить на основе рационального управления потоками ресурсов, информации, энергии в сетевом поле производственной системы. Анализ теории и практики формирования организационной структуры территориальных кластеров как институциональной формы функционирования распределённых производственных систем в Российской Федерации позволяет выделить в ее составе три уровня: первый уровень представлен федеральными органами государственной власти и государственными корпорациями, которые могут инициировать создание кластеров или согласовывающими инициативу региональных органов власти (субъектов предпринимательства), а также определяющими стратегические ориентиры развития кластерных образований; второй уровень включает региональные органы власти, транснациональные корпорации, использующие инструменты прямого и косвенного воздействия и также наделенные правом инициировать создание кластеров; третий уровень представлен «непосредственными органами управления кластером, в качестве которых могут выступать управляющая компания, организация-координатор, совет кластера и др. Проведенное исследование позволило авторам выделить существенные транзакции между участниками распределённых производственных систем, которые инициируют сетевые эффекты. Ключевые слова: организация производства, система, сеть, сетевые эффекты, ускорение производственных процессов.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-34-44

EDN: ELIFOV

ВВЕДЕНИЕ

Встряска экономики России, связанная с пандемией 2019 года и жесткими санкциями недружественных стран в начале 2022 года, в очередной раз показала, что отечественные производственные системы были и остаются единственным ключевым фактором обеспечения устойчивого развития страны. В связи с развитием цифровой экономики качествен-

Сафаргалиев Мансур Фуатович, кандидат экономических наук, заведующий кафедрой экономики и управления на предприятии. E-mail: mfsafragaliev@kai.ru

но меняются характер функционирования современных производственных систем. Под влияние информационных технологий современные производства приобретают признаки пространственного распределённых систем. Это проявляется, в частности, в дефрагментации и локализации глобальных цепочек создания стоимости, выделении в их составе кластерно-распределённых образований. Это позволяет говорить о формировании распределённых производственных систем, характеризующихся способностью удовлетворять потребности независимых субъектов рынков с

несовпадающими и противоречивыми системами целеполагания, имеющих разные мотивы поведения. Это обеспечивается за счет принципиально иной организации производства, функционирующего на принципах открытости и самоуправляемости системы и использующего ресурсы цифровых сетей.

Особую роль в функционировании распределенных производственных систем играют сетевые технологии, которые обеспечивают качественный рывок в коммуникативных возможностях различных хозяйствующих субъектов. При этом также создаются условия для повышения интенсивности обмена ресурсами, информацией, кадрами. В свою очередь, усиление информационного обмена резко увеличивают скорость генерации новых решений, а также их количество. Развитие инфокоммуникационных технологий обеспечили возможность получать дополнительные эффекты взаимодействия участников производств между собой и с потребителями.

Таким образом, анализ литературы по теории сетей и проблемам организации распределенных производств позволил сформулировать авторское представление данного типа

производств, заключающееся в объединении производственных ресурсов территориально разнесенных промышленных предприятий и ресурсов цифровой сети, направленном на повышение эффективности производственных процессов.

РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ

При формировании системных основ распределённой производственной деятельности следует учитывать характеристики распределённой производственной системы, к числу которых относятся: модульность, необходимость настройки рекрутируемых в систему участников на общие ценности и цели, многосторонность, координация.

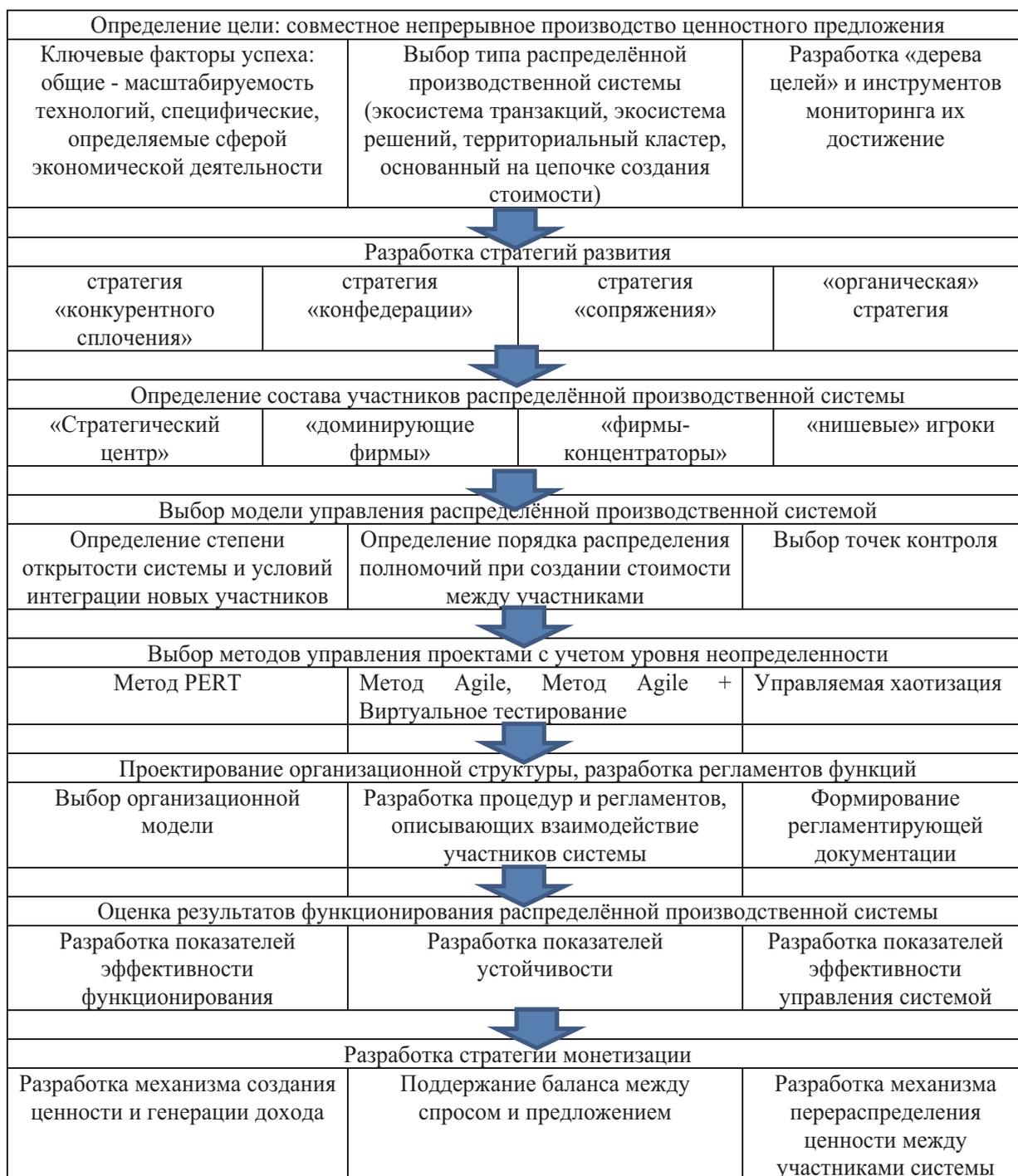
Алгоритм проектирования распределённой производственной системы представлен на рис. 1.

Организация распределённых производственных систем предполагает рассмотрение организационной структуры управления и инструментов управляющего воздействия как совокупность форм и методов взаимодействия

Таблица 1. Научные взгляды ученых на результативность применения сетевых технологий в производственной деятельности

№ п/п	Автор(ы)	Основные положения	Результаты
1	Теодор Вейл	Ввел понятие сетевых эффектов, которые появляются в результате взаимодействия участников производства и потребления между собой посредством информационных технологий	Появление новых организационных моделей, направленных на снижение затрат и повышение гибкости управления
2	Майкл Кац и Карл Шапиро	Товары и услуги с высокой информационной составляющей обеспечивают сравнительно высокую доходность	Резкое развитие интеллектуализации продуктов и технологий их производства
3	Р. Меткалф	«Закон Меткалфа» - увеличение ценности сети с ростом количества участников	Возможность количественной оценки сетевых эффектов
4	Г. Мур	Скачок сетевого эффекта связан с преодолением критической массы участников сети. «Закона Мура» - развитие IT приводит к росту доступности вычислительных мощностей.	Развитие сетевых структур, оперирование большими данными. Повышение открытости производственных и непроизводственных систем.
5	Ю. Мейеран	«II закона Мура» - с ростом наукоемкости производства экспоненциально возрастает стоимость компании.	Усиление роли наукоемких технологий в производстве, повышение значимости интеллектуального труда.

Источник: Составлено автором.



Разработано автором

Рис. 1. Алгоритм проектирования распределённой производственной системы [1]

субъектов и объектов управления, оказывающих влияние на участников распределённых образований. Начальным этапом проектирования выступает определение проблемы и выгод, присваиваемых «стратегическим центром», иными участниками сети и клиентами в случае ее решения. Бизнес-модель распределённой системы обеспечивает производство ценности для потребителя и позволяет ее монетизировать в прибыль. Формирование ценностного предложения для потенциальных участников

предполагает необходимость разработки «плана ценности», который определяет действия, необходимые для его реализации, состав взаимодействий между участниками, а также порядок распределения ролей и ответственности. В рамках проектирования системы управления определяются стратегические и операционные цели, при этом «дерево целей» формируется с помощью диаграммы стратегической карты или с учетом принципов сбалансированной системы показателей.

В соответствии с макроподходом распределенные образования идентифицируются с учетом географической близости и функциональной связности существующих предприятий, что соответствует атрибутивным признакам индустриальных кластеров. В соответствии с микроподходом идентификация осуществляется с учетом комплементарности активов потенциальных участников распределенных производственных систем и их возможной роли в продуцировании ценностного предложения, что соответствует признакам территориальных кластеров и предпринимательских экосистем. При реализации макроподхода используются: «критерии максимизации межотраслевых связей посредством исключения из анализа слабых связей; оценки степени подобия входящих и исходящих продуктовых потоков отраслей; положения теории графов» [2]. Макроподход к идентификации хозяйственных агломераций, основанный на учете распределения отраслевой занятости в границах национальной экономики, был использован М. Портером [3] в ходе кластерного анализа. В качестве ключевых показателей кластеризации использовались: коэффициенты локализации и пространственной концентрации предприятий, показатели размера и сфокусированности хозяйственной агломерации. Развитие идей М. Портера позволило исследователям разработать матрицу взаимодействий на основе межотраслевого баланса потоков ресурсов [4]. К числу макроэкономических подходов к идентификации распределенных производственных систем во взаимосвязи с социально-экономическим развитием территории размещения относятся методики выявления «потенциала кластеризации», под которым понимается наличие конкурентных преимуществ экономических агентов и возможности их интеграции с целью формирования стратегических активов и динамических способностей распределенных образований. В рамках реализации микроподхода к идентификации распределенных производственных систем используются показатели финансовой, экономической, инвестиционной, организационной стабильности субъектов хозяйствования с целью определения возможности их участия в процессах сетевого типа [5]. Основные методические подходы к идентификации кластеров представлены в таблице 2 [6].

Свойства распределенных производственных систем создают условия для формирования гибких организационных структур, для которых характерно: большое количество участников и их неоднородность; несогласованность целей и ценностей участников; сложнопрогнозируемая активность участников во времени и в сетевом пространстве, обусловленная высоким уровнем неопределенности; объектом управления яв-

ляется целая группа однородных или неоднородных процессов; полицентризм как принцип принятия решений в отношении множества напрямую не связанных процессов; высокая степень взаимосвязанности и взаимозависимости решений участников. Планирование организационной структуры и производственных процессов в распределенной производственной системе должно происходить на основе рационального управления потоками ресурсов, информации, энергии в сетевом поле производственной системы. Анализ опыта развития территориальных кластеров как институциональной формы функционирования распределенных производственных систем показывает, что попытки создания органов управления, функционирующих в соответствии с принципом равного или долевого представительства участников сетевого образования, оказались неэффективными, что привело к их замещению «центром управления». В качестве «центра управления» может выступать распределенный центр [9], «отдельная специально созданная организационная структура, которой делегируются права по управлению» [10], специально избранный орган, специализированные государственные агентства и др. При этом стратегии «центра управления» реализуются «фирмами-концентраторами», координирующими деятельность иных участников экосистемы в проектируемых ими новых взаимодействиях внутри и за пределами кластера. Выбор стратегии осуществляется компаниями с учетом уровня турбулентности факторов внешней среды и характером взаимоотношений с другими участниками системы. Отдельные функции управления на разных этапах жизненного цикла кластера и в зависимости от состояния факторов внешней среды могут перераспределяться между участниками распределенной производственной системы.

Условием для выбора субъекта управления выступает набор присущих ему компетенций, в состав которых наряду с традиционными навыками управления должны входить компетенция по «оркестрированию» функционирования распределенных производственных систем, что ряд авторов [11] определяет как самостоятельный вид деятельности. «Стратегический центр» играет решающую роль в разработке целевых ориентиров и общих ценностей, в создании эффекта разнообразия, в формировании ценностного предложения для групп стейкхолдеров, а также модели распределения ценностей. В свою очередь, конкурентные преимущества распределенных производственных систем определяются в значительной степени состоянием стратегических активов и динамических способностей, представленных комбинациями ключевых ресурсов участников сетевого образования. Уникальные конфигурации специфич-

Таблица 2. Сравнительный анализ методов идентификации кластеров

Метод	Преимущества	Недостатки
Метод межотраслевых балансов («затраты-выпуск»)	Позволяет выявить межотраслевые производственные взаимосвязи, корректировать цели экономического развития с учетом ресурсного потенциала резидентов распределённых образований и динамики спроса конечных потребителей в режиме реального времени [7]	Отсутствует учет изменений в секторах экономики; высокая степень агрегированности данных; трудоемкость процесса сбора и обработки данных
Метод локализации (индикаторы специализации, географической концентрации)	Относительно низкий объем затрат, способность к учету особенностей взаимодействий участников кластера, может быть дополнен другими методами	Сложность перехода от отраслевой структуры экономики к кластерной организации
Метод анализа структурных сдвигов	Учитывает совокупность отраслевых и территориальных факторов формирования кластеров в сочетании с факторами макроуровня; сочетает преимущества количественных и качественных методов анализа	Выбор факторов определяется составом группы экспертов, отсутствие единых подходов к определению критериев оптимальной структуры экономики
Метод оценки агломерационных эффектов [8]	Позволяет оценить влияние транспортных издержек, общего рынка труда и чистых агломерационных экстерналий на динамику экономических показателей	Ограниченность статистических данных в российских регионах; слабое проявление в традиционных сферах деятельности ограничивает возможность использования метода высокотехнологичными отраслями
Теории сетей и графов	Визуализирует взаимосвязи межотраслевых потоков; сочетается с методом структурных сдвигов	Сложность интерпретации и установления пороговых значений межотраслевых потоков
Метод экспертных оценок	Значительный объем информации для принятия управленческого решения	Зависимость результата от уровня компетенции экспертов, трудоемкость проведения исследований

ных активов (прежде всего, нематериальных) участников распределённой производственной системы как «иерархии нематериальных знаний и процессов» выступают источником стержневых (ключевых) компетенций, отвечающих трем основным критериям: формирование ценностного предложения для потребителей; высокие издержки копирования; доступ к множеству отраслевых рынков [12]. «Стратегический центр» координирует деятельность иных участников инновационной экосистемы с использованием инструментов стандартизации (например, набора готовых процедур, функций и др., предоставляемых приложением для использования во внешних программных продуктах (Application programming interface, API) или пакета реальных инструментов внедрения (Software development kit, SDK).

К числу основных функций «стратегического центра» относятся:

1. Управление интеграционными процессами с использованием гибкой и масштабируемой IT-архитектурой, гибкого подхода к разработке программного обеспечения Agile (Agile software development), принципов Lean-менеджмента (бережливого производства).

2. Создание организационной структуры на основе выделения «центров новых организационных решений» и формирования проектных команд, организация взаимодействия между центром управления и иными участниками системы (их структурными подразделениями).

3. Управление отношениями с клиентами на основе анализа клиентских данных, в том числе с использованием «больших данных» (BigData), инструментов психографического профилиро-

вания, таргетированных коммуникаций и др.

4. Управление проектами на основе кооперации и коллаборации активов и компетенций различных участников распределённой производственной системы, формирования эффективной системы мотивации и корпоративной культуры нового типа [13].

«Стратегический центр» может использовать собственную платформу или традиционный подход к организации бизнеса, основанный на привлечении посредников [14]. При этом платформа может принимать форму физического актива (производственные мощности) и (или) интеллектуального актива (цифровые платформы). Производимая «стратегическим центром» часть ценностного предложения может быть незначительной в его общем объеме, однако она является критически значимой для сохранения и устойчивого развития распределённой системы.

Наряду со «стратегическим центром» в состав субъектов распределённой производственной системы входят: доминирующие фирмы, фирмы-концентраторы и нишевые игроки, различающиеся по объёму рыночной власти и способности влиять на состояние и показатели функционирования экосистемы [15]. Доминирующие фирмы инициируют горизонтальные и вертикальные коммуникации, координируют деятельность других участников сети в границах отдельных сегментов системы. В отличие от ключевых игроков они создают значительную часть добавленной стоимости в подконтрольном им сегменте, превосходят ключевых игроков по масштабам производства, но уступают им по показателю рыночной власти. При этом они обладают необходимым потенциалом для инициации новых сетей на основе проектирования распределённых взаимодействий за пределами кластеров с использованием аутсорсинга, эффекты перелива знаний и др. В свою очередь, «фирмы-концентраторы» создают незначительную часть добавленной стоимости и представляют несколько узлов в сети» [16]. При этом они максимизируют выгоду, извлекаемую из комбинаций ключевых ресурсов сетевого образования, не обладая рыночной властью. Нишевые игроки, составляющие подавляющее большинство участников сетевого образования, не имеют рыночной власти, однако характер коммуникаций с их участием определяет жизнеспособность и устойчивость системы, а также уровень эффективности использования стратегических активов и динамических способностей участников. В ряде случаев при анализе субъектного состава кластеров исследователи выделяют спонсоров проекта, в качестве которых могут выступать органы государственной власти, международные и национальные (государственные и частные) финансовые организации

[17]. Отдельные авторы в качестве обязательной составляющей коллективного субъекта управления выделяют фасилитатора, который выполняет функции связующего звена между всеми членами кластера [18].

Анализ теории и практики формирования организационной структуры территориальных кластеров как институциональной формы функционирования распределённых производственных систем в Российской Федерации позволяет выделить в ее составе три уровня: первый уровень представлен федеральными органами государственной власти и государственными корпорациями, которые могут инициировать создание кластеров или согласовывать инициативу региональных органов власти (субъектов предпринимательства), а также определяющими стратегические ориентиры развития кластерных образований; второй уровень включает региональные органы власти, транснациональные корпорации, использующие инструменты прямого и косвенного воздействия и также наделенные правом инициировать создание кластеров; третий уровень представлен «непосредственными органами управления кластером, в качестве которых могут выступать управляющая компания, организация-координатор, совет кластера и др. [19].

Многообразие распределённых производственных систем и кластеров как их институциональных форм предполагает необходимость типологизации с учетом различных классификационных признаков. Так, например, в европейских странах используется классификация кластеров NACE, в соответствии с которой выделены 38 категорий кластерных образований. В соответствии с гипотезой диссертационного исследования в работе используется классификация с учетом нескольких признаков. В зависимости от характера распределённых взаимодействий выделяют: «полицентричную сеть (кластеры Маршалла-Беккатини); фокальную сеть; «тройную» спираль («четырёхзвенная спираль», «пятизвенная спираль» и др.). По способу образования и методам первоначального финансирования выделяют: кластеры, созданные по инициативе государства и с преобладанием бюджетных средств; с участием государства, на конкурсной основе и с использованием инструментов государственно-частного партнерства; на основе частной проектной инициативы и без участия государства; без проектной инициативы и без участия государства (спонтанно). По способу координации выделяют: кластеры, деятельность которых координируется изнутри одним из участников кластерного образования; кластеры, деятельность которых координируется из внешней среды; кластеры, где координирующая платформа отсутствует. По динамизму распределённой среды и степени инновативно-

сти выделяют: протокластеры; индустриальные кластеры; территориальные кластеры, которые рядом исследователей определяются как институциональные формы инновационных экосистем [20].

Объектом управляющего воздействия в распределённых производственных системах выступают взаимодействия между ее участниками. Матрица смежности, отражающая структуру управляющих взаимодействий участников рас-

пределённой производственной системы, представлена в таблице 3.

Авторы вышеуказанного исследования с использованием экспертного метода оценили значимости связи между стратегическими участниками распределённой производственной системы (таблица), что нашло отражение в матрице смежности, иллюстрирующей узлы сети (поля) и транзакционные взаимодействия как источники распределённых решений в ячейках

Таблица 3. Матрица смежности, отражающая структуру значимых транзакций между участниками распределённой производственной системы [21]

	RE C	IN	MR	C	I	SCI	R&	&D	TI	P	L	T	IMI	JS	PR	ED U
IN																
MR	R1	G1														
C		2														
I	R2	3														
SCI					I1											
R&		4				S1										
&D		5					J1									
TI							J2	D1								
P		6			I2			D2	T1							
L				C1					T2	1						
T	R3	7	M1	C2						2						
IMI		8														
JS		9										H1				
PR	R4		M2			S2						H2				
EDU	R5					S3		D3				H3			F1	
S	R6							D4	T3	P3	L1	H4	1	K1		U1

таблицы. При таком подходе граф рассматривается как отражение базисной конфигурации распределённой производственной системы, что позволяет идентифицировать источник производства высокой добавленной стоимости.

Проведенное исследование позволило авторам выделить существенные транзакции между участниками распределённых производственных систем, которые инициируют сетевые эффекты. На основе расчета показателей рейтинга узлов системы были выделены типы участников, в том числе: генератор связей; производитель добавленной стоимости; потребитель), которые могут быть идентифицированы как доминирующие фирмы и фирмы-концентраторы, имеющие высокий уровень прямых и обратных связей. Тем самым, они могут быть определены как владельцы процессов и субъекты управления в соответствии с принципами полицентризма [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам проведенного исследования следует резюмировать следующий научный вывод. Формирование распределённых производственных систем в рамках реализации кластерных инициатив вне зависимости от типа последних предполагает необходимость разработки совместных проектов, направленных на ускорение процессов сетевизации экономики и усиление распределённых эффектов. В отличие от линейных моделей организации процессов, процесс становления которых в значительной степени проходил под влиянием ценовых механизмов, совместные проекты в распределённых производственных системах имплементируют признаки классических производственных проектов и инфраструктурно-производственных проектов паркового типа (промпарки, особые экономические зоны и др.), учитывая необходимость целена-

правленного воздействия на взаимодействия между субъектами трех сегментов национальной экономики с целью производства высокой стоимости и генерирования синергетического эффекта коллаборации, а также увеличения числа участников, повышения конкурентоспособности кластера и территории размещения его участников. Все это обуславливает необходимость коллаборативного управления, долгосрочного партнерства и «постоянной координации планов, интересов и действий участников». Условием результативности совместных проектов в распределённых производственных системах выступает масштабируемость последних, что проявляется в росте их производительности при увеличении числа узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивченко, П.А.* Особенности понятия и проектирования бизнес-экосистемы / П.А. Ивченко, Е.И. Куликова // Ученые записки Российской академии предпринимательства. – 2021. – Том 20. – № 2. – С. 27-44.
2. *Баулина, О.А.* Концептуальные основы кластерного развития региона / О.А. Баулина, В.В. Ключин. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. – С. 28. [Электронный ресурс] URL: <http://www.vgasu.ru/publishing/online/> (дата обращения: 23.01.2023).
3. *Porter, M.E.* The Economic Performance of Regions // Regional Studies. Carfax Publishing, 2003, vol. 37, no. 6/7, pp. 549-578.
4. *DeBresson C., Hu X.* Identifying Clusters of Innovative Activity: a New Approach and a Toolbox // Boosting Innovation: the cluster approach. OECD Proceedings, 1999. P.31, 29, 30, 41.

Таблица 4 - Стратегические участники распределённой производственной системы [22]

Стратегические участники распределённых производственных систем	Условные обозначения	Стратегические участники распределённых производственных систем	Условные обозначения
Потребитель	REC	Производство	P
Инноватор	IN	Снабжение	L
Маркетинг	MR	Сбыт	T
Консалтинг	C	Имитатор	IMI
Инвестор	I	Патентование	JS
Наука	SCI	Связи с общественностью	PR
НИР	R&	Обучение	EDU
ОКР	&D	Сервис	S
Технология	TI		

5. Кудрявцева, Т.Ю. Идентификация индустриальных кластеров / Т.Ю. Кудрявцева, С.С. Гутман // Экономика и управление. – 2012. – № 10 (84). – С. 62-64.
6. Составлено автором с использованием: Васильева, З.А. Оценка базовых предпосылок и потенциала развития кластеров в экономике ресурсно-сырьевого региона / З.А. Васильева, Т.П. Лихачева, И.В. Филимоненко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2017. – Т. 10. – № 5. – С. 55-69. – DOI: 10.18721/Е.10505.
7. Ведута, Н.И. Экономическая кибернетика / Н.И. Ведута. – Минск: Наука и техника, 1971. – 320 с.
8. Krugman P., Venables A. The Seamless World: a Spatial Model of International Specialization and Trade. Mineo, MIT, 1997. 39 p.; Harris G.D. The Market as a Factor in the Localization of Production // Annals of the Association of American Geographers, 1954. Vol. 44.; Ellison G., Glaser E. Geographic Concentration in U.S. Manufacturing Firms: a Dartboard Approach // Journal of Political Economy. 105. 1997. P. 889-927 и др.
9. Doz Y.L., Hamel G. Alliance advantage: The art of creating value through partnering. Harvard Business Press, 1998.
10. Lorenzoni G., Baden-Fuller C. Creating a strategic center to manage a web of partners, 1995.
11. Dhanaraj C., Parkhe A. Orchestrating Innovation Networks // Academy of Management Review. 2006. Vol. 31. No. 3. P. 659–669.
12. Хэмел, Г. Конкуренция за будущее. Создание рынков завтрашнего дня / Г. Хэмел, К. Прахалад. – М.: Олимп-Бизнес, 2014. – 288 с.
13. Трансформация современных бизнес-моделей в сторону экосистем [Электронный ресурс] – URL: <https://www.businessstudio.ru/upload/iblock/7e6/%D0%93%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B0.pdf> (дата обращения: 16.01.2023).
14. Bailetti T., and Bot S.D. (2013) An Ecosystem-Based Job-Creation Engine Fuelled by Technology Entrepreneurs. // Technology Innovation Management Review, 2(5): 28-34. [Электронный ресурс] URL: <http://doi.org/10.22215/timreview/557> (дата обращения 24. 01.2023).
15. Андросик, Ю.Н. Бизнес-экосистемы как форма развития кластеров / Ю.Н. Андросик // Труды Белорусского государственного технологического университета. – 2016. – № 7. – С. 38-43.
16. Там же. – С. 40-41
17. Solvell O., Lindqvist G., Ketels C. The Cluster Initiative Greenbook. Stockholm: Ivory Tower, 2003.
18. Ахенбах, Ю.А. Формирование и развитие научно-производственных кластеров в регионе: теория, методология, практика: дисс. ... докт. экон. наук: 08.00.05 / Ю.А. Ахенбах. – Воронеж, 2013. – 453 с.
19. Система менеджмента для управляющих компаний инновационных территориальных кластеров Российской Федерации: отчет НИУ ВШЭ и Фонда ЦСР «Северо-Запад» 2014. [Электронный ресурс] – URL: http://cluster.hse.ru/doc/management_companies_clusters.pdf (дата обращения: 23. 01.2023).
20. Meier zu Kocker G. et al. Cluster in Germany and Korea – Similarities and Differences. Berlin: VDI/VDE-IT, 2010; Porter M.E., Ketels C.H.M. Clusters and Industrial Districts: Common Roots, Different Perspectives // A Handbook of Industrial Districts / ed. G. Becattini, M. Bellandi, L. de Propis. Cheltenham: Edward Elgar, 2009.; Ganne, Lecler 2009.; Смородинская Н.В. Глобализированная экономика: от иерархий к сетевому укладу. М.: ИЭ РАН, 2015. 344 с. С. 110; Ganne B., Lecler Y. From Industrial Districts to Poles of Competitiveness // Asian Industrial Clusters, Global Competitiveness and New Policy Initiatives / ed. B. Ganne, Y. Lecler. Singapore: World Scientific Publishing, 2009. P. 3–24.
21. Алексеев, А.А. Методология моделирования инновационного процесса на базе теории систем и теории сетей. Научное издание / А.А. Алексеев, П.А. Аркин, Е.Л. Богланова, В.Н. Васильев, Ю.А. Гатчин, А.Б. Титов. – СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013. – С. 108.
22. Алексеев, А.А. Методология моделирования инновационного процесса на базе теории систем и теории сетей. Научное издание / А.А. Алексеев, П.А. Аркин, Е.Л. Богланова, В.Н. Васильев, Ю.А. Гатчин, А.Б. Титов. – СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013. – С. 105.
23. Алексеев, А.А. Методология моделирования инновационного процесса на базе теории систем и теории сетей. Научное издание / А.А. Алексеев, П.А. Аркин, Е.Л. Богланова, В.Н. Васильев, Ю.А. Гатчин, А.Б. Титов. – СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013. – С. 138.

ON THE ORGANIZATION AND DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED PRODUCTION SYSTEMS

© 2023 M. F. Safargaliev

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev

The article is devoted to the issues of increasing the efficiency of functioning of modern production systems based on the network principles of production organization. The necessity of developing new methods and tools for organizing and distributed production systems is substantiated, which makes it possible to obtain network effects. It has been established that when forming the systemic foundations of distributed production activities, one should take into account the characteristics of a distributed production system, which include: modularity, the need to configure participants recruited into the system for common values and goals, versatility, and coordination. The purpose of this article is to develop methodological aspects of editing and development of distributed production systems in modern conditions in the context of digitalization and clustering of the economy. The properties of distributed production systems create conditions for the formation of flexible organizational structures, which are characterized by: a large number of participants and their heterogeneity; inconsistency of the goals and values of the participants; difficult to predict the activity of participants in time and in the network space, due to a high level of uncertainty; the object of control is a whole group of homogeneous or heterogeneous processes; polycentrism as a decision-making principle in relation to a set of directly unrelated processes; a high degree of interconnectedness and interdependence of participants' decisions. Planning the organizational structure and production processes in a distributed production system should take place on the basis of rational management of the flow of resources, information, energy in the network field of the production system. Analysis of the theory and practice of forming the organizational structure of territorial clusters as an institutional form of functioning of distributed production systems in the Russian Federation allows us to distinguish three levels in its composition: the first level is represented by federal government bodies and state corporations that can initiate the creation of clusters or coordinate the initiative of regional authorities (business entities), as well as defining strategic guidelines for the development of cluster formations; the second level includes regional authorities, transnational corporations that use tools of direct and indirect influence and are also entitled to initiate the creation of clusters; the third level is represented by "direct cluster management bodies, which can be a management company, a coordinating organization, a cluster council, etc. The study allowed the authors to identify significant transactions between participants in distributed production systems that initiate network effects.

Keywords: organization of production, system, network, network effects, acceleration of production processes.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-34-44

EDN: ELIFOV

REFERENCES

1. *Ivchenko, P.A.* Osobennosti ponyatiya i proektirovaniya biznes-ekosistemy / P.A. Ivchenko, E.I. Kulikova // Uchenye zapiski Rossijskoj akademii predprinimatel'stva. – 2021. – Tom 20. – № 2. – S. 27-44.
2. *Baulina, O.A.* Konceptual'nye osnovy klasternogo razvitiya regiona / O.A. Baulina, V.V. Klyushin. – Volgograd: VolgGASU, 2015. – S. 28. [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.vgasu.ru/publishing/online/Data obrashcheniya: 23.01.2023>.
3. *Porter, M.E.* The Economic Performance of Regions // Regional Studies. Carfax Publishing, 2003, vol. 37, no. 6/7, pp. 549-578.
4. *DeBresson C., Hu X.* Identifying Clusters of Innovative Activity: a New Approach and a Toolbox // Boosting Innovation: the cluster approach. OECD Proceedings, 1999. P.31, 29, 30, 41.
5. *Kudryavceva, T.Yu.* Identifikaciya industrial'nyh klasteroi / T.Yu. Kudryavceva, S.S. Gutman // Ekonomika i upravlenie. – 2012. – № 10 (84). – S. 62-64.
6. Sostavleno avtorom s ispol'zovaniem: *Vasil'eva, Z.A.* Ocenka bazovyh predposylok i potenciala razvitiya klasteroi v ekonomike resursno-syr'evogo regiona / Z.A. Vasil'eva, T.P. Lihacheva, I.V. Filimonenko // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki. – 2017. – T. 10. – № 5. – S. 55-69. – DOI: 10.18721/JE.10505.
7. *Veduta, N.I.* Ekonomicheskaya kibernetika / N.I. Veduta. – Minsk: Nauka i tekhnika, 1971. – 320 s.
8. *Krugman P., Venables A.* The Seamless Word: a Spatial Model of International Specialization and Trade. Mineo, MIT, 1997. 39 p.; Harris G.D. The Market as a Factor in the Localization of Production // Annals of the Association of American Geographers, 1954. Vol. 44.; Ellison G., Glaser E. Geographic Concentration in U.S. Manufacturing Firms: a Dartboard Approach // Journal of Political Economy. 105. 1997. P. 889-927 i dr.
9. *Doz Y.L., Hamel G.* Alliance advantage: The art of creating value through partnering. Harvard Business Press, 1998.
10. *Lorenzoni G., Baden-Fuller C.* Creating a strategic center to manage a web of partners, 1995.
11. *Dhanaraj C., Parkhe A.* Orchestrating Innovation Networks // Academy of Management Review. 2006. Vol. 31. No. 3. P. 659-669.
12. *Hemel, G.* Konkurenciya za budushchee. Sozdanie rynkov zavtrashnego dnya / G. Hemel, K. Prahalad. – M.: Olimp-Biznes, 2014. – 288 s.

13. Transformaciya sovremennyh biznes-modelej v storonu ekosistem [Elektronnyj resurs] – URL: <https://www.businessstudio.ru/upload/iblock/7e6/%D0%93%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B0.pdf>. (data obrashcheniya: 16.01.2023).
14. *Bailetti T., and Bot S.D.* (2013) An Ecosystem-Based Job-Creation Engine Fuelled by Technology Entrepreneurs. // *Technology Innovation Management Review*, 2(5): 28-34. [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://doi.org/10.22215/timreview/557>. Data obrashcheniya% 24. 01.2023.
15. *Androsik Yu.N.* Biznes-ekosistemy kak forma razvitiya klasterov / YU.N. Androsik // *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. – 2016. – № 7. – S. 38-43. – S. 40-41.
16. Tam zhe. C. 40-41
17. *Solvell O., Lindqvist G., Ketels C.* The Cluster Initiative Greenbook. Stockholm: Ivory Tower, 2003.
18. Ahenbah, YU.A. Formirovanie i razvitie nauchno-proizvodstvennyh klasterov v regione: teoriya, metodologiya, praktika: disc. ... dokt. ekon. nauk: 08.00.05 / YU.A. Ahenbah. – Voronezh, 2013. – 453 s.
19. Sistema menedzhmenta dlya upravlyayushchih kompanij innovacionnyh territorial'nyh klasterov Rossijskoj Federacii: otchet NIU VSHE i Fonda CSR «Severo-Zapad» 2014. [Elektronnyj resurs] – URL: http://cluster.hse.ru/doc/management_companies_clusters.pdf (data obrashcheniya: 23. 01.2023).
20. *Meier zu Kocker G. et al.* Cluster in Germany and Korea – Similarities and Differences. Berlin: VDI/VDE-IT, 2010; Porter M.E., Ketels C.H.M. Clusters and Industrial Districts: Common Roots, Different Perspectives // *A Handbook of Industrial Districts* / ed. G. Becattini, M. Bellandi, L. de Propis. Cheltenham: Edward Elgar, 2009.; Ganne, Lecler 2009; Smorodinskaya N.V. Globalizirovannaya ekonomika: ot ierarhij k setevomu ukladu. M.: IE RAN, 2015. 344 c. S. 110; Ganne B., Lecler Y. From Industrial Districts to Poles of Competitiveness // *Asian Industrial Clusters, Global Competitiveness and New Policy Initiatives* / ed. B. Ganne, Y. Lecler. Singapore: World Scientific Publishing, 2009. P. 3–24.
21. *Alekseev, A.A.* Metodologiya modelirovaniya innovacionnogo processa na baze teorii sistem i teorii setej. Nauchnoe izdanie / A.A. Alekseev, P.A. Arkin, E.L. Boglanova, V.N. Vasil'ev, YU.A. Gatchin, A.B. Titov. – SPb.: SPbNIU ITMO, 2013. – S. 108.
22. *Alekseev, A.A.* Metodologiya modelirovaniya innovacionnogo processa na baze teorii sistem i teorii setej. Nauchnoe izdanie / A.A. Alekseev, P.A. Arkin, E.L. Boglanova, V.N. Vasil'ev, YU.A. Gatchin, A.B. Titov. – SPb.: SPbNIU ITMO, 2013. – S. 105.
23. *Alekseev, A.A.* Metodologiya modelirovaniya innovacionnogo processa na baze teorii sistem i teorii setej. Nauchnoe izdanie / A.A. Alekseev, P.A. Arkin, E.L. Boglanova, V.N. Vasil'ev, YU.A. Gatchin, A.B. Titov. – SPb.: SPbNIU ITMO, 2013. – S. 138.

**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ МОНИТОРИНГА
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНДУСТРИИ 4.0**

© 2023 Р.А. Халиулин

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 13.02.2023

В статье представлено описание трендов применения цифровых технологий в производственных процессах в промышленном комплексе российской экономики в условиях индустрии 4.0. В частности, проведен динамический анализ внутренних затрат на развитие цифрового производства; представлены структура затрат на развитие цифрового производства и структура использования цифровых технологий на предприятиях промышленного производства; выявлены тренды доли промышленных организаций, использующих специальные программные средства по управлению производством - CRM, ERP, SCM – системы, системы автоматизированного управления производством, системы проектирования производственно-технологических процессов. Цель статьи заключается в обобщении направлений развития индустрии 4.0 в сфере промышленного производства российской экономики с акцентом на возможности и перспективы совершенствования технологий использования цифровых двойников как инструмента мониторинга процесса производства в цепочках создания стоимости продукции. Особое место в статье отведено анализу и перспективам внедрения в промышленном комплексе цифровых двойников и цифровых теней, как инструментов мониторинга на стадиях проектирования изделия и последующего его производства и эксплуатации. Представлена обобщенная схема использования инструментов мониторинга производственного процесса с применением программно-технологической платформы. По результатам исследования сделаны выводы: во-первых, в российской промышленности отмечается ежегодный рост использования цифровых технологий по всем этапам жизненного цикла изделий, в том числе в рамках интегрированных цепочек создания добавленной стоимости; во-вторых, цифровые технологии в настоящее время используются как необходимый инструмент для повышения конкурентоспособности промышленного производства, повышения его ресурсоэффективности, гибкости, точности и оперативности принимаемых управленческих решений; в-третьих, решающее значение в ближайшее время будут иметь интегрированные платформенно-технологические решения, позволяющие создавать сквозные физические и информационные потоки, направленные на формирование и развитие передовых производств и технологий в промышленном комплексе.

Ключевые слова: цифровой двойник, мониторинг, индустрия 4.0, промышленное производство, цифровая тень, программно-технологическая платформа, производственный процесс, цифровое производство.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-45-50

EDN: DSPFFQ

ВВЕДЕНИЕ

Последнее десятилетие ознаменовалось бурным развитием четвертой промышленной революции, что явилось основанием радикального перепроектирования производственно-технологических цепочек, трансформации бизнес-моделей, моделей и способов производства. Появление новых технологий управления производственными процессами в настоящее время сочетает в себе черты технологических и организационно-управленческих инноваций, платформенных цифровых решений и интегрированных цепочек создания стоимости конечной продукции. В этой связи предъявляются новые требования к системам мониторинга производственных процессов, которые должны отражать тенденции современных

технологических и цифровых трансформаций производственных систем. Одним из инструментов мониторинга производственных процессов в индустрии 4.0 могут рассматриваться цифровые двойники изделий, которые аккумулируют поток данных о реальном производственном объекте и позволяет в режиме оперативности с высокой степенью точности принимать управленческие решения, направленные на повышение безопасности и эффективности производства. Исходя из представленной актуальности тематики данного исследования, цель статьи заключается в обобщении направлений развития индустрии 4.0 в сфере промышленного производства российской экономики с акцентом на возможности и перспективы совершенствования технологий использования цифровых двойников как инструмента мониторинга процесса производства в цепочках создания стоимости продукции.

Халиулин Равиль Афтахович, аспирант кафедры логики и управления. E-mail: rav.haliulin@yandex.ru

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методологическую основу исследования составили следующие группы методов:

- общенаучные методы, в частности обобщения, анализа, синтеза, сравнительного анализа, бенчмаркинга;
- частно-научные методы, среди которых – визуальный анализ данных, графический анализ, анализ трендов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вопросы развития индустрии 4.0 нашли достойное место в исследованиях российских ученых. В частности, следует указать на такие важные направления изучения в данной области, как стандартизация производства в условиях четвертой промышленной революции [1], цифровая трансформация промышленных предприятий [2], экспансия экспертной деятельности в использовании Больших данных [3], специфика бережливого производства в индустрии 4.0 [4,5], технологический суверенитет в эпоху технологических трансформаций [6], технологические вызовы и угрозы четвертой промышленной революции [7], конкурентоспособность промышленного комплекса [8] и др.

Применительно к сфере промышленного производства российской экономики следует отметить, что развитие индустрии 4.0 отражает общемировые тенденции и характеризуется ежегодным приростом вклада добавленной стоимости от цифровой трансформации. По предварительным данным, внутренние затраты на развитие цифрового производства в российской экономике в 2022 г. превысили 3,5 трлн. рублей,

что больше показателя 2017 г. в 2,1 раза (рис. 1). Однако в отношении к ВВП данный показатель за 2017-2022 г. составлял около 2%.

В структуре внутренних затрат на развитие цифрового производства более трети занимало приобретение оборудования, цифровых установок, около 18 приходилось на затраты по приобретению и установке программного обеспечения и его адаптации под нужды производства; около 12% составляли затраты на оплату услуг электросвязи. В структуре внешних затрат на развитие цифрового производства более половины было отнесено на доработку, обновление и техническую поддержку программного обеспечения; около 20% – на ремонт и модернизацию производственно-технологических линий и оборудования; около 8% – затраты на доступ к внешним банкам данных (рис. 2).

Анализ направлений использования цифровых технологий в промышленности показал, что около четверти приходится на облачные сервисы, чуть менее этой доли – около 22% – на сбор и анализ Больших данных, 17,2% – на цифровые платформы, по 13% – на Интернет вещей и геоинформационные платформы, 10,8% – RFID-технологии (рис. 3).

Положительная динамика характерна по применению промышленными организациями специальных программных средств по управлению производством, таких как автоматизированное производство, проектирование, интегрированные решения по управлению цепочками поставок – CRM, ERP, SCM – системы. 2019 г. показал более высокий прирост по внедрению интегрированных технологий управления цепочками поставок, при этом технологии автоматизированного проектирования,



Рис. 1. Динамика внутренних затрат на развитие цифрового производства, млрд. рублей (построено автором по данным [9])

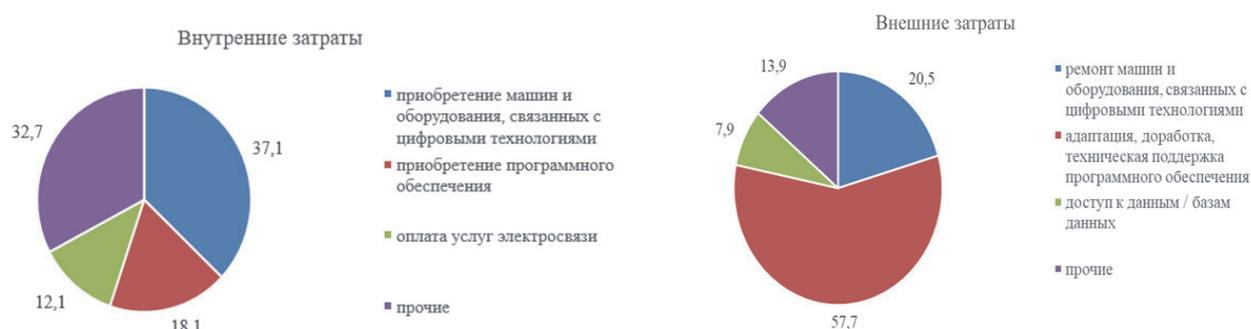


Рис. 2. Структура затрат на развитие цифрового производства, процент (построено автором по данным [10])



Рис. 3. Структура использования цифровых технологий на предприятиях промышленного производства, процент от общего числа промышленных организаций (построено автором по данным [9])

напротив, насколько замедлили темпы роста, что может быть связано частично с изменением методологии расчета данных показателей, начиная с 2019 г. Однако в целом следует указать на положительные тренды применения специализированных программных средств по проектированию и управлению производственно-технологическими процессами на промышленных предприятиях (рис. 4).

Новые требования к системе организации производства ставят в необходимость усиление процессов контроля и мониторинга производственно-технологических цепочек. В этой связи одним из инструментов, позволяющим повысить эффективность мониторинга производственных процессов, влияющим на качество и гибкость принимаемых управленческих процессов в сфере организации производства могут выступать цифровые двойники. В настоящее время в мировой и российской науке, а также в практической деятельности растет интерес к данной области деятельности. В частности, под-

тверждение этому находим в росте количества научных работ по проблематике использования цифровых двойников: например, количество публикаций по вопросам использования цифровых двойников в промышленности, согласно научной электронной библиотеке eLibrary.ru возросло с 14 в 2017 г. до 1259 в 2022 г., рост составил 90 раз [11-15].

Использование цифровых двойников в мониторинге процессов производства является следствием непрерывного совершенствования методов и инструментов разработки промышленной продукции и производственно-инженерной деятельности в целом. Согласно определению ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий» [16] под цифровым двойником изделия понимается система, которая состоит из цифровой модели изделия и информационных потоков, обеспечивающих связь между его составными частями. Следует подчеркнуть, что использование цифровых двойников имеет



Рис. 4. Динамика доли промышленных организаций, использующих специальные программные средства по управлению производством, процент (построено автором по данным [10])

принципиально важное значение в мониторинге на стадии проектирования изделия и последующего запуска в производство опытного образца, что в совокупности позволяет сокращать издержки трансформации производственной системы и повышать эффективность цепи создания стоимости конечной продукции. При этом цифровой двойник изделия на стадии проектирования на стадии производства жизненного цикла и стадии использования продукции трансформируется в цифровую тень, содержащую информацию в виде связей и зависимостей, описывающих поведение реального объекта в нормальном режиме работы, выступая информационной основой предиктивной аналитики для возможных вариантов поведения объекта в различных ситуациях в процессе производства и эксплуатации. Таким образом, и цифровой двойник и цифровая тень выступают как инструмент мониторинга поведения реального промышленного объекта в различных условиях с учетом ограничений и возмущений внутренней и внешней среды (рис. 5).

Проведение аналитических операций с данными, сформированными на основе цифровых двойников и цифровых теней, осуществляется с использованием программно-технологических платформ, которые позволяют осуществлять мониторинг реальных производственно-технологических процессов и изделий благодаря применению таких средств мониторинга, как программное обеспечение компьютерного моделирования, проектный менеджмент, каталогизация и передача результатов компьютерного моделирования, база инженерных расчетов защита данных, техническое обслуживание и ремонт, распределенный реестр использования результатов моделирования и эксплуатации изделия и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование позволяет резюмировать следующие выводы. В российской промышленности отмечается ежегодный рост использования цифровых технологий по всех этапах жизненного цикла изделий, в том числе в рамках интегрированных цепочек создания добавленной стоимости. Можно заключить, что цифровые технологии в настоящее время используются как необходимый инструмент для повышения конкурентоспособности промышленного производства, повышения его ресурсоэффективности, гибкости, точности и оперативности принимаемых управленческих решений. На стадиях проектирования, а также на стадиях производства и эксплуатации изделий возрастает роль цифровых двойников и цифровых теней, позволяющих проводить мониторинг качества процессов проектирования и выпускаемой промышленной продукции. При этом решающее значение в ближайшее время будут иметь интегрированные платформенно-технологические решения, позволяющие создавать сквозные физические и информационные потоки, направленные на формирование и развитие передовых производств и технологий в промышленном комплексе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сырицкий, А.Б. Четвертая промышленная революция: цифровое производство и промышленный интернет вещей / А.Б. Сырицкий, К.Г. Потапов, М.И. Киселев, А.С. Комшин // Стандарты и качество. – 2018. – № 6. – С. 64-68.
2. Голов, Р.С. Технологии цифровой трансформации промышленных предприятий в условиях четвертой промышленной революции / Р.С. Голов, В.В.

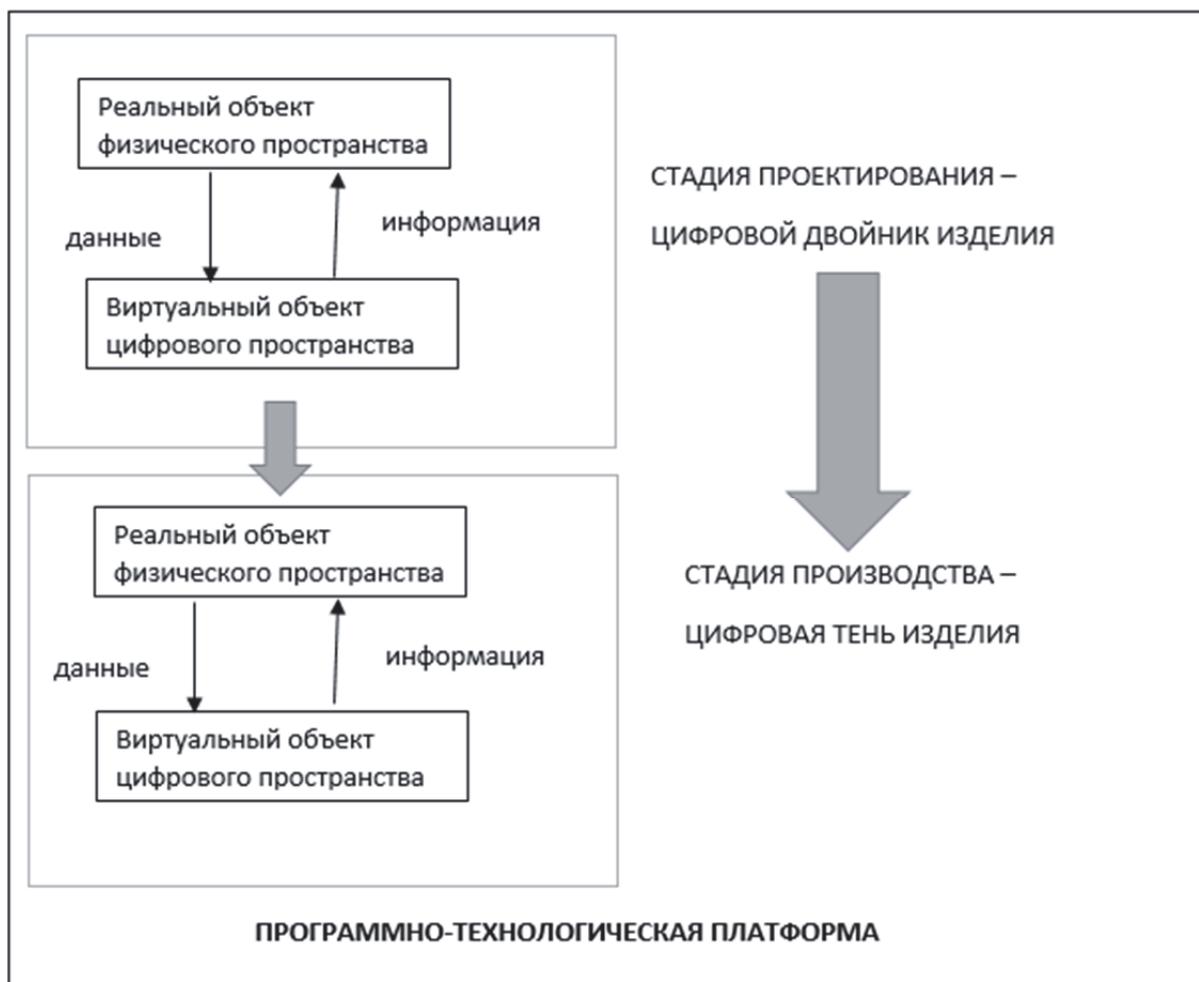


Рис. 5. Инструменты мониторинга производственного процесса с использованием программно-технологической платформы (построено автором)

3. Горбунов, Д.В. Экспансия экспертной деятельности при развитии технологий Big Data в условиях четвертой промышленной революции / Д.В. Горбунов, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2022. – Т. 13. – № 1. – С. 17-24.
4. Хомяков, Н.В. Применение системы бережливого производства в четвертой промышленной революции / Н.В. Хомяков, П.А. Сидоров // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 1 (127). – С. 84-87.
5. Барсегян Н.В. Специфика бережливой организации структуры управления нефтехимическим предприятием / Н.В. Барсегян // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 22. – № 2 (94). – С. 100-106.
6. Андреев, В.Н. Четвертая промышленная революция и цифровая трансформация: технологический суверенитет и повышение конкурентоспособности предприятий / В.Н. Андреев, Е.Д. Коршунова, Г.Д. Волкова, С.В. Лукина, В.Р. Алиев // Российский экономический интернет-журнал. – 2022. – № 3.
7. Прудкий, А.С. Потенциальные угрозы реализации четвертой промышленной революции / А.С. Прудкий, Н.С. Шайтура // Славянский форум. – 2022. – № 4 (38). – С. 289-301.
8. Кандилов, В.П. Инновационная активность и конкурентоспособность экономики Республики Татарстан / В.П. Кандилов, О.М. Краснова, С.С. Кудрявцева // Вопросы статистики. – 2013. – № 4. – С. 61-69.
9. Абдрахманова, Г.И. Цифровая экономика: 2022: краткий статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, С.А. Васильковский и др. – М.: НИУ ВШЭ, 2022. – 124 с.
10. Росстат [Электронный ресурс] – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения 12.03.2023).
11. Пудовкина, О.Е. Методический подход к созданию представлений цифрового двойника в рамках концепции «цифрового производства» / О.Е. Пудовкина, Е.А. Балашова, Е.О. Бобков // Отходы и ресурсы. – 2022. – Т. 9. – № 1.
12. Кошелева, О.Э. Роль интеллектуальных ресурсов России в расширении сферы применения цифровых двойников и ускорении цифрового прогресса / О.Э. Кошелева, А.О. Павлова // Бюллетень инновационных технологий. – 2022. – Т. 6. – № 4 (24). – С. 29-33.
13. Холопов, В.А. Методика создания цифрового двойника параметризованной системы базирования заготовок / В.А. Холопов, С.С. Жлуктов, Е.В. Копытова, М.А. Макаров // Автоматизация. Современные технологии. – 2022. – Т. 76. – № 11. – С. 490-493.
14. Салов, И.В. Применение цифровых двойников и киберфизических систем на объектах генерации тепловой и электрической энергии / И.В. Салов, И.А. Щербатов, Ю.А. Салова // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10. – № 3. – С. 57-62.
15. ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий» [Электронный ресурс] – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения 10.03.2023).

REFERENCES

1. Syrickij, A.B. Четвертая промышленная революция: цифровое производство и промышленный интернет вещей / A.B. Syrickij, K.G. Potapov, M.I. Kiselev, A.S. Komshin // Standarty i kachestvo. – 2018. – № 6. – С. 64-68.
2. Golov, R.S. Tekhnologii cifrovoj transformacii promyshlennyh predpriyatij v usloviyah chetvertoj promyshlennoj revolyucii / R.S. Golov, V.V. Myl'nik // STIN. – 2022. – № 5. – С. 56-57.
3. Gorbunov, D.V. Ekspansiya ekspertnoj deyatel'nosti pri razvitii tekhnologii Big Data v usloviyah chetvertoj promyshlennoj revolyucii / D.V. Gorbunov, A.YA. Dmitriev, T.A. Mitroshkina // Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie. – 2022. – Т. 13. – № 1. – С. 17-24.
4. Homyakov, N.V. Primenenie sistemy berezhlivogo proizvodstva v chetvertoj promyshlennoj revolyucii / N.V. Homyakov, P.A. Sidorov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 1 (127). – С. 84-87.
5. Barsegyan N.V. Specifika berezhlivoj organizacii struktury upravleniya neftekhimicheskim predpriyatim / N.V. Barsegyan // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2020. – Т. 22. – № 2 (94). – С. 100-106.
6. Andreev, V.N. Четвертая промышленная революция и цифровая трансформация: технологический суверенитет и повышение конкурентоспособности предприятий / V.N. Andreev, E.D. Korshunova, G.D. Volkova, S.V. Lukina, V.R. Aliev // Rossijskij ekonomicheskij internet-zhurnal. – 2022. – № 3.
7. Prudkij, A.S. Potencial'nye ugrozy realizacii chetvertoj promyshlennoj revolyucii / A.S. Prudkij, N.S. SHajtura // Slavjanskij forum. – 2022. – № 4 (38). – С. 289-301.
8. Kandilov, V.P. Innovacionnaya aktivnost' i konkurentosposobnost' ekonomiki Respubliki Tatarstan / V.P. Kandilov, O.M. Krasnova, S.S. Kudryavceva // Voprosy statistiki. – 2013. – № 4. – С. 61-69.
9. Abdrahmanova, G.I. Cifrovaya ekonomika: 2022: kratkij statisticheskij sbornik / G.I. Abdrahmanova, S.A. Vasil'kovskij i dr. – М.: NIU VSHE, 2022. – 124 s.
10. Rosstat [Elektronnyj resurs] – URL: <https://rosstat.gov.ru> (data obrashcheniya 12.03.2023).
11. Pudovkina, O.E. Metodicheskij podhod k sozdaniyu predstavlenij cifrovogo dvojnika v ramkah koncepcii "cifrovogo proizvodstva" / O.E. Pudovkina, E.A. Balashova, E.O. Bobkov // Othody i resursy. – 2022. – Т. 9. – № 1.
12. Kosheleva, O.E. Rol' intellektual'nyh resursov Rossii v rasshirenii sfery primeneniya cifrovyyh dvojn timerov i uskorenii cifrovogo progressa / O.E. Kosheleva, A.O. Pavlova // Byulleten' innovacionnyh tekhnologij. – 2022. – Т. 6. – № 4 (24). – С. 29-33.
13. Holopov, V.A. Metodika sozdaniya cifrovogo dvojnika parametrizovannoj sistemy bazirovaniya zagotovok / V.A. Holopov, S.S. ZHluktov, E.V. Kopytova, M.A. Makarov // Avtomatizaciya. Sovremennye tekhnologii. – 2022. – Т. 76. – № 11. – С. 490-493.
14. Salov, I.V. Primenenie cifrovyyh dvojn timerov i kiberfizicheskikh sistem na ob'ektah generacii teplovoj i elektricheskoy energii / I.V. Salov, I.A. SHcherbatov, YU.A. Salova // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10. – № 3. – С. 57-62.
15. GOST R 57700.37-2021 «Komp'yuternye modeli i modelirovanie. Cifrovye dvojn timeriki izdelij» [Elektronnyj resurs] – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf> (data obrashcheniya 10.03.2023)..

DIGITAL TWINS AS A TOOL FOR MONITORING PRODUCTION PROCESSES IN INDUSTRY 4.0

© 2023 R.A. Khaliulin

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

The article presents a description of the trends in the use of digital technologies in production processes in the industrial complex of the Russian economy in the conditions of industry 4.0. In particular, a dynamic analysis of internal costs for the development of digital production was carried out; the cost structure for the development of digital production and the structure of the use of digital technologies in industrial production enterprises are presented; trends in the share of industrial organizations using special software for production management - CRM, ERP, SCM - systems, automated production control systems, systems for designing production and technological processes have been identified. The purpose of the article is to summarize the directions of development of industry 4.0 in the industrial production of the Russian economy, with an emphasis on the possibilities and prospects for improving the technologies for using digital twins as a tool for monitoring the production process in the value chains of products. A special place in the article is given to the analysis and prospects for the introduction of digital twins and digital shadows in the industrial complex as monitoring tools at the stages of product design and its subsequent production and operation. A generalized scheme for using tools for monitoring the production process using a software and technological platform is presented. Based on the results of the study, the following conclusions were drawn: firstly, in the Russian industry there is an annual increase in the use of digital technologies at all stages of the life cycle of products, including within integrated value chains; secondly, digital technologies are currently used as a necessary tool for increasing the competitiveness of industrial production, increasing its resource efficiency, flexibility, accuracy and efficiency of managerial decisions; thirdly, in the near future, integrated platform and technological solutions will be of decisive importance, allowing the creation of end-to-end physical and information flows aimed at the formation and development of advanced industries and technologies in the industrial complex.

Keywords: digital twin, monitoring, industry 4.0, industrial production, digital shadow, software and technology platform, production process, digital production.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-45-50

DSPFFQ

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

© 2023 А. И. Шинкевич, М. В. Зими́на

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 13.02.2023

Технологии Индустрии 4.0 напрямую связаны с концепцией устойчивого развития, которая открывает новые возможности и может способствовать изменению традиционного подхода производственных компаний. В настоящее время в продовольственной системе происходят повсеместные изменения в бизнес-моделях, чему также способствует применение цифровых технологий. Растущее число новых цифровых технологий с успехом находят применение во всех основных процессах. Цифровые технологии могут по-разному влиять на различные процессы, некоторые могут оказывать сквозное воздействие на все процессы, в то время как другие могут быть сосредоточены исключительно на одном процессе. Внедрение цифровых технологий И4.0 производственными компаниями касается, прежде всего поддержания различных бизнес-процессов. В статье рассматриваются технологии, применяемые в рамках процессного подхода управления предприятием, в условиях Индустрии 4.0. Рассмотрены модели процессного подхода их особенности, характеристики и функциональные возможности, применяемые с целью повышения эффективности и достижения желаемых результатов. Показано, что с помощью интеграции методов процессного подхода и технологий И4.0 предприятия могут добиться желаемых результатов, а также особенности их внедрения. Обоснована необходимость в дальнейших научных разработках инструментов, повышающих эффективность управления предприятиями и самими бизнес-процессами.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, цифровая трансформация, автоматизация, ERP системы, менеджмент организации, бизнес-процесс.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-51-60

EDN: DUMGWT

ВВЕДЕНИЕ

Прогрессирующая глобализация, массовая кастомизация и конкурентная бизнес-среда означают, что предприятия сталкиваются с новыми вызовами в современной турбулентной экономике [1]. Спрос на более быстрые сроки поставки, более эффективные и автоматизированные процессы, высокое качество и индивидуально разработанные продукты, подталкивают компании к так называемой четвертой промышленной революции, известной как Индустрия 4.0 (И4.0). Предыдущие три промышленные революции привели к значительному росту производительности труда благодаря механизации, электричеству и информационным технологиям [2]. Для Индустрии 4.0 базовой технологией являются киберфизические системы (CPS), которые делают производственные системы модульными и изменяемыми, что позволяет массово производить продукцию с высокой степенью индивидуальности [3]. Действительно, когда CPS взаимодействуют через Интернет

Шинкевич Алексей Иванович, доктор технических наук, доктор экономических наук, заведующий кафедрой логистики и управления. E-mail: ashinkevich@mail.ru
Зими́на Марина Викторовна, ассистент кафедры логистики и управления. E-mail: Marina-ls@list.ru

вещей, они соединяют инфраструктуру, физические объекты, людей, машины и процессы через организационные границы, позволяя объединять физический и виртуальный мир, при помощи датчиков, различных механизмов и вычислительных мощностей передавая данные в режиме реального времени для принятия децентрализованных решений по управлению процессами [4].

Между тем, существуют и другие цифровые технологии, способствующие развитию И4.0. В статье [5] исследуют максимизацию прибыли при 3D-печати в рамках интеллектуальных производственных систем, уделяя особое внимание техническим и управленческим проблемам, которые необходимо преодолеть компаниям. Широко используются методы обработки больших данных и алгоритмов с целью улучшения масштабируемости, безопасности и эффективности производственных систем [6]. В свою очередь, облачные технологии могут помочь реализовать облачное производство (CMfg), снижая затраты и повышая масштабируемость за счет использования виртуальных ресурсов [7]. Все эти технологии могут применяться не только в производственном секторе, но и в повседневной жизни, превращая традиционные бытовые приборы в

интеллектуальные продукты для реализации сложных систем «умного дома» [8]. Кроме того, появление новых технологий привело к созданию новых бизнес-моделей, таких как «много-сторонние цифровые платформы», при помощи которых предприятия смогут соединить две или более групп пользователей благодаря поддержке цифровой платформы [9].

И4.0 является широко обсуждаемой темой в литературе, и многие исследования направлены на изучение и анализ благоприятных изменений применения цифровых технологий [10]. Однако в существующей литературе больше внимания уделяется воздействию И4.0 на конкретные процессы производственных компаний, вместо того чтобы рассматривать и анализировать все процессы в комплексе. В статье [11], рассматриваются и обозначаются эти вопросы, а также указывается необходимость анализа влияния И4.0 с учетом всех процессов. Да Сильва и др. (2020) сосредоточились на эмпирических исследованиях И4.0, обобщив концепцию, преимущества, проблемы и технологии, способствующие развитию И4.0.

Несмотря на то, что в выше упомянутой литературе рассматриваются различные перспективы в отношении И4.0, не хватает всестороннего рассмотрения влияния И4.0 как с технической, так и с управленческой точки зрения, а также целостного анализа различных процессов производства [12]. Таким образом, нами была предпринята попытка проанализировать применение технологий И4.0 в области производственных бизнес-процессов.

И4.0 открывает новые возможности, которые могут изменить традиционный подход производственных компаний. Благодаря растущему числу новых цифровых технологий, И4.0 имеет множество применений во всех основных процессах. Цифровые технологии могут по-разному влиять на различные процессы, есть технологии, которые могут оказывать сквозное воздействие на все процессы, в то время как другие могут быть сосредоточены исключительно на одном процессе. Внедрение цифровых технологий И4.0 производственными компаниями касается, прежде всего поддержания различных бизнес-процессов. В научной литературе исследуется роль технологий и их возможного применения в различных бизнес-процессах [13].

Несмотря на растущее количество статей в научной литературе, существует нехватка всеобъемлющего обзора того, как технологии И4.0 могут быть применены для поддержки производственных бизнес-процессов всего жизненного цикла. Очень часто вопрос применения инструментов И4.0 остается либо на абстрактном уровне, либо далеким от начальной концепции и практикам очень трудно понять, как

именно можно применить и внедрить те или иные технологии. Целью данного исследования является попытка дать производственным компаниям и управляющему звену возможность лучше понять и оценить наилучшие стратегические решения, которые необходимо внедрить, их возможные особенности, последствия и перспективы. Как и любое исследование, данное исследование имеет некоторые ограничения. Во-первых, не все технологии, которые потенциально могут считаться частью индустрии 4.0, были рассмотрены. Во-вторых, отсутствие статистических данных о том, какие технологии уже внедрены, количество предприятий, которые успешно применяют инструменты управления предприятиями. То же самое относится и к выбранным бизнес-процессам. Однако мы остановились на изучении наиболее популярных инструментов, используемых как в научной, так и в управленческой литературе.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методологическую основу исследования составляют:

- общенаучные методы: анализ, синтез, обобщение, системный и структурный метод;
- научно-исследовательские методы: формально-логический, описательный.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках «Стратегии цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их «цифровой зрелости» до 2024 г и на период до 2030 г» для технологического развития РФ намечены следующие задачи: ускорение внедрения цифровых технологий, создание высокопроизводительных экспортно-ориентированных секторов, развивающихся на основе современных технологий и обеспеченных высококвалифицированными кадрами. Одной из главных задач реализации данной Стратегии является модернизация управления производственными процессами [14].

По итогам реализации Стратегии, ожидаются следующие результаты:

- сокращение времени вынужденного простоя производственных мощностей промышленных предприятий на 45%;
- снижение сроков окупаемости инвестиций на 30%;
- повышение эффективности работы оборудования в 2 раза;
- электронный формат национальных стандартов, с возможностью использования в системах цифрового проектирования;
- сокращение сроков вывода высокотехно-

логичной продукции на рынок в 1,5 раза за счет проведения виртуальных испытаний;

- снижение затрат промышленных предприятий на разработку и вывод продукции на рынок в 2 раза, за счет технологий цифрового моделирования и виртуальных испытаний;

- сокращение на 40% затрат на обслуживание высокотехнологичной продукции;

- рост количества высокотехнологичных рабочих мест промышленных предприятий на 50%, использующих цифровые технологии.

Для достижения цифровой зрелости обрабатывающих отраслей промышленности в Стратегии рассматривается комплекс системно взаимосвязанных проектов цифровой трансформации. По итогам реализации ожидается повышение доли предприятий промышленности осуществляющих технологические инновации на 27%, а также за счет внедрения новых решений для управления загрузкой фондов повышение эффективности работы оборудования на 14,2% (рис. 1).

На сегодняшний день одними из актуальных проблем предприятий РФ являются: недостаточная координация функций между подразделениями, управление документооборотом, большие временные затраты на выполнение одних и тех же операций, а также нехватка высококвалифицированных кадров. Также особого внимания предприятий к управлению бизнес-процессам требует производительность. Ожидается, что в результате цифровой трансформации значительно повысится производительности труда. Решение таких проблем часто включается в перечень краткосрочных целей предприятия. Для этого составляются различные модели и схемы процессов, проводятся аудиты и анализируется их результативность.

В научной литературе представлены различные модели, перечисляющие типичные процес-

сы в компаниях [16]. Бизнес-процессы условно могут быть разделены на 3 категории:

- 1) основные: закупка сырья, производство товаров для конечного потребителя, логистика, продажи, маркетинг, постпродажное обслуживание.

- 2) вспомогательные: поддержка инфраструктуры организации (ТО и ремонт, охрана и безопасность, обеспечение ИТ и связи)

- 3) управленческие: управление компанией, обеспечение ее существования, конкурентоспособности и развития (управление качеством, бизнес-планирование, управление персоналом, управление рисками и т. д.) [17].

Управление и совершенствование бизнес-процессов требует особого внимания для обеспечения эффективной работы всего предприятия. Жизненный цикл управления бизнес-процессами состоит из: Идентификации, Проектирования/моделирования, Автоматизации, Исполнения, Мониторинга/контроля, Оптимизации и реинжиниринга.

Одна из основных концепции процессного подхода гласит, что вся деятельность организации рассматривается как совокупность процессов. Целью разработки процессного подхода стала необходимость создания горизонтальных отношений в организациях. В соответствии с одним из принципов процессного подхода организация состоит не из подразделений, а из процессов, что позволяет сосредоточиться на результатах всей организации, в отличие от функционального подхода. Управление бизнес-процессами – это набор навыков и методов, которые компании используют для изучения сквозных процессов и их совершенствования, что позволяет разрабатывать последовательные методы работы, моделировать, измерять работу, а также вносить необходимые изменения посредством мероприятий по оптимизации и



Рис. 1. Показатели результативности реализации стратегии [15]

автоматизации. Цель управления процессами заключается в интеграции всех процессов качества и бизнес-процессов, чтобы в полной мере реализовать задачи компании. И здесь очень важно следовать основным принципам управления, при внедрении на предприятиях:

Взаимосвязь процессов. Все процессы в организации взаимосвязаны;

Требование процесса. У каждого процесса должна быть цель, а его результаты должны быть востребованы.

Документирование процесса. Все действия процесса должны быть задокументированы, это позволит стандартизировать процесс, а в будущем помочь во внесении изменений и дальнейшего совершенствования процесса;

Управление технологическим процессом. Определение показателей, характеризующих процесс и его результаты.

Ответственность за процесс. Ответственность за процесс и его результаты несет один человек [18].

По данным Национального исследовательского университета Высшей школы экономики доля организаций, осуществляющих процессные инновации, по состоянию на 2021 г. составляет 62,3%. В применяемых организациями методы процессных инновации входят как новые, так и усовершенствованные (рис. 2).

Из наиболее часто используемых на практике инструментов процессного подхода можно выделить основные с помощью которых осуществляется совершенствовании бизнес-процессов: TQM - всеобщее управление качеством, BPM - управление бизнес-процессами, ERP - планирование ресурсов предприятия. Далее более подробно рассмотрим некоторые из инструментов, наиболее часто применяемых на практике, их цели, особенности, преимущества

и ограничения применений.

Всеобщее управление качеством (TQM): Модель, основанная на данных, которая фокусируется на улучшении внутренних процессов, чтобы поставлять товары и услуги, которые соответствуют или превосходят требованию клиентов. Это одновременно философия управления и набор руководящих принципов, основанных на непрерывном процессе совершенствования в интересах всех вовлеченных и заинтересованных сторон [20]. TQM требует одновременной реализации своих ключевых принципов во всех функциях организации с целью производства продуктов и услуг, которые будут соответствовать ожиданиям клиентов. TQM - философия, которая позволяет компаниям производить безупречные продукты и услуги на основе постоянного совершенствования в сочетании с системой оценки эффективности. TQM в бизнес-организациях позволяет достигать более высоких уровней производительности и прибыльности, а также повысить ценность для акционеров и заинтересованных сторон. Внедрение философии TQM способно укрепить конкурентные позиции компании, улучшить имидж на рынке и повысить ее адаптивность к изменяющимся или формирующимся рыночным условиям. В дополнение к вышесказанному, связь между TQM и безопасностью пищевых продуктов чрезвычайно важна для агропродовольственных компаний. TQM обеспечивает комплексный подход с участием всех сторон в агропродовольственной цепи, и это может помочь в эффективном внедрении систем безопасности пищевых продуктов.

В любой организации роль менеджмента качества заключается в улучшении предоставления качественной продукции и услуг своим клиентам. Чтобы достичь этого, каждый процесс развития качества должен быть улучшен

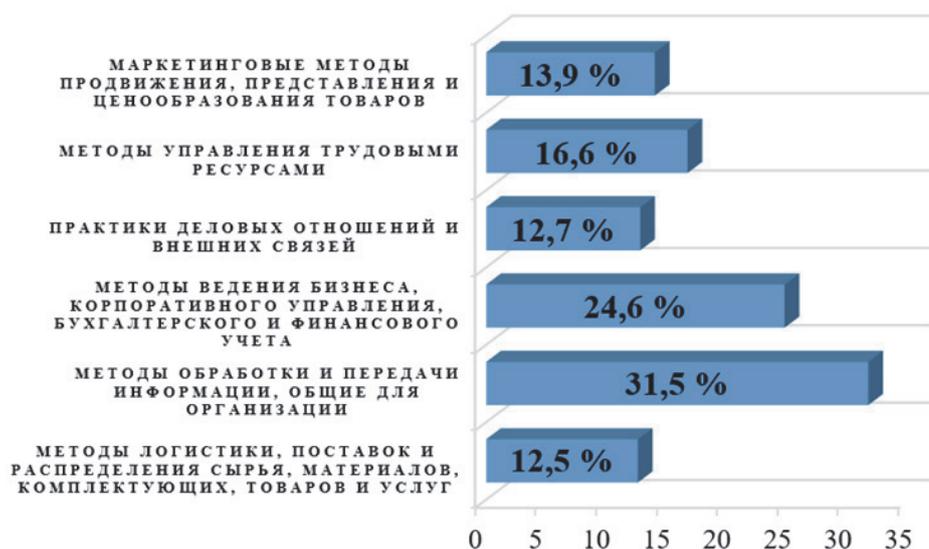


Рис. 2. Применяемые методы процессных инновации [19]

путем выявления дефектов или уменьшения вариаций. В TQM этому уделяется первостепенное внимание. Здесь каждый специалист работает над достижением общей цели организации. Всеобщее управление качеством способствует постоянному совершенствованию, поощряя всю организацию к принятию принципов управления качеством.

Одним из важнейших преимуществ всеобщего управления качеством является снижение общих затрат на процессы улучшения качества. Оно помогает в выявлении и снижении рисков. TQM также помогает в решении проблем до их возникновения и во время работы, повышает удовлетворенность клиентов, предоставляя продукцию и услуги, которые имеют низкую стоимость и соответствуют их ожиданиям. Каждый сотрудник чувствует, что вносит свой вклад в успех организации. Таким образом, можно говорить о том, что всеобщее управление качеством помогает в достижении целей организации путем повышения общей производительности организации [21].

В литературе [20] определяют следующие ключевые принципы TQM:

- а) Ориентация на клиента
- б) Обязательства руководства
- в) Постоянное совершенствование
- г) Расширение прав и возможностей сотрудников
- д) Принятие решений, основанных на фактах

Главной целью TQM, является улучшение эффективности работы всей организации. Большое внимание уделяется удовлетворению требований заказчика в отношении доставки, надежности, обслуживания и эффективности затрат. Для внедрения TQM можно использовать различные инструменты. Наиболее популярные инструменты TQM включают:

1) Статистический контроль процессов (SPC): инструмент для выявления и устранения проблем в процессе, включает в себя использование статистического анализа для выявления областей, которые нуждаются в улучшении;

2) Развертывание функций качества (QFD): используется для обеспечения удовлетворения потребностей клиентов, включает в себя составление схемы различных этапов процесса, а затем выявление потенциальных проблем и областей для улучшения;

3) Анализ режимов и последствий отказов (FMEA): используется для выявления потенциальных проблем до их возникновения, включает в себя определение вероятных отказов и проблем, из-за которых может произойти сбой, а затем принятие мер по предотвращению или смягчению последствий этих сбоев;

4) Всеобщее продуктивное обслуживание (TPM): используется для повышения надежности и производительности оборудования, включает в себя регулярный осмотр и обслуживание

оборудования для обеспечения его правильной работы;

5) «Шесть сигм»: этот инструмент используется для достижения практически идеального процесса. Предполагает использование статистических методов для выявления и устранения дефектов в процессе.

Всеобщее управление качеством - это важный подход, который может помочь предприятиям повысить качество своей продукции и услуг. Все большее число производственных организаций рассматривают TQM как интегрированный подход для решения проблем и улучшения процессов. Это означает, что TQM используется для повышения удовлетворенности внутренних и внешних потребителей, в то же время снижение затрат на качество. Однако важно помнить, что TQM не является быстрым решением и требует заинтересованности каждого сотрудника организации. Неоднозначный аспект TQM заключается в отсутствии четкой инфраструктуры для внедрения TQM в организации. При наличии необходимых ресурсов и планирования, предприятия могут успешно внедрить TQM и повысить качество своей деятельности [22].

Управление бизнес-процессами (BPM) - это метод проектирования, выполнения, анализа и постоянного улучшения процессов в организации с учетом поставленных целей. Например, цепочка процессов, может быть представлена в виде графического изображения процессов компании в наглядной форме, что поможет сформировать основу для профессионального управления бизнес-процессами. В настоящее время широко применяется единый язык моделирования для построения и изучения бизнес-процессов, поскольку он включает в анализ все области организации, от сотрудников до систем, клиентов, поставщиков и партнеров. Таким образом, с помощью BPM можно не только прозрачно отразить различные бизнес-процессы, но и определить их. Цель этой концепции - использовать всю информацию о процессах компании и увязать их с достижением бизнес-целей. При помощи информации о существующих процессах от начала и до конца, и о том, как они работают, можно оптимизировать и адаптировать их к потребностям клиентов и, как следствие, быстрее и эффективнее достигать бизнес-целей. Поскольку процессы и цели в компании постоянно меняются, управление бизнес-процессами следует рассматривать как непрерывную деятельность по совершенствованию процессов [23,24].

BPM обеспечивает постепенное улучшение бизнес-процессов, используя различные методологии, техники, и инструменты, чтобы гарантировать конкурентоспособность организации на рынке. Чтобы обеспечить изменения в функционировании и структуре организации,

модели бизнес-процессов должны постоянно развиваться и совершенствоваться, а также оптимально взаимодействовать с запросами клиентов. Слаженно протекающие процессы значительно повышают качество работы. Благодаря автоматизации процессов время цикла отдельных этапов процесса сокращается, а потребность в анализе и контроле сводится к минимуму, что ежедневно экономит компаниям драгоценное время [25].

Непрерывный мониторинг и визуализация рабочих процессов в режиме реального времени являются необходимым условием для последующей оптимизации. Полученные данные позволяют, например, сравнить целевые и фактические показатели, определить средние значения и выявить возможные отклонения. Все бизнес-процессы четко документированы в централизованном программном обеспечении управления, поэтому всегда понятно, как протекают процессы и кто над какой задачей работает в данный момент. Такая прозрачность сквозных процессов позволяет выявить потенциал оптимизации и автоматизации на ранней стадии и реализовать его на практике. Таким образом, процессы могут быть приведены в соответствие с запросами потребителей, а также целями организации, что позволит внести значительный вклад в развитие предприятия [26].

С помощью BPM можно реструктурировать и оцифровывать этапы процесса, ранее выполнявшиеся вручную и таким образом сократить количество задействованных работников. Это не только минимизирует сложность ландшафта процесса, но и приведёт к большей стабильности и прозрачности.

Предприятия, которые принимают вызовы цифрового перехода и воспринимают изменения как возможность, определяют курс на успешное будущее. Инновационное BPM-решение формирует фундаментальную основу для освоения компаниями своей бизнес-стратегии и трансформации. Существующие бизнес-процессы оптимизируются и, по возможности, автоматизируются, а новые бизнес-модели могут быть успешно созданы целостно в рамках межфункциональных процессов.

Планирование ресурсов предприятия (ERP) за последние несколько лет стало одним из самых востребованных инструментов в бизнесе. Система планирования ресурсов предприятия может выполнять основные и второстепенные функции в соответствии с потребностями конкретного предприятия. Она служит в качестве общей базы данных для оперативной, финансовой и других видов информации, которые необходимы для надлежащего функционирования предприятия [27,28].

Многие модули ERP были разработаны для того, чтобы облегчить определенные специфические бизнес-функции, которые используют предприятия для эффективного выполнения своих задач, повышения эффективности и поддержанию конкурентного преимущества. Вероятно, по этой причине в Европе растет уровень внедрения ERP-систем. В 2012 году уровень внедрения составил около 22%, увеличившись до 26% в 2013 году, 31% в 2014 году и 36% в 2015 году [29]. Доля организации в РФ, использующих ERP-системы по состоянию на 2021 г составляет 13,8% (рис. 3).

Сегодня современные ERP-системы все чаще используют преимущества новых интеллекту-

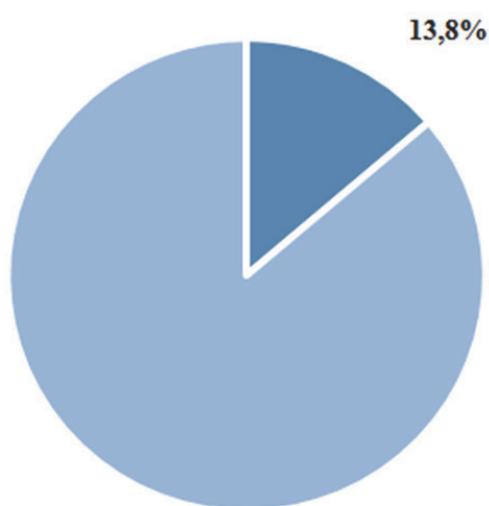


Рис. 3а). Доля организации в РФ, использующих ERP-системы

Источник: [30]

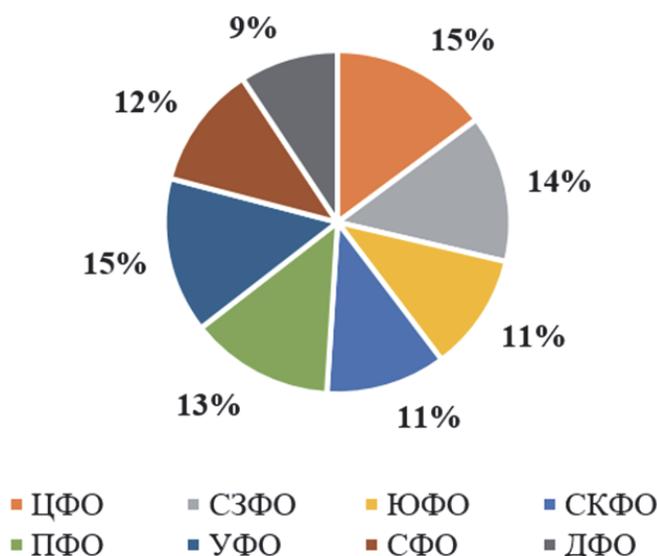


Рис. 3б). Доля организаций субъектов РФ, применяющих ERP-системы (2021 г.)

альных технологий: искусственный интеллект (AI), машинное обучение (ML), роботизированная автоматизация процессов (RPA), интернет вещей IoT, базы данных «in-memory» и пр. Они дают предприятиям возможность запускать еще более эффективные процессы, использовать актуальные сведения из транзакционных и неструктурированных данных и в конечном итоге оставаться конкурентоспособными в эпоху беспрецедентных изменений.

ERP система обеспечивает автоматизацию, интеграцию и интеллектуальность, которые являются необходимыми для эффективного выполнения всех бизнес-операций. Большинство или все данные организации должны находиться в ERP-системе, чтобы обеспечить единый источник информации для всего предприятия [31].

Хорошая ERP-система имеет множество преимуществ, которые могут варьироваться в зависимости от способа развертывания. Существует шесть основных преимуществ, которые применимы ко всем современным ERP-решениям:

- повышение производительности: оптимизация и автоматизация основных бизнес-процессов, помогающая каждому сотруднику организации делать больше, используя меньшее количество ресурсов;

- получение достоверной информации от единого источника, для быстрых откликов на критически важные вопросы;

- ускоренная отчетность: простой обмен данными, за счет которого возможно повышение эффективности работы в режиме реального времени;

- снижение рисков: прозрачность и контроль бизнеса, соответствие нормативным требованиям, а также прогнозирование и предотвращение рисков;

- упрощение использования ИТ: создание более удобного способ работы;

- повышенная гибкость: свободный доступ к данным в режиме реального времени для быстрого и эффективная выявления проблем и возможность реагирования [32].

Дополнительную выгоду от ERP добавляют модули системы. Каждый модуль разработан таким образом, что его можно внедрить отдельно. Благодаря этому предприятия могут пользоваться свободой выбора конкретных модулей, которые лучше всего подходят для работы организации и отказаться от остальных. Наиболее часто применяемые модули ERP:

1) Модуль финансов и бухгалтерского учета - основа большинства ERP-систем. Включает в себя ведение главной книги, автоматизацию основных финансовых задач, также помогает: в отслеживании кредиторской (AP) и дебиторской (AR) задолженности, в создании финансовых отчетов, соблюдение стандартов признания доходов и расходов, в снижении финансовые риски и др.

2) Управление человеческими ресурсами: включает в себя модуль управления персоналом (учет рабочего времени и посещаемости, расчет заработной платы). Дополнительные модули или целые комплексы управления человеческим капиталом могут дополнительно подключаться к ERP, что откроет более широкие возможности управления персоналом.

3) Сорсинг и закупки: модуль поиска поставщиков и закупок. Централизует и автоматизирует закупки (запросы котировок, создание контрактов, утверждение).

4) Продажи: модуль отслеживает коммуникации с потенциальными клиентами и покупателями, предоставляет данные, основанные на анализе, для увеличения продаж и привлечения потенциальных клиентов. Управление заказами, контрактами, выставление счетов, управление эффективностью продаж и поддержка продавцов.

5) Производство: ключевой компонент планирования и исполнения в ERP. Помогает компаниям упростить сложные производственные процессы и обеспечить соответствие производства спросу. Включает в себя функции планирования потребностей в материалах, планирование производства, выполнение производственных операций, управление качеством и др.

6) Логистика и управление цепочками поставок: отслеживание движения товара и материалов по всей цепочке поставок, управление запасами, складскими операциями, транспортировкой и логистикой в режиме реального времени.

7) Сервис: предоставляет надежное, персонализированное обслуживание, может включать инструменты для ремонта, запасные части, управление выездным обслуживанием и потоки доходов, основанные на обслуживании, а также предоставление аналитических данных, помогающих быстро решать проблемы клиентов и повышать их лояльность.

8) НИОКР и проектирование: Это эффективные инструменты для проектирования и разработки продукции, управления жизненным циклом продукции, обеспечения соответствия продукции.

9) Управление активами предприятия: помогает предприятиям минимизировать время простоя, поддержать максимальную эффективность работы машин и оборудования. Он также может включать в себя функциональность для предиктивного обслуживания, планирования, эксплуатации и планирования активов, охраны окружающей среды, здоровья и безопасности [33].

Несмотря на то, что лицензирование планирования ресурсов предприятия (ERP) является дорогостоящим процессом, и программное обеспечение имеет высокую стоимость внедрения и обслуживания, что подразумевает сложности, мы не можем игнорировать тот факт, что оно

может унифицировать затраты на ИТ и экономит время наряду с повышением эффективности. Самым большим преимуществом ERP является полная прозрачность, поскольку она делает данные каждого отдела предприятия видимыми, прозрачными и легко доступными. Еще одной важной функцией ERP является сокращение усилий и времени, которые приходится затрачивать работникам для выполнения ежедневных задач. Сокращая количество человеческих ошибок, ERP-система предоставляет сотрудникам больше времени для того, чтобы они могли сосредоточиться на других стратегических задачах. Таким образом, повышая эффективность, точного прогнозирования, повышения производительности, гибкости и мобильности, а также предоставляя интегрированную информацию, программное обеспечение ERP стало необходимостью для производителей чтобы выполнять свои задачи эффективно за минимальное время с максимальной производительностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усиление конкуренции заставляет бизнес искать новые инновационные подходы, внедрять новое оборудование и рабочие процессы, труд людей заменять работой компьютеров, управляемых машинами. Интеграция информационных технологий в управленческую работу способствует более тесной взаимосвязи компании и ее процессов с потребителем, способности менеджеров принимать быстрые и качественные решения, обеспечивать синхронизацию бизнес-процессов и тем самым снижать затраты и повышать эффективность, обеспечивать своевременное предоставление продуктов и услуг, которые будут представлять ценность для потребителя.

Выгоды от внедрения процессного управления в компаниях можно рассматривать с операционной, рыночной и стратегической точек зрения. Операционные и стратегические выгоды связаны с преимуществами для организации, которая решила посмотреть на свою деятельность с процедурной точки зрения и активно подойти к управлению процессами. В область рыночных выгод включаются положительные аспекты процессного управления со стороны клиента. Процессный подход к управлению становятся все более зрелым, появляются новые технологии, концепции, стандарты и решения. Последние тенденции в контексте развития процессного подхода к управлению, фокусируются на развитии процессных специалистов и создании высококвалифицированных процессных команд, уделяя больше внимания эффективности и инновациям. Новые технологии и концепции, такие как автоматизация, системная интеграция, автономная робототехника, цифровизация, Интер-

нет вещей, системы искусственного интеллекта, также внедряются в методы процессных подходов. Концепция процессной организации и процессного управления ставит в центр внимания интеграцию работы, чтобы принести ожидаемый синергетический эффект и тем самым поддерживать производительность и конкурентоспособность организации. Однако эта концепция также предъявляет новые требования к управленческой работе, владению философией процессов, четкой ориентации на клиента и управлению знаниями, поддерживаемому непрерывным обучением сотрудников на всех уровнях управления. Существуют различные методы, которые способствуют повышению эффективности процессов путем создания культуры и приводя к повышению производительности.

Изменения в ИТ и бизнес-процессах в результате цифровой трансформации постоянно предъявляют новые требования к управлению процессами. Целостные изменения как никогда важны для компаний, чтобы стабильно повышать эффективность, качество, достигать целевой стандартизации, максимальной эффективности и результативности бизнеса, стремясь к применению и внедрению инноваций и интегративных технологий. На сегодняшний день существует множество проблем, связанных с внедрением и использованием методов процессного подхода в организациях. Именно поэтому исследование и разработка новейших подходов, инструментов и моделей, повышающих эффективность предприятия, является актуальной задачей. Одним из главных требований, предъявляемых к внедряемым инструментам является то, что они должны быть более простыми, универсальными и легко использовать в любом виде деятельности.

В долгосрочной перспективе использование управления бизнес-процессами означает, что компании могут легче справляться с возрастающей сложностью процессов, быстрее вносить гибкие коррективы и предлагать клиентам улучшенные продукты и услуги на основе информации, основанной на данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Conquering the Challenge of Continuous Business Model Improvement / S. Benedikt, P. Ebel, C. Peters, E. Bittner, J. Leimeister // *Business & Information Systems Engineering*. 2019. 61 (4). 451-468.
2. Veza, I. Managing Innovative Production Network of Smart Factories // *IFAC PapersOnLine*. 2015. 48 (3). 555-560.
3. Kagermann, H. Change through Digitization-Value Creation in the Age of Industry 4.0 // *In Management of Permanent Change*, Wiesbaden: Springer Fachmedien. 2015. 23-45.
4. Exploring Industry 4.0 Technologies to Enable

- Circular Economy Practices in a Manufacturing Context / D. Mattos // J. of Manufacturing Technology Management. 2019. 30 (3). 607–627.
5. Amy J.C. A Review of Essential Standards and Patent Landscapes for the Internet of Things: A Key Enabler for Industry 4.0. // Adv. Eng. Informatics. 2017. 33 (10). 208-229.
 6. Chen T. Feasibility Evaluation and Optimization of a Smart Manufacturing System Based on 3D Printing: A Review // Int. J. of Intelligent Systems. 2017. 32 (4). 394-413.
 7. Xu L. Big Data for Cyber Physical Systems in Industry 4.0: A Survey // Enterprise Information Systems. 2019. 13 (2). 148-169.
 8. Buckholtz B. Cloud Manufacturing: Current Trends and Future Implementations // J. of Manufacturing Science and Engineering. 2015. 137 (4). 40902.
 9. IoT-Enabled Smart Appliances Under Industry 4.0: A Case Study / A. Shohin, X. Xu, Y. Lu, M. Aristizabal, J. Velásquez, B. Joa, Y. Valencia // Advanced Engineering Informatics. 2020. 43. 101043.
 10. A Business Model Framework to Characterize Digital Multisided Platforms / A. Marco, N. Saccani, F. Adrodegari, M. Perona. // J. of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. 6 (1). 10.
 11. F. Hajar A Critical Investigation of Industry 4.0 in Manufacturing Operationalisation Framework. // Production Planning & Control. 2018. 29 (8). 633-644.
 12. K. Dennis Towards a Lean Automation Interface for Workstations // Int. J. of Production Research. 2017. 55 (10). 2845-2856.
 13. P. Michela, Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review // Sustainability. 2018. 10 (10). 3821.
 14. Potential Role of Technology Innovation in Transformation of Sustainable Food Systems: A Review / N. Khan, R.L. Ray, H.S. Kassem, S. Hussain, S. Zhang, M. Khayyam, M. Ihtisham, S. Asongu // Agriculture. 2021. 11(10). 984.
 15. Обзор: Постановление Правительства РФ от 25 марта 2020 г. № 333 «О принятии Российской Федерацией поправки к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой» 31 марта 2020 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401415210/#1000> (дата обращения: 28.12.2022)
 16. Model-Based System Architecture. In Model-Based System Architecture / T. Weilkiens, J. Lamm, S. Roth, M. Walker // Wiley. 2015.
 17. Обзор: Эффективные отечественные практики на базе технологий искусственного интеллекта в обрабатывающей промышленности ноябрь 2022 г. URL: https://cdo2day.ru/wpcontent/uploads/2022/11/jeffektivnye_praktiki_na_baze_ii_v_obrabatyvajushhej_promyshlennosti.pdf
 18. Jasińska J. The Process approach to Manage changes in the Organization // J Hotel Bus Management. 2019. 8.193.
 19. Власова, В.В. Наука. Технологии. Инновации: 2023: краткий статистический сборник / В.В. Власова, Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 102 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-7598-2742-9 (в обл.).
 20. Total quality management (2nd ed.) / P. Charantimath // Delhi: Pearson. 2011. 272.
 21. L. Kaouthar TQM and Six Sigma: A Literature Review of Similarities, Dissimilarities and Criticisms. // J. of Management and Economic Studies. 2020. 2(4). 198-226.
 22. Quality management framework for the SME's food processing industry in Malaysia / Talib H., Ali K., Idris F. // International Food Research Journal. 2013. 20(1). 147-164.
 23. Sotirelis P. Total Quality Management and Innovation: Linkages and Evidence from the Agro-food Industry // J. Knowl. Econ. 2021. 12. 1553-1573.
 24. The Role of Industry 4.0 and BPMN in the Arise of Condition-Based and Predictive Maintenance: A Case Study in the Automotive Industry / J. Fernandes, J. Reis, N. Melão, L. Teixeira, M. Amorim, // Appl. Sci. 2021. 11. 3438.
 25. Ayeche H., Extension of the BPM lifecycle to promote the maintainability of BPMN models // Procedia Computer Science. 2021. 181. 852-860.
 26. Kahloun F. Improvement of Quality for Business Process Modeling Driven by Guidelines // Procedia Computer Science. 2018. 126. 39-48.
 27. Madanhire I. Enterprise resource planning (ERP) in improving operational efficiency: case study // Procedia CIRP 2016. 40. 225-229.
 28. Belfo F., Faria H. Quadrante estratégico para empresas implementadoras de sistemas ERP de código aberto – Casos de implementadores de Odoos em Portugal // in Proceedings da CAPSI'2019, 19.a Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação, 2019. P. 1-20.
 29. Estebanez R. P., Trigo A., Belfo F. ERP systems adoption evolution in Iberian companies during the global financial and economic crisis and recession (2007–2014) // in 2016 2nd International Conference on Information Management (ICIM). 2016. P. 116-120.
 30. Абдрахманова, Г.И. Индикаторы цифровой экономики: 2022: статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, С.А. Васильковский, К. О. Вишнеvский, Л. М. Гохберг [и др.]. – М.: НИУ ВШЭ, 2023. 332 с.
 31. Rahul K. ERP Module Functionalities for the Food Supply Chain Industries // Lecture Notes in Networks and Systems, Springer. 2022. 213. 595-606.
 32. Shirazi B. Towards a sustainable interoperability in food industry small & medium networked enterprises: Distributed service-oriented enterprise resources planning // J. Clean. Prod. 2018. 181. 109-122.
 33. Amado A. Maintenance and Support Model within the ERP Systems Lifecycle: Action Research in an Implementer Company // Procedia Computer Science. 2021. 181. 580-588.

FEATURES IMPLEMENTATION THE PROCESS APPROACH IN ENTERPRISE MANAGEMENT IN THE INDUSTRY 4.0 CONTEXT

© 2023 A. I. Shinkevich, M. V. Zimina

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Industry 4.0 technologies directly related to the concept of sustainable development, which opens up new opportunities and can contribute to changing the traditional approach of manufacturing companies. Currently, the food system is undergoing widespread changes in business models, which also facilitated by the digital technologies use. A growing number of new digital technologies successfully applied in all major processes. Digital technologies can affect different processes in different ways, some may have a cross-cutting impact on all processes, while others may focus exclusively on one process. The introduction of digital technologies of Industry 4.0 by manufacturing companies primarily concerns the maintenance of various business processes. The article discusses the technologies used in the framework of the process approach of enterprise management in the context of Industry 4.0. The models of the process approach, their features, characteristics and functionality used to improve efficiency and achieve the desired results are considered. It shown that by integrating the methods of the process approach and Industry 4.0 technologies, enterprises can achieve the desired results, as well as the features of their implementation. The need for further scientific development of tools that increase the efficiency of enterprise management and business processes themselves justified.

Keywords: Industry 4.0, digital transformation, automation, ERP systems, organization management, business process.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-51-60

EDN: DUMGWT

REFERENCES

15. Obzor: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25 marta 2020 g. № 333 «O prinyatii Rossijskoj Federaciej popravki k Monreal'skomu protokolu po veshchestvam, razrushayushchim ozonovyj sloj» 31 marta 2020 g. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401415210/#1000> (data obrashcheniya: 28.12.2022)
17. Obzor: Effektivnye otechestvennye praktiki na baze tekhnologij iskusstvennogo intellekta v obrabatyvayushchej promyshlennosti noyabr' 2022 g. URL: https://cdo2day.ru/wpcontent/uploads/2022/11/jeffektivnye_praktiki_na_baze_ii_v_obrabatyvayushhej_promyshlennosti.pdf (data obrashcheniya 12.02.2023).
19. Vlasova, V.V. Nauka. Tekhnologii. Innovacii: 2023: kratkij statisticheskij sbornik / V.V. Vlasova, L.M. Gohberg, K.A. Ditkovskij i dr. – M.: NIU VSHE, 2023. – 102 s. – 300 ekz. – ISBN 978-5-7598-2742-9 (v obl.).
30. Abdrahmanova, G.I. Indikatory cifrovoj ekonomiki: 2022: statisticheskij sbornik / G.I. Abdrahmanova, S.A. Vasil'kovskij, K. O. Vishnevskij, L. M. Gohberg [i dr.]. – M.: NIU VSHE, 2023. – 332 s.

*Aleksey Shinkevich, Doctor of Engineering, Professor of the
Logistics and Management Department.*

E-mail: ashinkevich@mail.ru

*Marina Zimina, Assistant of the Logistics and Management
Department. E-mail: Marina-ls@list.ru*

АНАЛИЗ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМИ К ПРОДУКЦИИ И КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

© 2023 Е.С. Лесик

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 11.04.2023

Статья посвящена вопросам управления требованиями к продукции и качеством продукции аэрокосмической отрасли. Показана актуальность темы управления требованиями и качеством продукции. Обоснована необходимость разработки модели, содержащей формализованный процесс управления требованиями с внедренными процедурами управления качеством. Целью проводимого исследования является выделение свойств задач управления требованиями к продукции и управления качеством продукции и установление соотношения между ними. Задачи управления требованиями к продукции рассмотрены на примере проектирования изделия, как ключевого этапа формирования требований к изготавливаемой продукции. В основе анализа задач управления качеством продукции лежит процесс контроля качества изготавливаемых изделий, как процесс установления соответствия фактических значений параметров, описывающих продукцию, требованиям, предъявляемым к этой продукции. В статье представлена структура и свойства задач систем управления требованиями к продукции и управления качеством продукции на основе тандемной модели, также приведены правила взаимодействия элементов модели и установлено место задач систем управления качеством в решении задач системы управления требованиями. Рассмотрена специфика ключевых задач каждой из систем. Показано соотношение задач управления качеством и управления требованиями к продукции с использованием аппарата тандемных моделей. Предложенная в данной статье модель представления системы управления требованиями и системы управления качеством продукции предлагает установление границ между процессами данных систем. Использование аппарата тандемных моделей позволяет гарантировать соблюдение всех требований, формируемых в процессе функционирования систем управления качеством и управления требованиями. Полученные результаты могут использоваться для дальнейшей формализации процессов управления качеством с целью формирования методологии построения цифровой системы управления качеством продукции в аэрокосмической отрасли.

Ключевые слова: управление качеством, управление требованиями, декомпозиция требований, тандемная модель.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-61-71

EDN: DYAAZX

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема управления требованиями является особо актуальной при создании современных систем проектирования многодетальных изделий сложной архитектуры, например, аэрокосмической техники [1-4]. Связано это, в первую очередь, с многоуровневым характером процесса проектирования, где система управления требованиями должна обеспечить корректную трансформацию требований заказчика к изделию в множество согласованных требований к десяткам тысяч деталей и сборочных единиц.

Большая часть известных исследований в области управления требованиями касается разработки качественных требований или требований к качеству продукции (системе) [5-11]. Не зависимо от отрасли или вида продукции,

именно от четко сформулированных, понятных и согласованных с заказчиком исходных требований к продукту, зависит степень соответствия итоговой продукции ожиданиям заказчика, а следовательно, и степень его удовлетворенности. Популярность данной темы в сфере информационных технологий обусловлена тем, что недостатки требований являются основным источником неудач проекта, и что более 40% проблем в цикле разработки программного обеспечения являются результатом низких требований к качеству [6].

Отсюда становится очевидной необходимость наличия на этапе проектирования не просто регламентированного процесса управления требованиями, но и его интеграции с процессами управления качеством. Одним из примеров такой интеграции может служить модель VMF, предложенная в работе [12], посвященной робастному проектированию. Данная модель VMF использует концепцию функции потери качества и передаточной функции для

Лесик Екатерина Сергеевна, ассистент кафедры «Прикладная информатика» (609).
E-mail: l_emailbox@mail.ru

представления изменений в трех областях: квадрант восприятия продукта (Product Perception Quadrant), квадрант инженерного проектирования (Engineering Design Quadrant), квадрант производства (Production Quadrant). VMF позволяет объяснить и визуализировать, как вариации передаются от одной области к другой и какие стратегические уровни доступны менеджерам проектов в отношении улучшения качества продукции. Одним из основных недостатков такой модели является ее плоская структура – одномерность модели, т.е. нет отображения зависимости совокупности различных требований друг на друга, например, влияния нескольких параметров проектирования на множество функциональных требований, что для рассмотрения вопросов детализации конструктивных требований к продукции аэрокосмической отрасли является критичным.

Еще одним примером интеграции процессов управления качеством и требованиями можно считать методологию APQP (Advanced Product Quality Planning) [13-15]. Так стандарт аэрокосмической отрасли AS9145 устанавливает требования к процессу разработки продукта посредством использования методологии APQP, включающей такие методы управления качеством как PPAP (Production Part Approval Process) и FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) [16-18]. Несмотря на то, что стандарты AS9145 [16], AS9100D [19] устанавливают требования к выполнению и документированию различных процессов предприятия, позволяя внедрить процедуры управления качеством уже на этапе разработки продукции, они не содержат описания непосредственно процессов управления требованиями.

В целом на основании рассмотренных исследований [5-12, 17, 18] можно сделать вывод, что на сегодняшний день отсутствует модель, содержащая формализованный процесс управления требованиями с внедренными процедурами управления качеством, и которую можно было наложить на аэрокосмическую отрасль без существенных изменений. В данной статье описывается первый шаг создания такой модели, а именно приводится формализация задачи управления качеством и требованиями к продукции аэрокосмической отрасли и на основании полученных свойств выводится их соотношение. Задачи указанных областей рассматриваются с точки зрения системного анализа, по причине высокой неопределенности [4], свойственной стадии проектирования аэрокосмической продукции, особенно на ее начальных этапах. За основу взята «тандемная модель» представления многоуровневой системы [20].

Данная работа может рассматриваться как часть более общего исследования по форми-

рованию методологии построения цифровой системы управления качеством в аэрокосмической отрасли с использованием модели, в основе которой лежат стандарты. Формализация процессов управления качеством является одним из первых этапов в решении поставленной задачи. Целью данного исследования является выделение соотношения между задачами управления требованиями к продукции и качеством продукции аэрокосмической отрасли. Результаты, полученные в рамках проводимого исследования и представленные в данной статье, являются частью процесса формализации рассматриваемых процессов.

Данная статья имеет следующую структуру: в разделе 2 приводится описание методов и общих теоретических положений, лежащих в основе проведенного исследования; в разделе 3 приводится таблица, содержащая полученные результаты анализа систем управления требованиями к продукции и качеством продукции на основании 16 выявленных факторов; раздел 4 содержит общее заключение по проделанной работе и интерпретацию полученных результатов исследования; в разделе 5 подведены итоги исследования.

2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Тандемная модель представления задач управления требованиями к продукции

В проводимом исследовании в основе представления задачи управления требованиями к продукции лежит тандемная модель, одно из отличительных свойств которой заключается в том, что «модели более высоких уровней могут корректироваться по результатам вычислений на нижележащих моделях» [20]. Рассмотрим процесс проектирования изделия как итеративный процесс формирования требований к изделию. Предположим, что продукция описывается некоторым вектором ее фактических значений u , тогда процесс проектирования заключается в вычислении этих значений. Однако размерность вектора u , определяющего сложные технические изделия, может достигать порядка 10^4 - 10^8 степени [1], что делает невозможным вычисление значений вектора за одну итерацию. В результате, процесс проектирования требований к изделиям сводится к членению всего процесса на множество частных проектно-конструкторских задач меньшей размерности с последующим согласованием получаемых результатов.

Назовем каждый уровень детализации системой S_i^j , где $i = 0, 1, \dots, N^i$ – уровень детализации, N^i – общее количество уровней детализации задачи, $j = 0, 1, \dots, N^j$ – индекс задачи одного

уровня, N – количество параллельно решаемых задач одного уровня. При этом 0-й уровень (S_0^0) – это постановка и решение задачи формирования требований к изделию. Тогда исходные требования к изделию назовем вектором x_0^0 , а решение исходной задачи – y_0^0 , которое представляет собой утвержденную конструкцию и технологию изготовления изделия, или иначе, утвержденные требования ко всей технологической системе, производящей проектируемое изделие. Здесь и далее под технологической системой будет пониматься совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства (материал, заготовка, полуфабрикат и изделие) и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций [21].

При делении исходной задачи на подсистемы S_i^j существует два вида членения: вертикальное и горизонтальное. При вертикальном членении процесс проектирования рассматривается как процесс последовательной детализации проектируемого изделия. Так вначале вектор y_0^0 представляет собой набор принципиальных, наиболее существенных для проекта решений, определяющих проектируемое изделие в общих чертах. Затем принятое решение y_0^0 «спускается» на следующий уровень детализации. При этом необходимо отметить, что на каждом уровне проектирования окончательное решение принимается в условиях выбора из различных вариантов допустимых решений наиболее рационального из них. Иными словами, при решении каждой из задач может возникнуть несколько альтернативных решений, каждое из которых удовлетворяет входным требованиям, однако в дальнейшем детализации подлежит только одно решение, принятое на данном этапе за наиболее рациональное решение. Не исключена ситуация, когда решения, принятые ранее на одном из уровней проектирования, на последующих уровнях детализации оказываются нерациональными или вовсе нереализуемыми. В этом случае осуществляется возврат процесса проектирования в целях пересмотра принятого ранее решения. Это демонстрирует наличие связей между проектными решениями как «сверху-вниз», так и «снизу-вверх». Решения, «спускаемые вниз» являются директивными, однако с каждым уровнем детализации данные решения подвергается анализу с учетом принимаемых решений на нижестоящих уровнях. Как следствие, решения, принятые ранее на вышестоящих уровнях, могут быть пересмотрены. Таким образом, процесс проектирования требований к изделию приобретает итеративный характер.

Горизонтальный вид членения задач обусловлен лавинообразно возрастающим коли-

чеством этих проектно-конструкторских задач, размерность которых увеличивается с каждым уровнем проектирования. В целях сокращения сроков проектирования и уменьшения размерности для каждой из задач одного уровня осуществляется распараллеливание работ по проектированию. Задачи, допускающие получение законченного решения без необходимости дополнительного членения, назовем операциями. Следовательно, можно считать, что операции, являясь нижним уровнем детализации, функционируют автономно. Решения, получаемые такими элементами системы, не требуют дополнительного уточнения используемой информации от элементов других уровней системы. Однако именно по причине автономного функционирования, могут возникать ситуации, когда решения, например, y_i^1 и y_i^2 двух систем S_i^1 и S_i^2 полностью удовлетворяют полученным директивным требованиям x_i^1 и x_i^2 от родительской системы S_{i-1}^1 , однако либо они противоречат друг другу, либо в совокупности не удовлетворяют исходным требованиям x_{i-1}^1 к решению вышестоящей системы. Отсюда следует, что среди задач, решаемых родительской системой S_i^j , присутствуют:

1. Формирование требований x_{i+1}^j к решению дочерних элементов системы i -го уровня на основании принятого решения y_i^j .
2. Анализ решений y_{i+1}^j , полученных ближайшими дочерними элементами, на отсутствие противоречивости между собой и соответствие требованиям x_i^j .

При обнаружении противоречий между решениями y_{i+1}^j инициируется процесс согласования их решений и корректировки их требований x_{i+1}^j . Если элементы не могут самостоятельно прийти к компромиссу, то директивное решение по ужесточению требований x_{i+1}^j принимается родительским узлом. В случаях, если решения y_{i+1}^j не удовлетворяют требованиям x_i^j , то, вероятно, требования x_{i+1}^j были сформированы неверно, и в результате, выявляется необходимость их корректировки или изменения всего решения y_i^j . Аналогичные процедуры по изменению требований x_{i+1}^j или изменению решения y_i^j выполняются в случае, если «спущенные» требования x_{i+1}^j не могут быть выполнены, т.е. решений y_{i+1}^j не существует.

Таким образом, мы получили, что процесс проектирования как решение задачи управления требованиями можно представить в виде системы взаимосвязанных действий, имеющей древовидную структуру (рис. 1). Каждый элемент системы является также системой дей-

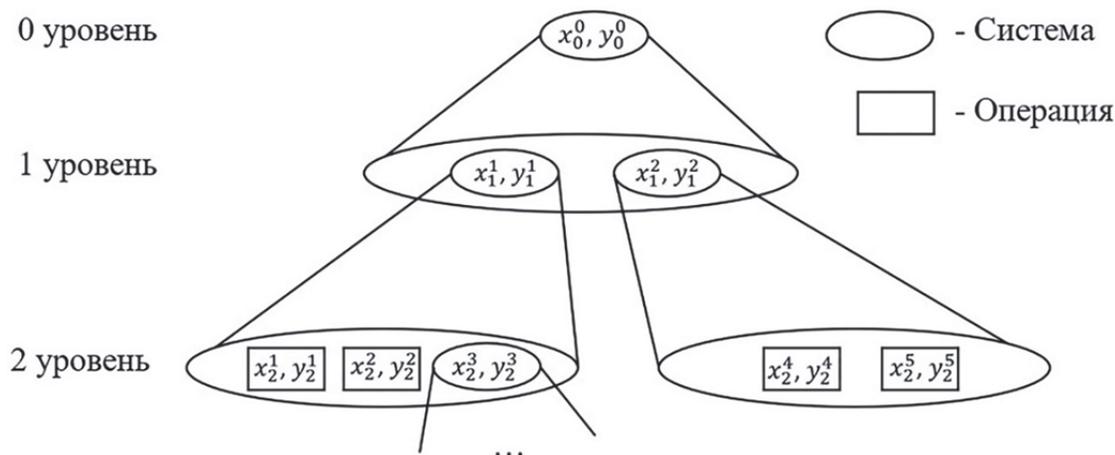


Рис. 1. Декомпозиция задачи формирования требований

ствий или элементарным действием, операцией. Взаимодействие между элементами системы может осуществляться как вертикально, так и горизонтально. На вход каждому уровню системы подается набор требований к результату его выполнения, обозначенный в данной статье как набор требований x_i^j . На выходе элемента будет некий результат его функционирования, описываемый набором фактических значений его параметров y_i^j . Далее для обозначения результата функционирования элемента используется термин «продукция». Ранее уже было сказано, что решения y_i^j , принимаемые на верхних уровнях детализации, формируют требования x_{i+1}^j к нижестоящим уровням. Очевидно, что для вычисления y_i^j на основании x_i^j элементу необходимо наличие некоего правила R , позволяющее получить требуемый результат. Оценка соответствия полученной продукции y_i^j заявленным требованиям x_i^j осуществляется посредством в общем случае булевого правила V , результатом которого является решение: «соответствует» или «не соответствует». Правила V и R различны, так как R – это, как правило, сложная математическая модель, учитывающая детализированные результаты нижестоящих элементов, т.е. размерность данного правила огромна и увеличивается по мере продвижения «вниз» по структуре формирования требований, и результатом R будут значения вектора y_i^j , в то время как правило V может быть простым сравнением: попадает ли полученное значение параметра вектора y_i^j в требуемый диапазон соответствующего параметра вектора x_i^j или соответствует ли конкретному значению. Необходимо отметить, что при проектировании изделия правила R и V можно назвать прогнозными, так как правило R изначально является «грубой» моделью, и последо-

вательно уточняется благодаря использованию решений нижестоящих узлов, которые до достижения максимального уровня детализации также являются неточными моделями и вычисляют значения своего вектора y_i^j приблизительно. Аналогично, правило V является прогнозным, т.к. решения, к которым применяется данное правило, являются приближенными, сформированными на прогнозных данных, часто имеющими не конкретные значения параметров, а интервалы значений. С каждым новым уровнем детализации границы таких интервалов сужаются, и в конце концов при достижении максимально возможного уровня детализации интервалы преобразуются в конкретные значения параметров, к которым можно применить правило оценки, дающее точный, гарантированный результат.

2.2. Тандемная модель представления задач управления качеством продукции

Получив общее представление о модели управления требованиями, можно приступить к рассмотрению процессов управления качеством, а именно процессов контроля качества изделий. В данном случае качество конечной продукции формируется на основании качества всех ее комплектующих, сборок, деталей и т.д., а значит, информация о качестве продукции собирается «снизу-вверх», от закупаемых материалов, комплектующих изделий к подборкам, сборкам и т.д. вплоть до поставляемого конечного изделия. Т.е. процессы контроля качества базируются на спецификации изготавливаемого изделия и могут быть представлены в виде, имеющем древовидную структуру. При этом правила проведения контроля качества (данное правило аналогично обозначенному ранее правилу R) и правила оценки полученных результатов (данное правило аналогично обозначен-

ному ранее правилу V) заранее известны – они прописаны в регламентах работы сотрудников, конструкторско-технологической документации, инструкциях и иной регламентирующей документации. В результате, можно сказать, что в отличие от процесса проектирования требований, где большинство решений принимается в условиях неопределенности с использованием приближенных значений показателей, в контроле качества решения принимаются исходя из измеренных значений параметров продукции, или иначе, фактических значений параметров.

Набор требований к ресурсам и продукции системы контроля качества регламентируется соответствующим документом (внутренним стандартом организации или внешним) и изменениям в ходе проведения процедур по контролю качества не подлежит. Данные требования устанавливаются по завершении стадии проектирования новой продукции на этапе ее освоения при успешном прохождении приемочных испытаний в единичном производстве и квалификационных испытаний в серийном производстве [22]. Указанные испытания подтверждают верность ранее утвержденного в документации технологического процесса и возможность предприятия изготавливать заказанную продукцию в нужном объеме и требуемого качества, то есть продукцию, отвечающую всем установленным для нее требованиям.

В результате, если наложить систему контроля качества на ранее приведенную модель системы, то окажется, что аналогично управлению требованиями для элемента системы определены параметры, устанавливающие набор входных требований x_i^j к продукции элемента системы, и параметры y_i^j , описывающие фактическое состояние полученной продукции. При этом для элемента системы установлено булево правило оценки V значений y_i^j требованиям x_i^j .

Исходя из приведенного описания систем управления требованиями и контроля качества к изделиям, можно уже сказать, что явные отличия между указанными системами заключаются в направлении реализации процесса и степени достоверности информации, на основании которой строится решение элемента системы. Так функционирование системы управления требованиями осуществляется «сверху-вниз», в то время как информация о качестве продукции собирается «снизу-вверх». При этом управление требованиями до достижения максимального уровня детализации использует приближенные данные о продукции, полученные на «грубых» моделях расчета, а значит, правило V установления соответствия расчетных параметров продукции требованиям к ним не может дать гарантированный результат, так как значение

этих параметров может измениться в процессе функционирования системы. В то же время система контроля качества основана на фактических данных, не подлежащих изменению, и как следствие, правило V дает гарантированный результат.

Другие явные отличия функционирования систем выявляются при возникновении несоответствий требованиям параметров продукции. В общем случае несоответствие на производстве может возникнуть всего по двум причинам: несоблюдение технологии изготовления или же сама технология неверна. Поиск точной причины несоответствия относится к процессам управления качеством. Несоблюдение технологии изготовления влечет принятие управленческих решений по коррекции ситуации, а именно выработке и контролю исполнения действий, которые исправят выявленное несоответствие (коррекция), и действий, устраняющих причину несоответствия (корректирующих мероприятий). Приведенные процессы управления качеством могут рассматриваться с точки зрения системы взаимосвязанных действий, где результат одного действия – продукция, формирует требования к результату другого действия. Так причина несоответствия представляет собой требование на устранение этой причины, а запланированное мероприятие является требованием к выполнению конкретных действий в конкретные сроки конкретными исполнителями.

Здесь необходимо более подробно остановиться на таких процессах, как выработка и контроль исполнения коррекций, корректирующих и предупреждающих действий (далее КиПД), где предупреждающие действия – это действия, предпринимаемые для устранения причины потенциального несоответствия или другой потенциально нежелательной ситуации [23]. Если несоответствие предотвратить не удалось, то все решения о том, что делать далее с выявленным несоответствием принимаются специальной комиссией, в которую входят «представители подразделений, компетентных в определении причин несоответствий» [24], как правило, в такую комиссию входят: представитель ОГК (отдела главного конструктора), представитель ОТГ (отдела главного технолога), представитель ОТК (отдела технического контроля), начальник или мастер цеха, в котором обнаружили несоответствие и/или в котором данное несоответствие возникло. В зависимости от уровня несоответствия данная комиссия выявляет причину несоответствия и подразделение-виновника в возникновении несоответствия, выдает задание данному подразделению на выработку КиПД, назначает ответственных за контроль исполнения назначенных мероприятий [24]. В случаях несоответствия продукции данная комиссия

может самостоятельно принять решение о возможности и необходимости исправления несоответствующей продукции, решение о приемке несоответствующей продукции с выпуском специального разрешения или решение о признании продукции браком и ее утилизации.

Таким образом, комиссия или самостоятельно вырабатывает решение по мероприятиям с несоответствием и ее причиной, или же поручает выработку мероприятий другому подразделению, однако итоговый перечень мероприятий должен пройти процедуру согласования с данной комиссией.

Что касается процессов непрерывного совершенствования процессов предприятия, которые могут касаться как технологических процессов изготовления, процессов хранения и т.д., так и процедур документооборота на предприятии, то принятие решение о необходимости внесения изменения или оценке внедрения изменений принимает руководство предприятия или же заинтересованная сторона на уровне руководителя структурного подразделения. Далее это решение постепенно прорабатывается: оценивается влияние принимаемого решения на итоговую стоимость продукции, оценивается стоимость закупки нового необходимого оборудования, внесения изменений в регламенты предприятия, переобучения персонала, отправки персонала на дополнительные курсы повышения квалификации, стоимость и сроки переоборудования цеха и т.д.

Все вышеописанные мероприятия подвергаются контролю и оценке результативности, и в случае, если принятые меры не исправили ситуацию: не было устранено несоответствие, причина оказалась установлена неверно, улучшений процесса не произошло и т.п., то процесс по выработке КиПД инициируется повторно [25]: собирается комиссия, еще раз устанавливается причина несоответствия, вырабатывается новый перечень мероприятий и т.д.

В результате, можно сделать вывод, что все решения (выработка мероприятий, оценка результативности и т.п.) и требования к ним принимаются в рамках процессов предприятия, не являются внешними по отношению к системе, а следовательно, указанные процессы планирования и обеспечения качества осуществляется аналогично процессам управления требованиями.

В тех случаях, когда причиной несоответствия является неверная технология изготовления или же в процессе эксплуатации изделия выявляется необходимость в значительном изменении технологического процесса, то такие изменения проходят определенную на предприятии процедуру, завершающуюся проведением типовых испытаний, задачей которых является «оценка эффективности и целесообразности

предлагаемых изменений в конструкции или технологии изготовления» [26]. Если же изменение незначительно, то по согласованию с заказчиком и изготовителем допускается не проводить испытания, а вносить корректировки в документацию с выпуском соответствующего извещения об изменении. Иными словами, при необходимости внесения изменений в конструкторско-технологическую документацию происходит возврат к процессу проектирования изделия, функционирование которого осуществляется в соответствии с описанным ранее итерационным подходом.

Подводя итог, можно сказать, что процессы управления качеством оперируют фактически теми же данными продукции. Процессы управления требованиями (за исключением операций, как самого нижнего уровня детализации) оперируют прогнозной информацией, при этом с каждым новым уровнем детализации степень неопределенности при принятии решения сокращается. В результате можно считать, что самый нижний уровень детализации – операции управления требованиями – есть ни что иное как операции контроля качества. А следовательно, можно сделать вывод, что управление требованиями – это многократно повторяющиеся отдельные процедуры управления качеством.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМИ К ПРОДУКЦИИ И КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

В текущем разделе приводятся соотношения между такими областями как управление требованиями и управление качеством изделий с учетом вышеописанных положений. При этом для наглядности управление качеством было разделено на две основные подобласти: процессы контроля качества и процессы планирования и обеспечения качества. К последней области также относятся процессы, связанные с управлением несоответствиями и улучшением качества.

Полученные результаты анализа систем управления требованиями к продукции и качеством продукции представлены в виде таблицы ниже (табл. 1).

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исходя из результатов проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что управление требованиями имеет существенные различия с такими процессами управления качеством, как процессы контроля качества, однако идентичны с такими процессами, как планирование и обеспечение качества. То есть можно сделать допущение, что процессы планирования и обеспечения качества и процессы управления тре-

Таблица 1. Соотношение между задачами управления требованиями к продукции и качеством продукции

№	Особенность	Управление требованиями	Управление качеством	
			Контроль качества	Планирование и обеспечение качества
1	Направление процессов	«Сверху-вниз»	«Снизу-вверх»	«Сверху-вниз»
2	Характер процессов	Итеративный	Поступательный	Итеративный
3	Условия неопределенности при принятии решений y_i^j	Присутствуют	Отсутствуют	Присутствуют
4	Правила расчета y_i^j (R)	Не фиксированы, уточняются в процессе функционирования системы	Фиксированы, являются внешними по отношению к системе	Не фиксированы, уточняются в процессе функционирования системы
5	Правила оценки соответствия y_i^j и x_i^j (V)	В общем случае фиксированы, определяются единожды в процессе функционирования системы	Фиксированы, являются внешними по отношению к системе	В общем случае фиксированы, определяются единожды в процессе функционирования системы
6	Фиксированность y_i^j	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
7	Фиксированность x_i^j	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
8	Варианты решений y_i^j	Присутствуют	Отсутствуют	Присутствуют
9	Характер решения y_i^j	Прогнозные данные	Фактические данные	Прогнозные данные
10	Автономность процедур вычисления y_i^j	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
11	Процедура формирования требований x_{i+1}^j	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
12	Получение обратной связи y_{i+1}^j	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
13	Оценка y_{i+1}^j (удовлетворение x_i^j , выявление противоречий между y_{i+1}^j)	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
14	Процедура согласования y_{i+1}^j	Присутствует	Отсутствует	Присутствует

№	Особенность	Управление требованиями	Управление качеством	
			Контроль качества	Планирование и обеспечение качества
15	Зависимость y_0^0 от y_i^j	Присутствует	Присутствует	Присутствует
16	Обязательность реализации всех требований x_i^j	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует

бованиями имеют общую структуру. Учитывая итеративный характер процесса управления требованиями, где на нижнем уровне детализации используются строгие правила расчета и установления соответствия результатов исходным требованиям, т.е. выполняются процедуры аналогичные процедурам контроля качества, можно убедиться, что управление требованиями – это многократно повторяющиеся процедуры контроля качества.

Данное утверждение не противоречит результатам исследования [10], где указывается важность применения цикла PDCA в измерении качества в требованиях. Существует ряд других работ, предлагающих некоторое соотношение систем управления качеством и управления требованиями, однако, как правило, предлагаемые критерии сравнения носят либо не формальный характер, либо рассматривают качество как свойство требований, но не рассматривают непосредственно процессы данных областей. Так в статье [28] связь между управлением требованиями и управлением качеством устанавливается через выполнение требований к документированию процессов, норм и правил в соответствии с принципами системы менеджмента качества, однако принципы носят субъективную оценку исполнения, например, принцип удобства и реалистичности документации для пользователей. Графовая модель, предложенная в [11], представления требований к программным средствам, аналогично [5], рассматривает требования как объекты спецификации, характеризующихся критериями качества. Предложенная в данной статье модель представления системы управления требованиями и системы управления качеством продукции предлагает установление границ между процессами данных систем.

5. ВЫВОДЫ

Основным результатом исследования является определение свойств представленных моделей систем управления требованиями и управления качеством к изделиям, а также соотношение между ними.

В статье предложена древовидная модель

представления задач управления требованиями и управления качеством к изделиям, взаимодействие между элементами которой осуществляется посредством горизонтальных и вертикальных связей, выраженных посредством набора требований к результатам функционирования элементов и набора параметров, описывающих полученные результаты.

Использование предложенной модели позволяет гарантировать соблюдение всех требований, формируемых в процессе функционирования систем управления качеством и управления требованиями.

Рассмотрена специфика задач управления требованиями и управления качеством продукции.

Полученные результаты могут использоваться для дальнейшей формализации процессов управления качеством с целью формирования методологии построения цифровой системы управления качеством в аэрокосмической отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, О.Л. САПР: формирование и функционирование проектных модулей / О.Л. Смирнов, С.Н. Падалко, С.А. Пиявский. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 57.
2. Рябченко, А.В. Модель взаимодействия научно-технического и производственно-технологического уровней структурной организации корпораций ракетно-космической промышленности при создании новой ракетно-космической техники / А.В. Рябченко // Организатор производства. – 2014. – № 4(63). – С. 52-62.
3. Макаренко, Н.О. Анализ современного состояния предприятий ракетно-космической промышленности / Н.О. Макаренко // Менеджмент социальных и экономических систем. – 2016. – № 4. – С. 16-22.
4. Петров М.Н. Отличительные черты современных проектов в ракетно-космической отрасли / М.Н. Петров // Актуальные вопросы экономики и управления: материалы V Междунар. науч. конф. – М.: Буки-Веди, 2017. – С. 28-34.
5. Firesmith Donald Using Quality Models to Engineer

- Quality Requirements // Journal of Object Technology. 2003. № 2. pp. 67-75. doi: 10.5381/jot.2003.2.5.c6.
6. Denger Christian, Olsson Thomas Quality Assurance in Requirements Engineering // Engineering and Managing Software Requirements. 2005. doi: 10.1007/3-540-28244-0_8.
 7. Unterkalmsteiner Michael, Gorschek Tony Requirements Quality Assurance in Industry: Why, What and How? // Lecture Notes in Computer Science. 2017. doi: 10153. 10.1007/978-3-319-54045-0_6.
 8. Saavedra Roxana, Ballejos Luciana C., Ale Mariel Alejandra Software Requirements Quality Evaluation: State of the art and research challenges // Материалы конференции XIV Simposio Argentino de Ingenieria de Software (ASSE). 2013. № 42. pp.240-257.
 9. Karl Wiegers Writing quality requirements // Software Development. 1999. № 7(5). pp. 44-48.
 10. Alorage Ahmed Quality in Requirements Engineering: methodologies and knowledge. URL: https://www.researchgate.net/publication/312023292_Quality_in_Requirements_Engineering_methodologies_and_knowledge (дата обращения: 14.12.2020)
 11. Чиркова, А.Ю. Метод повышения качества спецификации требований к программно-му средству / А.Ю. Чиркова, В.В. Бахтизин // Доклады БГУИР. – 2015. – № 6(92). – С. 10-16.
 12. The variation management framework (VMF): A unifying graphical representation of robust design / Howard T.J., Eifler T., Pedersen S.N., Gohler S.M., Boorla S.M., Christensen M.E. // Quality Engineering. 2017. № 29(4). pp. 563-572. doi: 10.1080/08982112.2016.1272121.
 13. Contributions concerning the possibility of implementing the APQP concept in the aerospace industry / Pop A.B., Titu M.A., Oprean C., Ceoceca C., Sandu A.V., Titu S. // MATEC Web of Conferences 178, 08013. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201817808013.
 14. Rudolf L., Roszak M.T. Tools of product quality planning in the production part approval process // Archives of Materials Science and Engineering. 2022. № 118(2). pp.67-74. doi: 10.5604/01.3001.0016.2591.
 15. Касьянов, С.В. Производство автомобильной техники: информационно-технологическое сопровождение / С.В. Касьянов, В.Д. Могилевец // Компетентность. – 2021. – № 3. – С. 45-49.
 16. SAE AS9145:2016. Requirements for Advanced Product Quality Planning and Production Part Approval Process // SAE International.
 17. Кудряшов, В. Управление инженерными изменениями на предприятиях — поставщиках автомобильных компонентов / В. Кудряшов // Методы менеджмента качества. – 2019. – №2. – URL: <https://ria-stk.ru/mmqa/detail.php?ID=175730> (дата обращения: 11.01.2021)
 18. Hermans Johanna, Liu Yang Quality Management in the New Product Development: a PPA Approach // Quality Innovation Prosperity. 2013. № 17. doi: 10.12776/qip.v17i2.150
 19. AS9100D:2016. Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space and Defense Organizations // International Organization for Standardization.
 20. Падалко, С.Н. Определение тандемной модели как базовой формы представления многоуровневых математических моделей при проектировании аэрокосмической техники / С.Н. Падалко // Труды МАИ. – 2013. – № 71. – С. 1-13.
 21. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения. Введ. 1986-06-30. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 9 с.
 22. ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. Введ. 2017-07-01. Москва: Стандартинформ, 2018. – 15 с.
 23. ISO 9000:2015. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary // ISO.
 24. Зубояров, О.Р. Процесс управления корректирующими и предупреждающими действиями на металлургическом предприятии / О.Р. Зубояров // Экономика региона. – 2010. – № 4. – С. 215-220.
 25. Гадисов, Р.Э. Анализ и улучшение процесса управления несоответствующей продукцией / Р.Э. Гадисов, Ю.Г. Малахова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – С. 254-255.
 26. ГОСТ 15.309-98. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения. Введ. 2000-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.
 27. Белов, А.В. Применение метода анализа видов и последствий потенциальных дефектов в строительных организациях / А.В. Белов // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2013. – С. 39-44.
 28. Федотов, Л.В. Система управления требованиями для обеспечения безопасности полетов на основе систем управления качеством / Л.В. Федотов, А.Ю. Дятлов, М.В. Ермоленко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т.14. – № 4(2). – С. 530-534.

ANALYSIS OF THE OBJECTIVES OF MANAGING PRODUCT REQUIREMENTS AND PRODUCT QUALITY

© 2023 E.S. Lesik

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The article is devoted to the issues of product requirements management and product quality management in the aerospace industry. The relevance of the topic of requirements management and product quality is shown. The necessity of developing a model containing a formalized requirements management process with implemented quality management procedures is substantiated. The purpose of the research is to highlight the properties of the tasks of managing requirements for products and managing product quality and establishing the relationship between them. The tasks of managing requirements for products are considered on the example of designing a product as a key stage in the formation of requirements for manufactured products. The analysis of the tasks of product quality management is based on the process of quality control of manufactured products, as the process of establishing compliance the actual values of the parameters that describe the product with the requirements for this product. The article presents the structure and properties of the tasks of requirements management systems for products and product quality management based on the tandem model, the rules for the interaction of model elements are also given, and the place of tasks of quality management systems in solving the tasks of the requirements management system is established. The specifics of the key tasks of each of the systems are considered. The relationship between the tasks of quality management and product requirements management using the apparatus of tandem models is shown. The model of representation of the requirements management system and the product quality management system proposed in this article suggests the establishment of boundaries between the processes of these systems. The use of the apparatus of tandem models makes it possible to guarantee compliance with all requirements formed in the process of functioning of quality management and requirements management systems. The results obtained can be used to further formalization of quality management processes in order to form a methodology for designing a digital product quality management system in the aerospace industry.

Keywords: quality management, requirements management, requirements decomposition, tandem model.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-61-71

EDN: DYAAZX

REFERENCES

1. *Smirnov, O.L.* SAPR: formirovanie i funkcionirovanie proektnyh modulej / O.L. Smirnov, S.N. Padalko, S.A. Piyavskij. – M.: Mashinostroenie, 1987. – S. 57.
2. *Ryabchenko, A.V.* Model' vzaimodejstviya nauchno-tehnicheskogo i proizvodstvenno-tehnologicheskogo urovnej strukturnoj organizacii korporacij raketno-kosmicheskoy promyshlennosti pri sozdanii novoy raketno-kosmicheskoy tekhniki / A.V. Ryabchenko // Organizator proizvodstva. – 2014. – № 4(63). – S. 52-62.
3. *Makarenko, N.O.* Analiz sovremennogo sostoyaniya predpriyatij raketno-kosmicheskoy promyshlennosti / N.O. Makarenko // Menedzhment social'nyh i ekonomicheskikh sistem. – 2016. – № 4. – S. 16-22.
4. *Petrov M.N.* Otlichitel'nye cherty sovremennyh proektov v raketno-kosmicheskoy otrasli / M.N. Petrov // Aktual'nye voprosy ekonomiki i upravleniya: materialy V Mezhdunar. nauch. konf. – M.: Buki-Vedi, 2017. – S. 28-34.
5. *Firesmith Donald* Using Quality Models to Engineer Quality Requirements // Journal of Object Technology. 2003. № 2. pp. 67-75. doi: 10.5381/jot.2003.2.5.c6.
6. *Denger Christian, Olsson Thomas* Quality Assurance in Requirements Engineering // Engineering and Managing Software Requirements. 2005. doi: 10.1007/3-540-28244-0_8.
7. *Unterkalmsteiner Michael, Gorschek Tony* Requirements Quality Assurance in Industry: Why, What and How? // Lecture Notes in Computer Science. 2017. doi: 10153. 10.1007/978-3-319-54045-0_6.
8. *Saavedra Roxana, Ballejos Luciana C., Ale Mariel Alejandra* Software Requirements Quality Evaluation: State of the art and research challenges // Materialy konferencii XIV Simposio Argentino de Ingenieria de Software (ASSE). 2013. № 42. pp.240-257.
9. *Karl Wiegers* Writing quality requirements // Software Development. 1999. № 7(5). pp. 44-48.
10. *Alorage Ahmed* Quality in Requirements Engineering: methodologies and knowledge. URL: https://www.researchgate.net/publication/312023292_Quality_in_Requirements_Engineering_methodologies_and_knowledge (data obrashcheniya: 14.12.2020)
11. *Chirkova, A.Yu.* Metod povysheniya kachestva specifikacii trebovanij k programmno-mu sredstvu / A.YU. Chirkova, V.V. Bahtizin // Doklady BGUIR. - 2015. – № 6(92). – S. 10-16.
12. *The variation management framework (VMF): A unifying graphical representation of robust design / Howard T.J., Eifler T., Pedersen S.N., Gohler S.M., Boorla S.M., Christensen M.E.* // Quality Engineering. 2017. № 29(4). pp. 563-572. doi: 10.1080/08982112.2016.1272121.

13. Contributions concerning the possibility of implementing the APQP concept in the aerospace industry / Pop A.B., Titu M.A., Oprean C., Ceocea C., Sandu A.V., Titu S. // MATEC Web of Conferences 178, 08013. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201817808013.
14. Rudolf L., Roszak M.T. Tools of product quality planning in the production part approval process // Archives of Materials Science and Engineering. 2022. № 118(2). pp. 67-74. doi: 10.5604/01.3001.0016.2591.
15. Kas'yanov, S.V. Proizvodstvo avtomobil'noj tekhniki: informacionno-tehnologicheskoe soprovozhdenie / S.V. Kas'yanov, V.D. Mogilevec // Kompetentnost'. - 2021. - № 3. - S. 45-49.
16. SAE AS9145:2016. Requirements for Advanced Product Quality Planning and Production Part Approval Process // SAE International.
17. Kudryashov, V. Upravlenie inzhenernymi izmeneniyami na predpriyatiyah — postavshchikah avtomobil'nyh komponentov / V. Kudryashov // Metody menedzhmenta kachestva. - 2019. - №2. - URL: <https://ria-stk.ru/mmq/adetail.php?ID=175730> (data obrashcheniya: 11.01.2021)
18. Hermans Johanna, Liu Yang Quality Management in the New Product Development: a PPAP Approach // Quality Innovation Prosperity. 2013. № 17. doi: 10.12776/qip.v17i2.150
19. AS9100D:2016. Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space and Defense Organizations // International Organization for Standardization.
20. Padalko, S.N. Opredelenie tandemnoj modeli kak bazovoj formy predstavleniya mnogourovnevnyh matematicheskikh modelej pri proektirovanii aerokosmicheskoy tekhniki / S.N. Padalko // Trudy MAI. - 2013. - № 71. - S. 1-13.
21. GOST 27.004-85. Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Sistemy tekhnologicheskije. Terminy i opredeleniya. Vved. 1986-06-30. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002. 9 s.
22. GOST R 15.301-2016. Sistema razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo (SRPP). Produkcija proizvodstvenno-tehnicheskogo naznacheniya. Poryadok razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo. Vved. 2017-07-01. Moskva: Standartinform, 2018. – 15 s.
23. ISO 9000:2015. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary // ISO.
24. Zuboyarov, O.R. Process upravleniya korrektruyushchimi i preduprezhdayushchimi dejstvuyami na metallurgicheskom predpriyatii / O.R. Zuboyarov // Ekonomika regiona. – 2010. – № 4. – S. 215-220.
25. Gadisov, R.E. Analiz i uluchshenie processa upravleniya nesootvetstvuyushchej produkciej / R.E. Gadisov, YU.G. Malahova // Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavтики. – 2014. – S. 254-255.
26. GOST 15.309-98. Sistema razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo (SRPP). Ispytaniya i priemka vypuskaemoj produkcii. Osnovnye polozheniya. Vved. 2000-01-01. – M.: Standartinform, 2008. – 16 s.
27. Belov, A.V. Primenenie metoda analiza vidov i posledstvuj potencial'nyh defektov v stroitel'nyh organizacijah / A.V. Belov // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-ekonomicheskogo universiteta. – 2013. – S. 39-44.
28. Fedotov, L.V. Sistema upravleniya trebovaniyami dlya obespecheniya bezopasnosti poletov na osnove sistem upravleniya kachestvom / L.V. Fedotov, A.YU. Dyatlov, M.V. Ermolenko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2012. – T.14. – № 4(2). – S. 530-534.

УДК 658.51 : 331.1

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ИЕРАРХИИ КОМПЕТЕНЦИЙ ИНЖЕНЕРА-ТЕХНОЛОГА НА БАЗЕ МАТРИЦЫ СООТВЕТСТВИЯ

© 2023 А.М. Ковалева, А.И. Хаймович, Е.А. Колеганова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 14.04.2023

Статья посвящена разработке и применению методов квалиметрической оценки компетенций, а также выявлению ключевых компетенций инженера-технолога в контексте выполняемых им производственных заданий. В данной работе был разработан и адаптирован к принципам компетентностного подхода, а также апробирован на производственной площадке такой метод управления качеством, как матрица соответствия требований. Разработанная методика на базе матрицы соответствия создана для анализа текущей ситуации распределения компетенций и оценивает их по критериям важности и частоты использования на рабочем месте со стороны сотрудников. В работе компетенции инженера-технолога были проанализированы, как инструмент развития потенциала сотрудника и предприятия в целом. Должностные обязанности инженера-технолога были рассмотрены, как основные умения и навыки, необходимые для эффективной работы и достижения наилучших результатов на занимаемой должности. Анализ компетенций позволяет выявить ключевые компетенции, которые наиболее задействованы в работе сотрудников в рассматриваемый период времени, а их квалиметрическая оценка позволяет дать объективную оценку выполнения текущих производственных заданий, что будет способствовать повышению объективности и прозрачности принимаемых управленческих решений. В результате работы была сформирована иерархия компетенций инженера-технолога на основе оценки сотрудников предприятия на базе матрицы соответствия.

Ключевые слова: компетентностный подход, ключевые компетенции, матрица соответствия, должностные обязанности инженера-технолога, иерархия компетенций, анкетирование, коэффициент конкордации.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-72-78

EDN: ECOLAJ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Организация высокотехнологичного производства индустриальных ГТД с интеллектуальной системой конструкторско-технологической подготовки для повышения функциональных характеристик» (Соглашение о предоставлении гранта № 075-11-2021-042 от 24.06.2021 г.)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на отечественных предприятиях к специалистам предъявляются требования по владению определенным уровнем компетенций, следовательно, имеет место задача формирования пула компетенций, который требуется для достижения целей предприятия, и разработки методик подбора персонала и развития их компетентности. Также, можно заметить, что существует несоответствие между директивными компетенциями, и реальными

производственными задачами, которые стоят перед сотрудниками.

Компетентностный подход в основе эффективного управления предприятием рассматривает формирование ключевых компетенций персонала, которые способствуют успеху в профессиональной деятельности на данный момент и в перспективе. Сущность компетентностного подхода относительно оценки персонала предприятия состоит в сопоставлении качества, степени сложности и эффективности труда с требуемыми характеристиками данной должности – компетенциями. [1]

Цель данного исследования – выявить ключевые компетенции инженера-технолога в контексте выполняемых им производственных заданий. Для достижения поставленной цели необходимо разработать методику построения иерархии компетенций инженера-технолога

Ковалева Анастасия Михайловна, аспирант.

E-mail: kovaleva.am@ssau.ru

Хаймович Александр Исаакович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий производства двигателей. E-mail: berill_samara@bk.ru

Колеганова Екатерина Александровна, аспирант.

E-mail: koleganova.e@yandex.ru

на основе оценки сотрудников предприятия. В данной работе предлагается адаптировать такой метод управления качеством, как матрица соответствия требований.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ

Матрица соответствия требований используется для сопоставления функциональных требований продукта и подготовленных тестовых сценариев. Подобно ей можно составить матрицу компетенций – таблицу, в заголовках колонок которой расположены сотрудники, а в заголовках строк – необходимые компетенции, на пересечении – цифра, обозначающая степень владения компетенцией. Таким образом, сопоставляются компетенции сотрудников с должностными обязанностями данной должности. [3]

Матрица может использоваться как эталон для сравнения уровня развития компетенций работника с уровнем, требуемым должностью, что может послужить отправной точкой для развития и совершенствования компетенций персонала. Таким образом, организация получает возможность эффективно инвестировать свой бюджет в обучение и развитие персонала, что позволит лучше функционировать организации в целом [5].

Для построения матрицы компетенций инженера-технолога, была разработана анкета для сотрудников предприятия, в которой инженерам-технологам предлагается оценить степень владения навыком и частоту использования данного навыка в их работе.

В «Квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и других служащих» [7] приведены должностные обязанности инженера-технолога (технолога), которые рассматриваются, как основные умения и навыки, необходимые для эффективной работы и достижения наилучших результатов на занимаемой должности.

Для оценки степени владения навыком сотрудникам предлагается классифицировать себя по уровням проявления компетенций [8]:

1. Начальный уровень – недостаточные знания, необходимо обучение;
2. Уровень развития – недостаточные знания, при этом активно обучается и перенимает опыт;
3. Уровень опыта – достаточные знания, имеет собственный опыт;
4. Уровень мастерства – профессиональный уровень знаний, делится знаниями и опытом с коллегами;
5. Уровень эксперта – экспертный уровень знаний, эталон, активно передаёт знания и опыт коллегам.

Для оценки частоты использования навыка на рабочем месте сотрудникам предлагается

классифицировать навыки в соответствии со шкалой: использую ежедневно; использую несколько раз в неделю; использую несколько раз в месяц; практически не использую.

Данное анкетирование было проведено среди специалистов технологического бюро предприятия ПАО «ОДК-Кузнецов»: количество респондентов – 36 человек, уровень образования – от среднего специального до уровня магистратуры, с трудовым стажем в занимаемой должности от 6 месяцев до 15 лет.

Согласно результатам данного анкетирования, предполагается построить иерархию компетенций инженера-технолога, отражающую его реальную занятость на рабочем месте. Для построения данной иерархии вариантам ответа присваиваются числовые значения. Далее для получения усредненной оценки (веса) по каждой должностной обязанности числовые значения оценок сотрудников суммируются и нормализуются. Также для каждого навыка вычисляется средне статистический ответ. На основании этих данных составляем иерархию должностных обязанностей инженера-технолога путем ранжирования усредненных оценок [9].

ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Преобразованные ответы респондентов и дальнейшие расчеты были собраны в таблицу, которая представляет собой матрицу соответствия компетенций, схема которой представлена на рис. 1.

		Сотрудники											
ДОЛЖНОСТНЫЕ ОБЯЗАННОСТИ													
		оценка степени владения											
		навыком и частоты использования											
		данного навыка в работе											

Рис. 1. Матрица соответствия компетенций

Для анализа согласованности ответов респондентов рассчитывается коэффициент корреляции W_k по формуле 1 [10]:

$$W_k = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n) - m \cdot \sum_{j=1}^m (t_j^3 - t_j)}, \quad (1)$$

где m – число экспертов или признаков, связь между которыми оценивается;

n – число объектов, факторов или альтернатив;

t_j – число одинаковых рангов у j -го эксперта;

S – сумма квадратов отклонений суммы рангов по признакам от их средней арифметической, т. е. [10]:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m Rg_{ij} - \overline{\sum_{j=1}^m Rg_{ij}} \right)^2, \quad (2)$$

где Rg_{ij} — ранг, присвоенный i -му фактору j -го признака.

В итоге, для данных, полученных в результате анкетирования, получаем коэффициент конкордации для оценок экспертов по критерию степени владения навыком: $W_k = 0,44$; по критерию частоты использования навыка: $W_k = 0,34$. Полученные значения соответствуют умеренной согласованности экспертов, что можно считать приемлемой в соответствии с методикой проведения исследования. Это позволяет судить о верифицированности разработанной методики.

Если разделить специалистов технологического бюро на группы по общему трудовому стажу по специальности на сотрудников со стажем меньше 1,5 года и более, то получим следующие значения коэффициента конкордации для степени владения навыком:

сотрудники со стажем меньше 1,5 года: $W_k = 0,59$;
 сотрудники со стажем больше 1,5 года: $W_k = 0,62$;

для частоты использования навыка на рабочем месте:

сотрудники со стажем меньше 1,5 года: $W_k = 0,49$;
 сотрудники со стажем больше 1,5 года: $W_k = 0,45$.

При таком делении сотрудников можно заметить увеличение значений коэффициента конкордации, т.е. увеличение согласованности оценок экспертов, при этом изменения в иерархиях должностных обязанностей являются незначительными.

Анализируя значения коэффициента конкордации для степени владения навыком, можно сказать, что сотрудники постепенно адаптируются на рабочем месте и выравниваются по уровню компетенций. По значению коэффициента конкордации для частоты использования навыка работников со стажем работы больше 1,5 лет можно сделать вывод, что данная категория сотрудников имеет более широкий профиль и разнообразные производственные задания.

Итоги иерархизации должностных обязанностей инженера-технолога на основании анкетирования сотрудников предприятия ПАО «ОДК-Кузнецов» для критерия степени владения навыком и для критерия частоты использования навыка на рабочем месте приведены на диаграмме (рис. 2) и в таблице 1.

Анализируя табл. 1, можно прийти к выводу, что большая часть рабочего времени инженеров-технологов уходит на совершенствование и сопровождение существующих технологических процессов изготовления изделий. Таким образом, на анализ несоответствий процессов и технологий требуемым показателям, анализ причин возникновения брака и разработку технологических процессов новых изделий, освоение инноваций времени не остается, что может повлечь за собой снижение конкурентоспособности продукции предприятия.

Также, можно заметить, что нормализованная оценка по критерию степени владения навыком и критерию частоты использования навыка приблизительно совпадает для большинства должностных обязанностей. Но в то же время, для компетенции №1 существует разница в данных показателях: 12% для частоты ис-

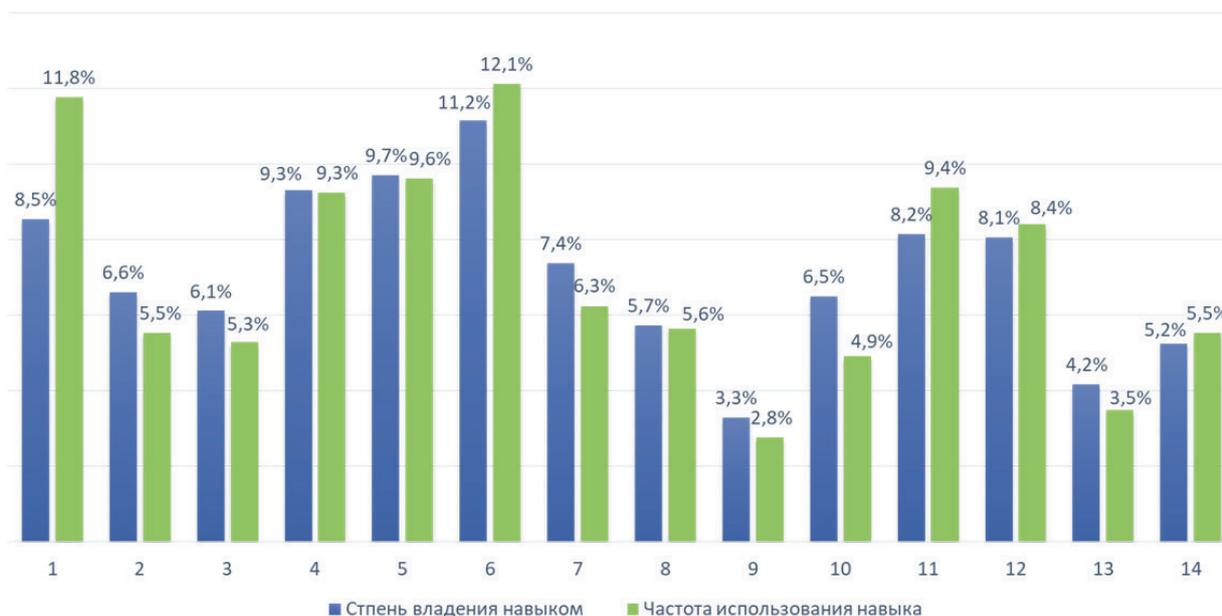


Рис. 2. Итоги иерархизации должностных обязанностей инженера-технолога на основании анкетирования сотрудников предприятия ПАО «ОДК-Кузнецов»

Таблица 1. Итоги иерархизации должностных обязанностей инженера-технолога на основании анкетирования сотрудников предприятия ПАО «ОДК-Кузнецов» для критериев степени владения и частоты использования навыка

№	Должностные обязанности инженера-технолога [7]	степень владения навыком		частота использования навыка	
		Среднестатистический ответ респондентов	Ранг	Среднестатистический ответ респондентов	Ранг
1	Устанавливать порядок выполнения работ и пооперационный маршрут обработки деталей и сборки изделий	уровень развития	4	несколько раз в неделю	2
2	Составлять планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, рассчитывает производственные мощности и загрузку оборудования	уровень развития	8	Практически не использую	9
3	Участвовать в разработке технически обоснованных норм времени (выработки), линейных и сетевых графиков, в отработке конструкций изделий на технологичность, рассчитывать нормативы материальных затрат (нормы расхода сырья, полуфабрикатов, материалов, инструментов, технологического топлива, энергии), экономическую эффективность проектируемых технологических процессов	уровень развития	10	Практически не использую	11
4	Разрабатывать технологические нормативы, инструкции, схемы сборки, маршрутные карты, карты технического уровня и качества продукции и другую технологическую документацию	уровень опыта	3	несколько раз в месяц	5
5	Вносить изменения в техническую документацию в связи с корректировкой технологических процессов и режимов производства	уровень опыта	2	несколько раз в месяц	3
6	Согласовывать разработанную документацию с подразделениями предприятия	уровень опыта	1	несколько раз в неделю	1
7	Разрабатывать технические задания на проектирование специальной оснастки, инструмента и приспособлений, предусмотренных технологией, технические задания на производство нестандартного оборудования, средств автоматизации и механизации	уровень развития	7	Практически не использую	7
8	Принимать участие в разработке управляющих программ (для оборудования с ЧПУ), в отладке разработанных программ, корректировке их в процессе доработки, составлении инструкций по работе с программами	уровень развития	11	Практически не использую	8

Таблица 1. Итоги иерархизации должностных обязанностей инженера-технолога на основании анкетирования сотрудников предприятия ПАО «ОДК-Кузнецов» для критериев степени владения и частоты использования навыка (окончание)

9	Проводить патентные исследования и определяет показатели технического уровня проектируемых объектов техники и технологии	начальный уровень	14	практически не использую	14
10	Участвовать в проведении экспериментальных работ по освоению новых технологических процессов и внедрению их в производство, в составлении заявок на изобретения и промышленные образцы, а также в разработке программ совершенствования организации труда, внедрения новой техники, организационно-технических мероприятий по своевременному освоению производственных мощностей, совершенствованию технологии и контролирует их выполнение	уровень развития	9	практически не использую	12
11	Осуществлять контроль над соблюдением технологической дисциплины в цехах и правильной эксплуатацией технологического оборудования. Изучать передовой отечественный и зарубежный опыт в области технологии производства, разрабатывать и принимать участие в реализации мероприятий по повышению эффективности производства, направленных на сокращение расхода материалов, снижение трудоемкости, повышение производительности труда.	уровень развития	5	несколько раз в месяц	4
12	Анализировать причины брака и выпуска продукции низкого качества и пониженных сортов, принимать участие в разработке мероприятий по их предупреждению и устранению, а также в рассмотрении поступающих рекламаций на выпускаемую предприятием продукцию.	уровень развития	6	несколько раз в месяц	6
13	Разрабатывать методы технического контроля и испытания продукции. Участвовать в составлении патентных и лицензионных паспортов, заявок на изобретения и промышленные образцы.	начальный уровень	13	практически не использую	13
14	Рассматривать рационализаторские предложения по совершенствованию технологии производства и давать заключения о целесообразности их использования	уровень развития	12	практически не использую	9

пользования и 9% для степени владения навыком, этот факт может свидетельствовать о том, что уровень развития данной компетенции у сотрудников недостаточен в соответствии с поставленными задачами на рабочем месте. Для компетенции №10 существует разница показателей по критериям: 5% и 7% для степени владения навыком, можно сделать, что уровень владения данной компетенции позволяет со-

трудникам развиваться в данном направлении, но производственные задачи не дают им такой возможности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика на базе матрицы соответствия создана для анализа текущей ситуации распределения компетенций и оценивает

их по критериям важности и частоты использования на рабочем месте со стороны сотрудников. Данная методика может быть легко модернизирована согласно требуемым критериям для анализа компетентности в текущих тенденциях рынка.

На основании полученных данных, можно выявлять профили сотрудников, уровень которых отвечает или, наоборот, не отвечает требованиям должности, что может послужить основой продвижения и стимулирования передовых специалистов или развития и мотивирования отстающих сотрудников. А также, если рассматривать мониторинг компетентностного уровня сотрудников как периодически повторяющуюся практику, то это позволит оценивать уровень специалистов в динамике.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о необходимости проведения реорганизации бизнес процессов предприятия, а также разработки и внедрения методик оценки компетентности сотрудников и динамики освоения новых компетенций. Результаты подобной оценки могут служить индикаторами эффективности принятых управленческих решений и деятельности предприятия в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чуланова, О.Л. Компетентностный подход в работе с персоналом: теория, методология, практика: монография / О.Л. Чуланова. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 292 с.
- 2 Ковалева, А.М. Разработка основных принципов и методов оценки ключевых компетенций инженера-технолога / А.М. Ковалева, А.И. Хаймович, Е.С. Калакова // V Международная научно-практическая конференция “Производственные технологии будущего: от создания к внедрению”. – 2022. – С. 432-434
- 3 Труфанов, С.А. Формирование и удержание ключевых компетенций организации в системе конкурент-менеджмента / С.А. Труфанов. – Ростов н/Д: Профпресс, 2014. – 232с.
- 4 Winterton, J. Prototype Typology of Knowledge, Skills and Competences / J. Winterton, F. Delamare-Le Deist, E. Stringfellow // Human Resource Development International. – 2005. – Vol. 8, № 1. – P. 27-46.
- 5 Вульпен, Ерик Ван. Как создать матрицу компетенций для успеха работы команды/ Ерик Ван Вульпен. – Перевод В. Чемякова («Лучшие кадры»). – Интернет-ресурс «Analytics in HR» – февраль 2018 г.
- 6 Уидетт, С. Руководство по компетенциям / С. Уидетт, С. Холлифорд. – М.: НИППО, 2008. – 240 с.
- 7 «Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих» (утв. Постановлением Минтруда России от 21.08.1998 N 37) (ред. от 27.03.2018).
- 8 Профильная модель компетенций руководителя отдела продаж // Интернет-журнал «HR по-русски». – 10.11.2017 г. – URL: <https://hr-elearning.ru/> (дата обращения: 11.04.2022).
- 9 Татарова, Г.Г. Методология анализа данных в социологии (введение). Учебник для вузов / Г.Г. Татарова. – М.: NOTA BENE, 1999. – 224 с.
- 10 Балдин, К.В. Общая теория статистики: учебное пособие / К.В. Балдин, А.В. Рукосуев. – Москва: Дашков и К, 2018. – 312 с.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR BUILDING A HIERARCHY OF COMPETENCIES OF A PROCESS ENGINEER ON THE BASIS OF A TRACEABILITY MATRIX

© 2022 A.M. Kovaleva, E.A. Koleganova, A.I. Khaimovich

Samara National Research University named after academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

The article is devoted to the development and application of methods for the qualimetric assessment of competencies, as well as the identification of the key competencies of a process engineer in the context of current production tasks. In this work, such a quality management method as a traceability matrix was developed and adapted to the principles of the competency-based approach, and also tested on a real enterprise. The developed methodology based on the traceability matrix was created to analyze the current situation of the distribution of competencies and evaluates them according to the criteria of importance and frequency of use in the workplace by employees. In this work, the competence of a process engineer was analyzed as a tool for the development of employees and the entire enterprise. The job responsibilities of a process engineer were considered as the basic skills that are required to perform the job effectively and achieve the best results. The analysis of competencies allows to identify the key competencies that are most involved in the work of employees in the period under review, and their qualimetric assessment will make it possible to give an objective assessment of the implementation of current production tasks, which will help to increase the objectivity of management decisions. As a result of the work, a hierarchy of process engineer competencies was formed based on the assessment of the company's employees on the basis of the traceability matrix.

Keywords: competency-based approach, key competencies, traceability matrix, job responsibility of a process engineer, hierarchy of competencies, questioning, concordance coefficient.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-72-78

EDN: ECOLAJ

REFERENCES

- 1 Chulanova, O.L. Kompetentnostnyj podhod v rabote s personalom: teoriya, metodologiya, praktika: monografiya / O.L. Chulanova. – Moskva: INFRA-M, 2021. – 292 s. – (Nauchnaya mysl’).
- 2 Kovaleva, A.M. Razrabotka osnovnyh principov i metodov ocenki klyuchevyh kompetencij inzhenera-tekhnologa / A.M. Kovaleva, A.I. Hajmovich, E.S. Kalakova // V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Proizvodstvennye tekhnologii budushchego: ot sozdaniya k vnedreniyu». – 2022. – S. 432-434
- 3 Trufanov, S.A. Formirovanie i uderzhanie klyuchevyh kompetencij organizacii v sisteme konkurent-menedzhmenta / S.A. Trufanov. – Rostov n/D: Profpress, 2014. – 232s.
- 4 Winterton, J. Prototype Typology of Knowledge, Skills and Competences / J. Winterton, F. Delamare-Le Deist, E. Stringfellow // Human Resource Development International. – 2005. – Vol. 8, № 1. – P. 27–46.
- 5 Vul’pen, Erik Van. Kak sozdat’ matricu kompetencij dlya uspekha raboty komandy/ Erik Van Vul’pen. – Perevod V. Chemekova («Luchshie kadry») – Internet-resurs «Analytics in HR» – fevral’ 2018 g.
- 6 Uidett, S. Rukovodstvo po kompetencyam / S. Uidett, S. Holliford. – M.: NIRRO, 2008. – 240 s.
- 7 «Kvalifikacionnyj spravochnik dolzhnostej rukovoditelej, specialistov i drugih sluzhashchih» (utv. Postanovleniem Mintruda Rossii ot 21.08.1998 N 37) (red. ot 27.03.2018).
- 8 Profil’naya model’ kompetencij rukovoditelya otdela prodazh – Internet-zhurnal «HR po-russki» – 10.11.2017 g. – URL: <https://hr-elearning.ru/> (data obrashcheniya: 11.04.2022).
- 9 Tatarova, G.G. Metodologiya analiza dannyh v sociologii (vvedenie). Uchebnik dlya vuzov / G.G. Tatarova. – M.: NOTA BENE, 1999. – 224 s.
- 10 Baldin, K.V. Obshchaya teoriya statistiki: uchebnoe posobie / Baldin K.V., Rukosuev A.V.. – Moskva: Dashkov i K, 2018. – 312 c.

Anastasiia Kovaleva, Postgraduate Student.

E-mail: kovaleva.am@ssau.ru

Alexander Khaimovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Engine Manufacturing Technologies. E-mail: berill_samara@bk.ru

Ekaterina Koleganova, Postgraduate Student.

E-mail: koleganova.e@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ НЕДОСТОВЕРНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

© 2023 П.А. Афанасьев

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Статья поступила в редакцию 14.04.2023

Статья посвящена разработке модели управления рисками предоставления недостоверных результатов испытаний – дерева отказов испытательной лаборатории как социально-технической системы. На основе построенного дерева отказов выявлены причины предоставления лабораторией недостоверных результатов испытаний, даны рекомендации по их количественной оценке, проведению корректирующих и предупреждающих мероприятий.

Ключевые слова: управление рисками, надежность, испытания, испытательная лаборатория, менеджмент качества.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-79-87

EDN: FQXWIN

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Испытательная лаборатория представляет собой социально-техническую систему, целью функционирования которой является получение достоверных результатов испытаний продукции. Техническая составляющая системы состоит из средств измерения, испытательного оборудования, вспомогательного оборудования, прочих элементов инфраструктуры, программного обеспечения, материалов и реактивов. Однако большую роль при проведении испытаний играют принятые работниками решения на вариативных этапах метода испытаний и принятие решений о соответствии (не соответствии) продукции [1]. По этой причине при оценке рисков испытательной лаборатории персонал и оборудование следует рассматривать в качестве равноправных элементов.

Метод анализа дерева отказов с 60-х годов XX века применяется для количественного и качественного анализа комбинации отказов технических устройств, ошибок персонала, нерасчетных внешних воздействий и иных рисков событий, приводящих к нежелательным последствиям. Применяя этот метод к деятельности испытательной лаборатории можно на основе экспертных оценок и статистических данных оценить риски выдачи недостоверных результатов испытаний, разработать комплекс мер по их сдерживанию и выявить направления для улучшения [2].

Задачей данной работы является построение дерева отказов испытательной лаборатории как социально-технической системы. На

основе дерева отказов будут выявлены причины предоставления лабораторией недостоверных результатов испытаний, даны рекомендации по их количественной оценке, проведению корректирующих и предупреждающих мероприятий.

ПОСТРОЕНИЕ «ДЕРЕВА ОТКАЗОВ»

Поскольку основной задачей функционирования испытательной лаборатории как социально-технической системы является получение результатов испытаний продукции, характеристики точности которых соответствуют требованиям метода испытаний, то в качестве вершинного события (отказ всей системы) установим предоставление лабораторией недостоверных результатов испытаний. При этом лаборатория может работать по сотням методов испытаний, для которых требуется разное оборудование и которые могут выполняться разным персоналом. Именно метод испытаний следует рассматривать как базисный элемент дерева отказов испытательной лаборатории. Такой подход позволит специалистам оценить риски наиболее полно, а значит разработать результативные планы корректирующих мероприятий. Естественно, что методы испытаний, как базисные элементы дерева отказов, должны быть связаны между собой логическим элементом «или» (рисунок 1).

Исходя из построенного дерева отказов рассчитаем вероятность предоставления лабораторией, как социально-технической системой, недостоверных результатов испытаний $P(L)$ по формуле (1).

$$P(L) = 1 - [1 - P(M_1)] \cdot [1 - P(M_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(M_N)], \quad (1)$$

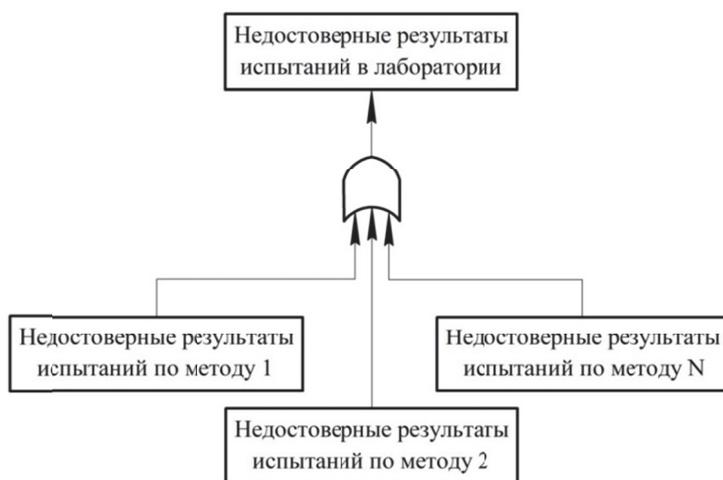


Рисунок 1 – дерево отказов испытательной лаборатории

где $P(M_1), P(M_2), P(M_N)$ – вероятность предоставления недостоверных результатов испытаний по некоторому методу испытаний [3].

Как уже отмечалось выше, лаборатория может работать по очень большому количеству методов испытаний, каждый из которых включает в себя проверки, отличающиеся по виду данных (качественные и количественные), по требованиям к точности, по необходимому для проведения испытаний оборудованию и, наконец, по персоналу, задействованному при проведении испытаний [4]. Оценить вероятность отказа по некоторому методу испытаний $P(M_N)$ можно, рассмотрев предоставление недостоверных результатов испытаний по данному методу, как вершинное событие дерева отказов.

При оценке $P(M_N)$ в качестве базисных событий следует рассматривать

1) метрологический отказ оборудования (выход метрологических характеристик оборудования за установленные методом испытаний значения);

2) предоставление недостоверных результатов испытаний по причине недостаточной квалификации и ошибок персонала;

3) предоставление недостоверных результатов по причине несовершенства методики проведения испытаний. В данном случае под термином «методика испытаний» следует понимать способ реализации метода испытаний в данной лаборатории. Таким образом, дерево отказов для оценки $P(M_N)$ представлено на рисунке 2.

Отсюда получим, что вероятность предоставления лабораторией не достоверных результатов по некоторому методу испытаний $P(M_N)$ может быть рассчитана по формуле (2)

$$P(M_N) = 1 - [1 - P(A)] \cdot [1 - P(B)] \cdot [1 - P(C)], \quad (2)$$

где $P(A)$ – вероятность предоставления недостоверных результатов испытаний по причине

недостаточной квалификации и опыта работы персонала, $P(B)$ – вероятность наступления метрологического отказа оборудования, $P(C)$ – вероятность того, что характеристики точности методики проведения испытаний не соответствуют предъявленным требованиям.

На построенном дереве отказов (рисунок 2) базисные события вероятности не обеспечения персоналом требуемой точности $P(A)$ связаны логическим оператором «е» из «E», т.к. проведение испытаний осуществляет несколько работников из общего числа, при этом каждый из них может допустить ошибку с некоторой долей вероятности. Вероятность исходного $P(A)$ события в данном случае рассчитывается по формуле (3).

$$P(A) = P(e, E) = \sum_{w=e}^E C_E^w \cdot p(a_w)^w \cdot (1 - p(a_w))^{E-w}, \quad (3)$$

где e - количество работников, задействованных в проведении испытаний по данному методу, E – общее количество работников лаборатории, $p(a_w)$ – вероятность предоставления работником недостоверных результатов испытаний, C_E^w – биномиальный коэффициент, называемый «числом сочетаний w из E ». Значение C_E^w рассчитывается по формуле (4)

$$C_E^w = \frac{E!}{w!(E-w)!}. \quad (4)$$

Расчет вероятности метрологического отказа оборудования может быть проведен по формуле (5)

$$P(B) = 1 - [1 - P(b_1)] \cdot [1 - P(b_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(b_n)], \quad (5)$$

где $P(b_1), P(b_2), P(b_n)$ – вероятность того, что характеристики точности оборудования не соответствуют предъявляемым требованиям [3].

Однако на практике распространены ситуации, когда лаборатория располагает несколькими единицами однотипного оборудования.

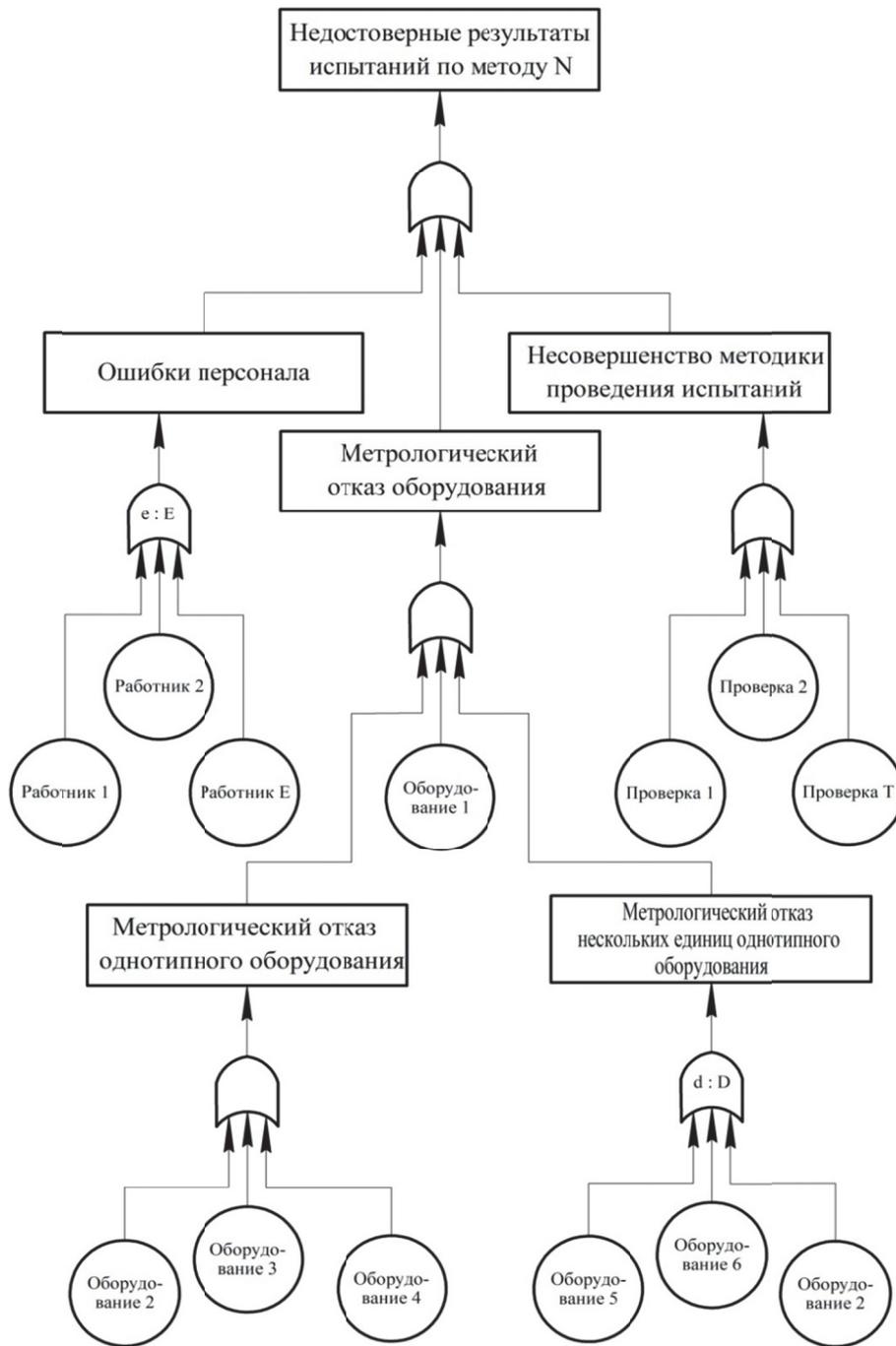


Рисунок 2 – дерево отказов метода испытаний

Например, несколькими климатическими камерами, для поддержания необходимой температуры, влажности и/или атмосферного давления. В таком случае персонал, уполномоченный на проведение испытаний, выбирает одну из нескольких единиц оборудования. Считая данный выбор случайным, вероятность безотказной работы данного оборудования $P(b_1)$ можно рассчитать по формуле (6)

$$P(b_1) = 1 - [1 - P(b_{11})] \cdot [1 - P(b_{12})] \cdot \dots \cdot [1 - P(b_{1n})], \quad (6)$$

где $P(b_{11})$, $P(b_{12})$ и $P(b_{1n})$ – вероятность ме-

трологического отказа некоторой единицы однотипного оборудования.

Второй распространенный на практике случай, несколько усложняющий расчет вероятности безотказной работы. Предположим, что лаборатория располагает некоторым количеством однотипного оборудования D , но для проведения испытаний используется комплект из d единиц этого оборудования. Например, для измерения превышения температуры выводов трехполюсного электрического аппарата используют шесть термопреобразо-

вателей сопротивления ($d = 6$), но при этом располагает комплектом из десяти единиц данного оборудования ($D = 10$). В описанном выше случае вероятность отсутствия метрологического отказа $P(b_2)$ рассчитывается по формуле (7)

$$P(b_2) = P(d, D) = \sum_{f=d}^D C_D^f \cdot p(b_{2f})^f \cdot (1 - p(b_{2f}))^{D-f}, \quad (7)$$

где d – количество единиц однотипного оборудования, задействованных в проведении испытаний по данному методу, D – общее количество однотипного оборудования, $p(b_{2f})$ – вероятность метрологического отказа оборудования, C_D^f – биномиальный коэффициент, называемый «числом сочетаний f из D ». Значение C_D^f рассчитывается по формуле (8)

$$C_D^f = \frac{D!}{f!(D-f)!}. \quad (8)$$

Расчет вероятности отсутствия выхода характеристик точности методики проведения испытаний за установленные методом границы может быть проведен по формуле (9)

$$P(c) = 1 - [1 - P(c_1)] \cdot [1 - P(c_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(c_n)], \quad (9)$$

где $P(c_1)$, $P(c_2)$, $P(c_n)$ – вероятность того, что характеристики точности отдельных проверок не соответствуют предъявляемым требованиям [3].

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ПЕРСОНАЛА

При проведении анализа надежности персонала, как важного элемента функционирования испытательной лаборатории, принято рассматривать только непреднамеренные ошибочные действия, т.е. события, не имеющие отношения к саботажу, диверсии, раскрытию конфиденциальной информации, нарушению беспристрастности проведения испытаний и т.д. [5]

Как правило, в испытательной лаборатории к непреднамеренным ошибкам ошибочным действиям персонала можно отнести:

1) некорректное задание параметров влияющих величин (например, недостаточное либо избыточное сопротивление электрической цепи при испытаниях низковольтного оборудования на отключающую способность);

2) нарушение правил установки образцов на испытательное оборудование (например, недостаточная либо избыточная затяжка контактов при проведение испытаний на превышение температуры выводов низковольтного оборудования; установка образца в нерабочем положении и т.д.);

3) несоблюдение сроков выдержки образцов в условиях воздействия внешних факторов;

4) ошибки считывания результатов измерений со средств измерения (например, ошибки расчета значения тока в цепи по значению падения напряжения на измерительном шунте, некорректный выбор диапазона измерения на стрелочном измерительном приборе);

5) ошибки при фиксации результата измерения при оформлении рабочих записей, либо при перенесении результатов измерений из рабочих записей в протокол испытаний [5].

Естественно, что косвенно вероятность возникновения ошибки работника лаборатории зависит от его опыта работы. Например, до проведения испытаний в сфере обязательного подтверждения соответствия допускаются работники, имеющие опыт работы не менее двух лет [6]. Однако едва ли не большее значение имеет уровень квалификации исполнителя, который должен оцениваться и ежегодно подтверждаться компетентной комиссией. Объем аттестации должен определяться областью деятельности лаборатории. В общем случае, вопросы при проведении аттестации должны включать в себя:

1) правила эксплуатации испытательного оборудования и средств измерения (оценивается умение настройки влияющих параметров, знание правил подготовки оборудования к проведению испытаний (в т.ч. время прогрева), умение считывать показатели измерительных приборов и т.д.)

2) знание методов испытаний (знание требуемых для проведения испытаний значений внешних воздействующих факторов, знание длительности проведения испытаний, знание проводимых после и в процессе проведения испытаний проверок образцов);

3) знание классификации, технических характеристик и принципа работы образцов испытаний (необходимо в т.ч. для определения вариативных этапов метода, определения требований к монтажу оборудования, понимания физических процессов при проведении испытаний);

4) знание системы менеджмента качества испытательной лаборатории в пределах своей компетентности (умение заполнять рабочие записи, знание требований к помещениям и условиям окружающей среды, умение проводить ежедневное техническое обслуживание оборудования и т.д.) [1,5].

Вероятность предоставления работником недостоверных результатов испытаний персоналом $p(a_w)$ требуемой точности может быть экспертно оценена по таблице 1 [1,7].

Таблица 1

Уровень квалификации исполнителя	Стаж работы испытателя					
	до 2-х лет	2-4 года	4-6 лет	6-8 лет	8-10 лет	более 10 лет
Высокая	0,011	0,009	0,007	0,005	0,003	0,001
Средняя	0,012	0,010	0,008	0,006	0,004	0,002
Низкая	0,013	0,011	0,009	0,007	0,005	0,003

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОТКАЗА ОБОРУДОВАНИЯ

Вероятность метрологического отказа оборудования необходимо, в первую очередь, производить на основе результатов предыдущей аттестации, поверки или калибровки. Предположим, что проводилась аттестация установки, предназначенной для проверки степени защиты от воды IP X1, IP X2 [8]. Для такой установки при аттестации производят измерение следующих параметров:

1) расход воды при проведении испытаний на соответствие IP X1 (оборудование считается пригодным для эксплуатации при значении $1^{+0,5}$ мм/мин);

2) расход воды при проведении испытаний на соответствие IP X2 (оборудование считается пригодным для эксплуатации при значении $3^{+0,5}$ мм/мин);

3) значение угла наклона стола для установки образца (оборудование считается пригодным для эксплуатации при значении $14,5...15,5^\circ$) [8,9].

Оценку точности поддержания внешних воздействующих факторов (ВВФ) следует считать

- высокой (3 балла), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $\pm \frac{1}{6}T$ от

середины поля допуска, где T – ширина поля допуска на проверяемый параметр;

- средней (2 балла), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{1}{6}... \frac{2}{6}\right)T \cup -\left(\frac{1}{6}... \frac{2}{6}\right)T$ от середины поля допуска,

- низкой (1 балл), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{2}{6}... \frac{3}{6}\right)T \cup -\left(\frac{2}{6}... \frac{3}{6}\right)T$ от середины поля допуска. Графически оценка метрологической надежности оборудования представлена на рисунке 3.

Как видно из приведенного примера, при аттестации одной единицы оборудования зачастую проводятся измерения нескольких параметров. В данном случае общий балл следует по формуле (10).

$$K_{cp} = \frac{k_1+k_2+...+k_n}{n}, \quad (10)$$

где K_{cp} – итоговая балльная оценка метрологической надежности оборудования; k_1, k_2, k_n – балльные оценки метрологической надежности оборудования по отдельным параметрам; n – количество балльных оценок метрологической надежности оборудования по отдельным параметрам.

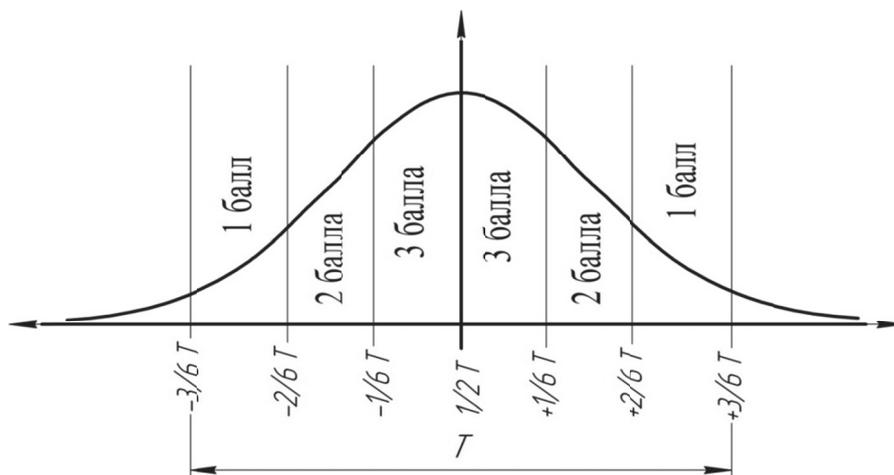


Рисунок 3 – оценка метрологической надежности оборудования

Таблица 2

Оценка точности оборудования	Срок эксплуатации оборудования по отношению к установленному сроку службы					
	до 50 %	51-100 %	101-125 %	126-150 %	151-175 %	176-200%
Высокая	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
Средняя	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012
Низкая	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013

Полученное значение K_{cp} следует округлить до целого значения: значение $K_{cp} = 3$ соответствует высокой метрологической надежности оборудования, $K_{cp} = 2$ соответствует средней метрологической надежности оборудования, $K_{cp} = 1$ соответствует низкой метрологической надежности оборудования.

Вторым важным критерием, влияющим на метрологическую надежность, является срок эксплуатации оборудования. Примем установленный срок эксплуатации за 100% и оценим вероятность метрологического отказа оборудования в зависимости от времени эксплуатации и оценки точности метрологических характеристик оборудования (таблица 2) [1,7].

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ОШИБКИ

Наиболее важным критерием при оценке вероятности возникновения методической ошибки является оценка точности выполнения отдельных проверок по методики проведения испытаний (например, после испытаний на воздействие повышенной влажности воздуха, как правило, выполняют две проверки – проверка сопротивления изоляции и проверка электрической прочности изоляции). Их оценка должна производиться на основе результатов верификации метода, внутрилабораторного контроля или межлабораторных сличительных испытаний аналогично тому, как проводится оценка точности поддержания ВВФ испытательным оборудованием, погрешности средств измерения.

Оценку характеристики точности методики следует считать

- высокой (3 балла), если полученное при верификации, внутрилабораторной контроле или межлабораторных сличительных испытаний значение характеристик точности методики проведения испытаний лежит в диапазоне $\pm \frac{1}{6}T$ от середины поля допуска, где T – ширина диа-

пазона установленных характеристик точности метода испытаний. В качестве таких характеристик могут выступать повторяемость, прецизионность, либо точность метода [10, 11];

- средней (2 балла), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{1}{6} \dots \frac{2}{6}\right)T \cup -\left(\frac{1}{6} \dots \frac{2}{6}\right)T$,

- низкой (1 балл), если полученное при аттестации значение лежит в диапазоне $+\left(\frac{2}{6} \dots \frac{3}{6}\right)T \cup -\left(\frac{2}{6} \dots \frac{3}{6}\right)T$.

Вторым критерием от которого зависит вероятность возникновения методической ошибки при проведении проверки – сложность. Оценка сложности выполнения проверки должна осуществляться работниками лаборатории, непосредственно занятыми проведением испытаний, по трехбалльной системе. В данном случае общий балл следует по формуле (11).

$$M_{cp} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n}, \quad (11)$$

где M_{cp} – итоговая балльная оценка сложности выполнения проверки по методики проведения испытаний; m_1, m_2, m_n – балльные оценки сложности проведения проверки; n – количество работников, участвовавших в оценке. Вероятность методической ошибки проведения проверки $P(c_n)$ может быть количественно оценена по таблице 3.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, модель управления рисками предоставления недостоверных результатов испытаний – дерево отказов испытательной лаборатории как социально-технической системы – позволяет выявить базовые события, приводящие к предоставлению недостоверных результатов испытаний:

1) ошибки персонала (за исключением тех, что имеют отношение к саботажу, диверсии, раскрытию конфиденциальной информации, нарушению беспристрастности проведения испытаний и т.д.);

Таблица 3

Оценка характеристик точности проверки	Сложность выполнения проверки		
	Высокая	Средняя	Низкая
Высокая	0,001	0,003	0,005
Средняя	0,002	0,004	0,006
Низкая	0,003	0,005	0,007

2) метрологический отказ оборудования;
3) несовершенство методики проведения испытаний.

Для удобства анализа рисков, разработки предупреждающих и корректирующих мероприятий приводящие к получению недостоверных результатов испытаний события следует группировать по методам проведения испытаний. В свою очередь, разработанные для методов испытаний с высокой вероятностью отказа, корректирующие и предупреждающие мероприятия должны включать в себя:

1) обучение персонала на курсах, соответствующих области деятельности испытательной лаборатории; ужесточение контроля полученных знаний;

2) стимулирование передачи знаний от более опытных работников испытательной лаборатории, самообразования;

3) создание условий, снижающих отток квалифицированных кадров (материальное стимулирование, развитие корпоративной культуры и т.д.);

4) планово-предупредительный ремонт, настройка и т.д. для оборудования, метрологические характеристики которого приближаются к границами поля допуска;

5) обновление парка средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования;

6) совершенствование методик проведения испытаний.

Снижение вероятности предоставления лабораторией недостоверных результатов испытаний, что позволит улучшить качество продукции за счет принятия более обоснованных конструкторских и технологических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (введен в действие Приказом Росстандарта от 15.07.2019 N 385-ст) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332887/ (дата обращения: 15.02.2022)
- Чепегин, И.В. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / И. В. Чепегин. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2017. – 156 с.: схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500621> (дата обращения: 15.02.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-1290-5. – Текст : электронный.
- Леонова, О.В. Надежность механических систем : учебное пособие / О. В. Леонова. – М.: Альтаир : МГАВТ, 2014. – 179 с.: ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429858> (дата обращения: 15.02.2022). – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.
- Горбунова, Т.С. Измерения, испытания и контроль. Методы и средства : учебное пособие / Т. С. Горбунова. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2012. – 108 с. : ил. – Режим доступа: по подписке.– URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258770> (дата обращения 17.02.2022). – Библиогр.: с. 103. – ISBN 978-5-7882-1321-7. – Текст: электронный.
- Безопасность и надежность технических систем: учебное пособие. – Москва : Логос, 2004. – 376 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84762> (дата обращения: 21.02.2022). – ISBN 978-5-98704-115-5. – Текст : электронный.
- Приказ Минэкономразвития России от 26.10.2020 N 707 (ред. от 30.12.2020) «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации» (Зарегистрировано в Минюсте России 16.11.2020 N 60907) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367928/ (дата обращения: 21.02.2022)
- Кане, М.М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: Учебное пособие / М. М. Кане, Б.В. Иванов, В.Н. Корешков, А.Г. Схиртладзе. – СПб.: Питер, 2008. – 560 с.: ил. – (Серия «Учебное пособие»).
- ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529:2013) Межгосударственный стандарт. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) (введен в действие Приказом Росстандарта от 10 июня 2016 г. N 604-ст) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136066> (дата обращения: 21.02.2022)
- ГОСТ Р 8.568-2017 Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные поня-

- тия (введен в действие Приказом Росстандарта от 29 декабря 2017 г. N 2121-ст) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158321> (дата обращения: 21.02.2022)
10. Р 50.2.060-2008. Государственная система обеспечения единства измерений. Внедрение стандартизованных методик количественного химического анализа в лаборатории. Подтверждение соответствия установленным требованиям (утверждены и введены в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2008 г. N 320-ст) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069291> (дата обращения: 24.02.2022)
11. *Афанасьев П.А.* Верификация методов испытаний низковольтного оборудования / П.А. Афанасьев, А.Г. Ивахненко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2021. - № 12. - С. 343 - ISSN 2071-6168. - Текст: электронный.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR RISK MANAGEMENT OF THE PROVISION OF UNRELIABLE TEST RESULTS

© 2023 P.A. Afanasiev

South-Western State University, Kursk, Russia

The article is devoted to the development of a risk management model for the provision of unreliable test results - the fault tree of a testing laboratory as a socio-technical system. On the basis of the constructed fault tree, the reasons for the provision of unreliable test results by the laboratory were identified, recommendations were given for their quantitative assessment, corrective and preventive measures.

Key words: risk management, reliability, testing, testing laboratory, quality management.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-79-87

EDN: FQXWIN

REFERENCES

1. GOST ISO/IEC 17025-2019. Interstate standard. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (enacted by the Order of Rosstandart dated July 15, 2019 N 385-st) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332887/ (Accessed: February 15, 2022)
2. *Chepegin, I.V.* Reliability of technical systems and technogenic risk: study guide / I. V. Chepegin; Kazan National Research Technological University. - Kazan: Kazan Research Technological University (KNITU), 2017. - 156 p. : diagrams, tables, illustrations. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500621> (date of access: 02/15/2022). - Bibliography. in book. - ISBN 978-5-7882-2290-5. - Text : electronic.
3. *Leonova, O.V.* Reliability of mechanical systems: textbook: [16+] / O. V. Leonova; Moscow State Academy of Water Transport. - Moscow: Altair: MGAVT, 2014. - 179 p. : illustrations, tables, schemes. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429858> (date of access: 02/15/2022). - Bibliography. in book. - Text : electronic.
4. *Gorbunova, T.S.* Measurements, tests and control. Methods and means: textbook / T.S. Gorbunova; Ministry of Education and Science of Russia, Kazan National Research Technological University. - Kazan: Kazan Research Technological University (KNITU), 2012. - 108 p. : ill. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258770> (accessed 17.02.2022). - Bibliography: p. 103. - ISBN 978-5-7882-1321-7. - Text : electronic.
5. Safety and reliability of technical systems: textbook. - Moscow: Logos, 2004. - 376 p. - Access mode: by subscription. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84762> (date of access: 02/21/2022). - ISBN 978-5-98704-115-5. - Text: electronic.
6. Order of the Ministry of Economic Development of Russia dated October 26, 2020 N 707 (as amended on December 30, 2020) «On approval of the accreditation criteria and the list of documents confirming the compliance of the applicant, accredited person with the accreditation criteria» (Registered in the Ministry of Justice of Russia on November 16, 2020 N 60907) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367928/ (date of access: 02/21/2022)
7. *Kane M.M., Ivanov B.V., Koreshkov V.N., Skhirtladze A.G.* Systems, methods and tools of quality management: Textbook. - St. Petersburg: Peter, 2008. - 560 p.: ill. - (Series «Tutorial»).
8. GOST 14254-2015 (IEC 60529:2013) Interstate standard. Degrees of protection provided by shells (IP Code) (enacted by Order of Rosstandart dated June 10, 2016 N 604-st) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136066> (date of access: 21.02.2022)
9. GOST R 8.568-2017 National standard of the Russian Federation. State system for ensuring uniformity of measurements. Test equipment certification. Basic concepts (enacted by the Order of Rosstandart dated December 29, 2017 N 2121-st) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158321> (date of access: 21.02.2022)
10. R 50.2.060-2008. State system for ensuring uniformity of measurements. Implementation of standardized methods for quantitative chemical analysis in the laboratory. Confirmation of compliance with

the established requirements (approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 25, 2008 N 320-st) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069291> (date of access: 24.02.2022)

11. *Afanasiev P.A.* Verification of test methods for low-voltage equipment / *P.A. Afanasiev, A.G. Ivakhnenko* // Proceedings of the Tula State University. Engineering Sciences. – 2021. – No. 12. – p. 343 – ISSN 2071-6168. – Text : electronic.

УДК 629.78 : 681.51

СОГЛАСОВАННОЕ НАВЕДЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ МИНИ-СПУТНИКАМИ В НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВКАХ КОСМИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕОБОЗОРА

© 2023 Е.И. Сомов^{1,2}, С.А. Бутырин^{1,2}, С.Е. Сомов^{1,2}, Т.Е. Сомова²

¹ Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Россия

² Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 14.04.2023

Исследуются проблемы согласованного наведения и управления мини-спутниками в низкоорбитальных группировках землеобзора. Синтез законов наведения основан на явных соотношениях, которые связывают движение изображения в фокальной плоскости телескопа с пространственным движением спутника относительно поверхности Земли. Представлены разработанные алгоритмы площадной съемки, которая выполняется группировками мини-спутников на солнечно-синхронных орбитах, и результаты компьютерной имитации, демонстрирующие их эффективность.

Ключевые слова: площадная космическая съемка, группировка мини-спутников, наведение и управление.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-88-96

EDN GCFYKS

ВВЕДЕНИЕ

Для мини-спутников в составе низкоорбитальных группировок оптико-электронного и радиолокационного наблюдения Земли актуальны проблемы наведения, навигации и управления. Такие мини-спутники имеют массу до 500 кг и крупногабаритные панели солнечных батарей (СБ) для энергоснабжения бортовой аппаратуры, рис. 1, в том системы управления движением (СУД) с бесплатформенной инерциальной навигационной системой (БИНС), которая корректируется сигналами навигационных спутников и кластера звёздных датчиков. Применение микро- и мини-спутников наблюдения

на низких орбитах имеет ряд достоинств как в конструкции космического аппарата (КА), так и в задачах его миссии при снижении стоимости разработки и запуска на орбиту, а также получении изображений с высоким пространственным разрешением на местности. Современные исследования, разработки и достижения по этой тематике представлены в обзорной статье [1], включая проблемы СУД как для оптико-электронных (SkySat), так и для радиолокационных спутников с синтезированной апертурой (Capella 36), включая перспективные КА наблюдения на основе новейших технологий.

К СУД спутника оптико-электронного землеобзора предъявляются такие основные требования: (i) наведение линии визирования телескопа на заданную часть земной поверхности

Сомов Евгений Иванович, ведущий научный сотрудник отдела «Динамики и управления движением» СамНЦ РАН; начальник отдела «Навигации, наведения и управления движением» НИИ Проблем надежности механических систем СамГТУ. E-mail e_somov@mail.ru

Бутырин Сергей Анфимович, старший научный сотрудник отдела «Динамики и управления движением» СамНЦ РАН; начальник лаборатории «Моделирования систем управления» НИИ Проблем надежности механических систем СамГТУ. E-mail butyrinsa@mail.ru

Сомов Сергей Евгеньевич, научный сотрудник отдела «Динамики и управления движением» СамНЦ РАН; научный сотрудник отдела «Навигации, наведения и управления движением» НИИ Проблем надежности механических систем СамГТУ. E-mail s_somov@mail.ru

Сомова Татьяна Евгеньевна, научный сотрудник отдела «Навигации, наведения и управления движением» НИИ Проблем надежности механических систем СамГТУ. E-mail te_somova@mail.ru

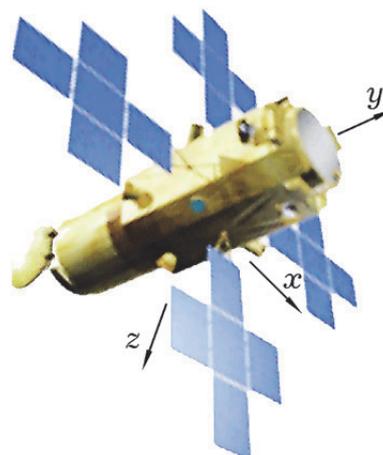


Рис. 1. Мини-спутник землеобзора

при сканирующем маршруте (СМ) заданного направления; (ii) стабилизация скорости движения изображения (СДИ) на матрицах оптико-электронных преобразователей (ОЭП) в фокальной плоскости телескопа. При съемке заданных участков поверхности Земли совокупностью маршрутов их сканирования телескопом матрицы ОЭП работают в режиме временной задержки и накопления (ВЗН).

Законы углового наведения такого спутника представлены последовательностью СМ и поворотных маневров (ПМ) [2,3]. Срок службы до 15 лет, быстрые ПМ спутника, а также приемлемые массогабаритные и энергетические характеристики послужили стимулом для разработки СУД с применением силовых гироскопических кластеров (СГК) на основе гиродинов (ГД) – двухступенных силовых гироскопов. Исполнительными органами СУД являются также магнитный привод (МП) и электрореактивные двигательные установки с цифровым управлением. За последние 40 лет выполнено много исследований по глобальным орбитальным структурам различных спутников [4-11], включая построение группировок мини-спутников землеобзора [12,13].

В данной статье кратко представлены новые результаты авторов по согласованному наведению и управлению движением мини-спутников в низкоорбитальных группировках при сканирующей площадной оптико-электронной съемке.

ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Используются стандартные системы координат (СК) – инерциальная (ИСК, базис \mathbf{I}_0) с началом в центре Земли O_0 , геодезическая Гринвичская (ГСК, базис \mathbf{E}), горизонтная (ГорСК, базис \mathbf{H}) с эллипсоидальными геодезическими координатами L, B и H , орбитальная (ОСК) и связанная с КА (ССК, базис \mathbf{V}) системы координат с началом в его центре масс O . Вводятся также телескопная СК (ТСК, базис \mathbf{S}) с началом в центре оптического проектирования S и СК поля изображения $O_i x^i y^i z^i$ (ПСК, базис \mathbf{F}) с началом в центре O_i фокальной плоскости телескопа. На поверхности Земли маршрут съемки отображается следом проекций ОЭП, составляя полосу захвата. Маршруту съемки соответствует закон углового наведения КА, при котором происходит требуемое движение оптического изображения на поверхности ОЭП.

Ориентация ССК в ИСК определяется кватернионом $\mathbf{\Lambda}$ и вектором $\boldsymbol{\sigma}$ модифицированных параметров Родрига (МНР), применяются векторы угловой скорости $\boldsymbol{\omega}$ и углового ускорения $\boldsymbol{\varepsilon}$, а также обозначения $\text{col}(\cdot) = \{\cdot\}$, $\text{line}(\cdot) = [\cdot]$, $(\cdot)^t$, $[\mathbf{a} \times]$ и символы \circ, \sim для векторов, матриц и кватернионов. Ориентация ССК относительно ОСК определяется углами крена ϕ_1 , рыскания

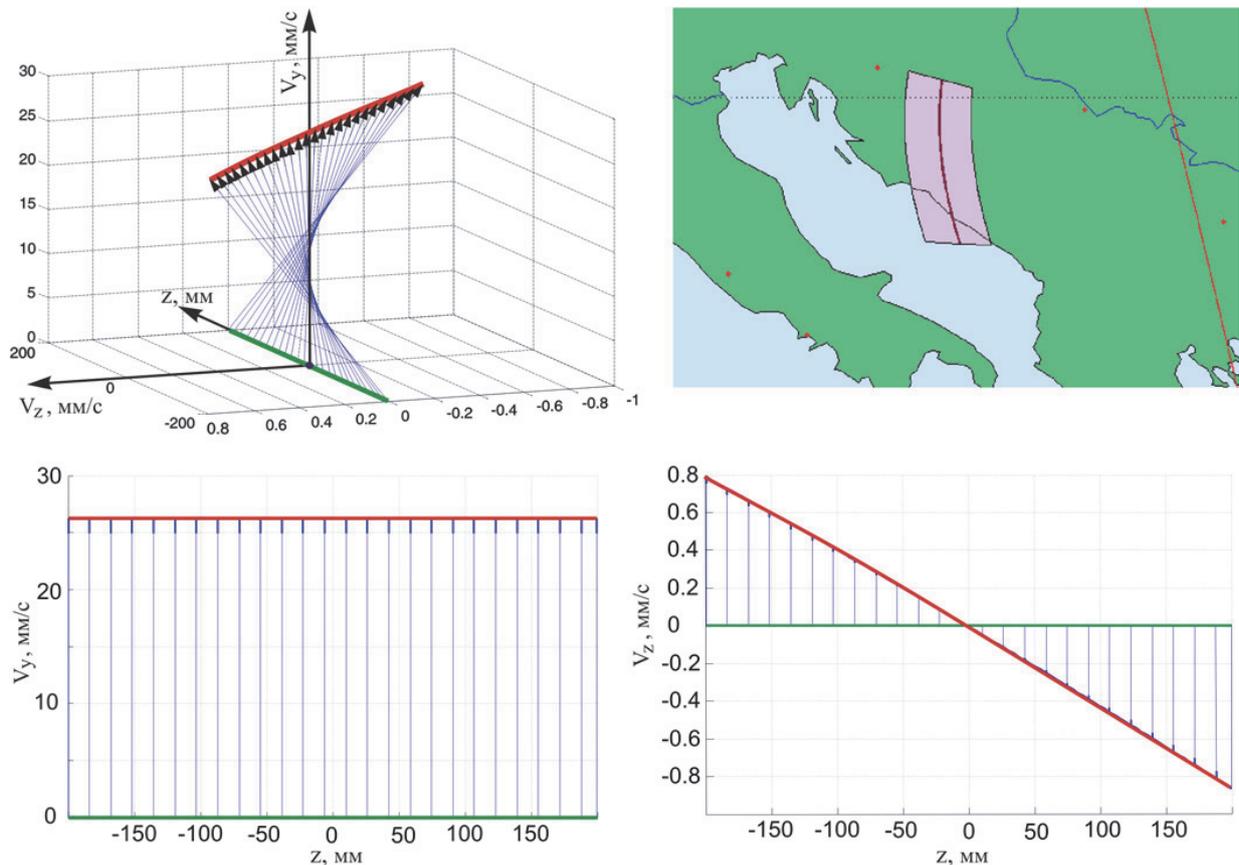


Рис. 2. Распределение продольных и поперечных СДИ при съемке с выравниванием

ϕ_2 и тангажа ϕ_3 , которые применяются в последовательности 312.

При известном орбитальном движении центра масс КА на основе известных приёмов космической геодезии авторами созданы оригинальные аналитические методы синтеза алгоритмов наведения КА при сканирующей съёмке, которые основаны на методах анализа поля СДИ наземных объектов на матрицах ОЭП с ВЗН. Задача вычисления кватерниона ориентации Λ связанного базиса \mathbf{B} относительно инерциального базиса \mathbf{I}_e , векторов угловой скорости $\boldsymbol{\omega}$ и ускорения $\boldsymbol{\varepsilon}$ в виде явных функций на заданном интервале времени, решается на основе векторного сложения всех элементарных движений телескопа (ТСК) в ГСК с учетом текущей перспективы наблюдения при задании начальных координат наземного объекта и геодезического азимута A сканирования.

Пусть векторы-столбцы $\boldsymbol{\omega}_e^s$ и \mathbf{v}_e^s представляют в ТСК соответственно угловую скорость и скорость поступательного движения центра масс КА относительно ГСК, матрица $\tilde{\mathbf{C}} = | \tilde{c}_j |$ определяет ориентацию ТСК относительно ГСК, а скалярная функция $D(t)$ представляет дальность наблюдения вдоль оси визирования. Тогда для любой точки фокальной плоскости телескопа продольная $\tilde{V}_y^i(\tilde{y}^i, \tilde{z}^i)$ и поперечная $\tilde{V}_z^i(\tilde{y}^i, \tilde{z}^i)$ составляющие вектора нормированной СДИ вычисляются по элегантному аналитическому соотношению

$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_y^i \\ \tilde{V}_z^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{y}^i & 1 & 0 \\ \tilde{z}^i & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q^i \tilde{v}_{e1}^s - \tilde{y}^i \omega_{e3}^s + \tilde{z}^i \omega_{e2}^s \\ q^i \tilde{v}_{e2}^s - \omega_{e3}^s - \tilde{z}^i \omega_{e1}^s \\ q^i \tilde{v}_{e3}^s + \omega_{e2}^s + \tilde{y}^i \omega_{e1}^s \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Здесь $\tilde{y}^i = y^i / f_e$ и $\tilde{z}^i = z^i / f_e$ являются нормированными фокальными координатами с эквивалентным фокусным расстоянием телескопа f_e , функция $q^i = 1 - (\tilde{c}_{21} \tilde{y}^i + \tilde{c}_{31} \tilde{z}^i) / \tilde{c}_{11}$ и компоненты вектора нормированной скорости поступательного движения $\tilde{v}_{ei}^s = v_{ei}^s(t) / D(t)$, $i = 1, 2, 3$. С помощью численного интегрирования кинематического уравнения с применением (1) получаются искомые компоненты вектора-столбца $\boldsymbol{\omega}_e^s$, кватерниона Λ и вектора МПР $\boldsymbol{\sigma}$. Далее с помощью векторных сплайнов выполняется высокоточная аппроксимация изменения кинематических параметров углового наведения и аналитически в явном виде получают векторы $\boldsymbol{\omega}(t)$, $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ и $\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}(t)$ при сканирующей оптико-электронной съёмке.

Созданные методы аналитического синтеза законов углового наведения конкретизированы для трассовой съёмки, протяженных криволинейных маршрутов с выравниванием продоль-

ной СДИ, для площадного землеобзора с последовательностью ортодромических маршрутов, а также для получения стереоизображений участков поверхности Земли. Например, на рис. 2 представлены распределения СДИ $V_y(0, z)$ и $V_z(0, z)$ в естественной физической размерности на центральной линии ОЭП при сканирующей съёмке с выравниванием продольной СДИ.

Нетрудно убедиться, что в (1) оба компонента вектора-столбца СДИ нелинейно зависят от положения элемента изображения относительно центра кадра – имеется полиномиальная зависимость второй степени относительно координат \tilde{y}^i и \tilde{z}^i . Указанная нелинейность и некомпенсируемое изменение дальности наблюдения $D(t)$ из-за поступательного движения КА относительно земной поверхности приводят к существенному отличию векторов СДИ в различных точках оптико-электронной приёмной структуры. Этот факт накладывает принципиальное ограничение на мгновенное поле зрения телескопа при любом типе космической съёмки.

Задача статьи заключается в разработке законов координированного углового наведения и управления мини-спутниками в низкоорбитальных группировках при площадном землеобзоре.

ОРТОДРОМИЧЕСКИЕ МАРШРУТЫ

Осевые линии ортодромических сканирующих маршрутов соответствуют геодезическим линиям заданной высоты над земным эллипсоидом, т.е. здесь оптико-электронное сканирование выполняется по дуге «большого геодезического круга» между точками начала и конца маршрута с заданными геодезическими координатами и заданным временем начала выполнения маршрута. При такой оптико-электронной съёмке с ВЗН длительностью $\tau = t_f - t_i$ для моментов времени $t \in T \equiv [t_i, t_f]$, когда на матрицах ОЭП формируется изображение маршрута, в точке $O_i(0,0)$ должны выполняться два условия: (i) компоненты вектора СДИ удовлетворяют соотношениям $\tilde{V}_y^i(0,0) = \tilde{W}_y^i$; $\tilde{V}_z^i(0,0) = 0$, где $\tilde{W}_y^i = W_y^i / f_e$ и $W_y^i = -W_y^s / D = \text{const}$ – заданная продольная СДИ электронного изображения; (ii) вектор СДИ перпендикулярен оси $O_i z^i$ ПСК и след оси визирования телескопа совпадает с дугой «большого геодезического круга».

При заданных геодезических координатах точек начала и конца ортодромического маршрута геодезический азимут $A(t_i)$ в начальный момент времени t_i такой сканирующей съёмки определяется в горизонтном базисе по явным аналитическим соотношениям. С другой стороны, ортодромический маршрут можно опреде-

лить и другим способом – на основе заданных значений геодезических координат начальной точки маршрута и геодезического азимута $A(t_i)$ в начальный момент времени t_i , но в этом варианте необходимо выполнять численный расчет дуги «большого геодезического круга» как границу сечения земного эллипсоида плоскостью, проходящей через центр Земли и содержащей орт направления сканирования в начальный момент времени с заданным геодезическим азимутом $A(t_i)$.

Основная сложность синтеза закона наведения КА при ортодромической съемке состоит в соблюдении условия (ii). Созданный авторами метод синтеза закона такого наведения основан на двух этапах расчета с «внешним» назначением корректирующих поправок для приближенного обеспечения одновременно как ортогональности вектора СДИ в центре фокальной плоскости к оси $O_i z^i$, так и совпадения следа оси визирования телескопа с дугой «большого геодезического круга». Здесь на первом этапе формируется набор точек, соответствующих моментам времени t_i и принадлежащих дуге указанного «геодезического круга», в которых орт направления сканирования имеет геодезический азимут, совпадающий с геодезическим азимутом орта, касательного к дуге «большого геодезического круга». С этой целью определяется орт, ортогональный плоскости «большого геодезического круга» и поворотом вокруг него на малый угол φ орта радиус-вектора, направленного из центра Земли в начальную точку маршрута, вычисляются параметры следа осевой линии маршрута на поверхности Земли и далее: 1) задается малая вариация угла φ и решается задача определения кватерниона ориентации КА, при котором проекция орта оси крена ССК на горизонтную плоскость направлена по текущему геодезическому азимуту, а также определяются соответствующие вектор угловой скорости КА и вектор СДИ в центре фокальной плоскости телескопа; 2) считая, что на малом периоде T_u управления ориентацией КА при малости угла φ вектор угловой скорости КА является постоянным при линейной зависимости продольной СДИ от вариации угла φ , по явному соотношению вычисляется требуемое значение угла φ , которое соответствует заданной продольной СДИ в центре фокальной плоскости телескопа.

Этот кратко описанный алгоритм имеет ряд методических погрешностей, основная погрешность обусловлена предположением постоянства вектора угловой скорости КА на периоде управления T_u . При типовых параметрах космической ортодромической съемки авторами выполнены тестовые расчеты законов наведения в полной модели движения КА по указан-

ному алгоритму. В результате установлен «уход» от дуги «большого геодезического круга» всего на десятки метров при длине этой дуги 1600 км, а также практически полное выполнение требований к заданному значению вектора СДИ в центре фокальной плоскости, что соответствует допустимым рассогласованиям в кинематических параметрах наведения.

НАВЕДЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

Синтез законов наведения КА при площадном землеобзоре с помощью последовательности ортодромических маршрутов, оси которых соответствуют геодезическим маршрутам сканирующей съемки, основан на разработанных авторами аналитических соотношениях. Здесь допускается произвольный азимут расположения площадки землеобзора, составленной из 3 либо 5 маршрутов сканирующей съемки (сканов). Предполагается, что матрицы ОЭП обладают режимом реверса.

При трех сканах планирование площадного обзора выполняется в такой последовательности:

(i) определяется допустимый угол отклонения линии визирования телескопа от надира, при котором удовлетворяются требования по разрешению на местности;

(ii) рассчитывается ширина захвата центрального (второго) скана в предположении, что в требуемый момент времени съемки центральная точка этого скана будет находиться вблизи надира;

(iii) при заданной длине центрального скана определяются геодезические координаты его начальной и конечной точек, выполняется кинематический расчет этого скана в прямом и обратном времени от его центральной точки и вычисляются моменты времени, начала и конца скана;

(iv) оцениваются временные затраты на поворотные маневры КА с учетом ограничений;

(v) вычисляются геодезические координаты и моменты времени точек начала и конца третьего (правого) и первого (левого) сканов с учетом необходимого перекрытия смежных сканов и оценок временных затрат на поворотные маневры спутника;

(vi) выполняется кинематический расчет совокупности СМ и ПМ спутника с оценкой запасов выполнения всех заданных ограничений при реализации требуемой площадной съемки.

В СУД применяется СГК на основе четырех ГД по схеме 2-SPE (2 Scissored Pair Ensemble). Свяжем с вектором кинетического момента (КМ) каждого ГД ($p = 1 \div 4$) орт $\mathbf{h}_p(\beta_p)$, положение которого определяется углом β_p . При столбце $\boldsymbol{\beta} = \{\beta_p\}$ вектор нормированного КМ СГК $\mathbf{h}(\boldsymbol{\beta}) = \sum \mathbf{h}_p(\beta_p)$ и век-

тор управляющего механического момента СГК $\mathbf{M}^g = -h_g \mathbf{A}_h(\boldsymbol{\beta}) \mathbf{u}^g; \dot{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{u}^g$, где столбец $\mathbf{u}^g = \{u_p^g\}$, матрица $\mathbf{A}_h(\boldsymbol{\beta}) = \partial \mathbf{h} / \partial \boldsymbol{\beta}$ и h_g представляет собственный КМ каждого ГД.

Модель углового движения КА учитывает упругость его конструкции и имеет вид

$$\dot{\Lambda} = \Lambda \circ \boldsymbol{\omega} / 2;$$

$$\mathbf{J} \dot{\boldsymbol{\omega}} + \mathbf{D}_q \ddot{\mathbf{q}} = -[\boldsymbol{\omega} \times] \mathbf{G} + \mathbf{M}^g + \mathbf{M}^m + \mathbf{M}^d; \quad (2)$$

$$\mathbf{D}_q^t \dot{\boldsymbol{\omega}} + \mathbf{A}^q \ddot{\mathbf{q}} = -\mathbf{A}^q (\mathbf{V}_q \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{W}_q \mathbf{q}),$$

где $\mathbf{A}^q = \text{diag}\{\mu_j\}$, $\mathbf{V}_q = \text{diag}\{\frac{\delta}{\pi} \Omega_j^s\}$,

$$\mathbf{W}_q = \text{diag}\{(\Omega_j^s)^2\}; \quad \mathbf{G} = \mathbf{J} \boldsymbol{\omega} + \mathbf{H} + \mathbf{D}_q \dot{\mathbf{q}};$$

$\mathbf{H} = h_g \mathbf{h}(\boldsymbol{\beta})$; \mathbf{M}^m – вектор механического момента магнитного привода, вектор \mathbf{M}^d представляет внешние возмущающие моменты, а вектор \mathbf{M}^g управляющего момента СГК формируется в виде $\mathbf{M}^g = -\mathbf{H}'$, где $(\cdot)'$ – символ локальной производной по времени.

При моделировании корпуса КА в виде свободного ($\mathbf{M}^d = \mathbf{0}$) твердого тела с тензором инерции \mathbf{J} и балансе СУО по вектору КМ ($\mathbf{G} = \mathbf{J} \boldsymbol{\omega} + \mathbf{H} \equiv \mathbf{G}^0 = \mathbf{0}$) модель динамики принимает простейший вид $\dot{\boldsymbol{\omega}} = \boldsymbol{\varepsilon} \equiv \mathbf{J}^{-1} \mathbf{M}^g$, а модель углового движения КА (2) – кинематическое представление

$$\dot{\Lambda} = \Lambda \circ \boldsymbol{\omega} / 2; \quad \dot{\boldsymbol{\omega}} = \boldsymbol{\varepsilon}; \quad \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \boldsymbol{\varepsilon}' = \mathbf{v}, \quad (3)$$

когда модули векторов $\boldsymbol{\omega}(t)$, $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ и $\boldsymbol{\varepsilon}'(t)$ ограничены: $|\boldsymbol{\omega}(t)| \leq \bar{\omega}$, $|\boldsymbol{\varepsilon}(t)| \leq \bar{\varepsilon}$ и $|\boldsymbol{\varepsilon}'(t)| \leq \bar{\varepsilon}'$. Это обусловлено ограниченностью областей вариации векторов КМ и управляющего момента СГК, а также допустимым темпом его изменения. Для ортодромических СМ разработаны алгоритмы наведения КА в виде векторных сплайнов МПР $\boldsymbol{\sigma}(t)$ 7-го порядка [14].

Для кинематической модели углового движения (3) и ограничениях на модули векторов $\boldsymbol{\omega}(t)$, $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ и $\boldsymbol{\varepsilon}'(t) = \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}(t)$ возникает задача синтеза закона наведения КА при его поворотных манёврах на интервале времени $t \in T_p \equiv [t_i^p, t_f^p]$ с краевыми условиями

$$\Lambda(t_i^p) = \Lambda_i; \quad \boldsymbol{\omega}(t_i^p) = \boldsymbol{\omega}_i; \quad \boldsymbol{\varepsilon}(t_i^p) = \boldsymbol{\varepsilon}_i;$$

$$\Lambda(t_f^p) = \Lambda_f; \quad \boldsymbol{\omega}(t_f^p) = \boldsymbol{\omega}_f; \quad \boldsymbol{\varepsilon}(t_f^p) = \boldsymbol{\varepsilon}_f; \quad \boldsymbol{\varepsilon}'(t_f^p) = \boldsymbol{\varepsilon}'_f.$$

Для синтеза законов наведения КА при таких разворотах авторами разработан аналитический метод, основанный на необходимом и достаточном условии разрешимости классической задачи Дарбу. Здесь функции $\boldsymbol{\omega}(t)$, $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ и $\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}(t)$ представляются в аналитическом виде как композиция гладко сопряженных векторных сплайнов различных порядков. При синтезированном законе углового наведения КА становится

известным программное угловое движение КА $\Lambda^p(t)$, $\boldsymbol{\omega}^p(t)$ и $\dot{\boldsymbol{\omega}}^p(t) = \boldsymbol{\varepsilon}^p(t)$ в ИСК. Кватерниону рассогласования $\mathbf{E} = (e_0, \mathbf{e}) = \tilde{\Lambda}^p \circ \Lambda$ с вектором $\mathbf{e} = \{e_i\}$ соответствуют вектор параметров Эйлера $\mathbf{E} = \{e_0, \mathbf{e}\}$, матрица $\mathbf{C}^e(\mathbf{E}) = \mathbf{I}_3 - 2[\mathbf{e} \times] \mathbf{Q}_e^t$, где $\mathbf{Q}_e = \mathbf{I}_3 e_0 + [\mathbf{e} \times]$, и вектор $\delta \boldsymbol{\phi} = \{\delta \phi_i\} = \{2e_0 e_i\}$ погрешности ориентации. Вектор рассогласования по угловым скоростям вычисляется по формуле $\delta \boldsymbol{\omega} = \{\delta \omega_i\} = \boldsymbol{\omega} - \mathbf{C}^e \boldsymbol{\omega}^p(t)$.

При дискретной фильтрации измеряемого вектора углового рассогласования $\boldsymbol{\varepsilon} = -\delta \boldsymbol{\phi}$ получают значения вектора $\boldsymbol{\varepsilon}_k^f$ в моменты времени t_k , $k \in N_0 = [0, 1, 2, \dots)$ с периодом T_u , которые применяются в рекуррентном дискретном законе управления кластером ГД [3]

$$\mathbf{g}_{k+1} = \mathbf{B} \mathbf{g}_k + \mathbf{C} \boldsymbol{\varepsilon}_k^f; \quad \tilde{\mathbf{m}}_k = \mathbf{K}(\mathbf{g}_k + \mathbf{P} \boldsymbol{\varepsilon}_k^f);$$

$$\mathbf{M}_k^g = \boldsymbol{\omega}_k \times \mathbf{G}_k^0 + \mathbf{J}(\mathbf{C}_k^e \boldsymbol{\varepsilon}_k^p + [\mathbf{C}_k^e \boldsymbol{\omega}_k^p \times] \boldsymbol{\omega}_k + \tilde{\mathbf{m}}_k), \quad (4)$$

где при матрицах $\mathbf{K}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{P}$, $\mathbf{C}_k^e = \mathbf{C}^e(\mathbf{E}(t_k))$ вектор $\mathbf{G}_k^0 = \mathbf{J} \boldsymbol{\omega}_k + \mathbf{H}_k$. Вектор управляющего момента СГК \mathbf{M}_k^g (4) формируется с использованием явной функции распределения КМ и «пересчитывается» в вектор \mathbf{u}_k^g командных угловых скоростей гироскопов.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИМИТАЦИЯ

Компьютерная имитация космической площадной съемки выполнена для двух известных стратегических районов Земли – Объединенных Арабских Эмиратов (ОАЭ) с Ормузским проливом и акватории Мраморного моря с окрестностями Стамбула с солнечно-синхронных орбит высотой 600 км. При компьютерной имитации использовалась динамическая модель миниспутников с массой 250 кг и тензором инерции $\mathbf{J} = \text{diag}(500, 300, 400)$ кг м², когда в составе их СГК применялись четыре ГД с собственным КМ $h_g = 10$ Н м с при периоде цифрового управления $T_u = 0.25$ с.

На рисунке 3 представлены ортодромические сканирующие маршруты КА#1 (три розовых скана) и КА#2 (три желтых скана) площадной съемки ОАЭ и сканирующие маршруты КА#3, КА#4 площадной съёмки Ормузского пролива. Значения долготы восходящего узла (ВУ) Ω орбиты КА #p ($p = 1 \div 4$) с центральным сканом и моментов времени t_i начала первого скана соответствующей площадки землеобзора составили

$$\text{КА\# 1: } \Omega = 60^\circ 40' 50'', \quad t_i = 357.56 \text{ с;}$$

$$\text{КА\# 2: } \Omega = 61^\circ 06' 50'', \quad t_i = 359.00 \text{ с;}$$

$$\text{КА\# 3: } \Omega = 62^\circ 08' 30'', \quad t_i = 387.50 \text{ с;}$$

$$\text{КА\# 4: } \Omega = 63^\circ 06' 30'', \quad t_i = 388.94 \text{ с.}$$

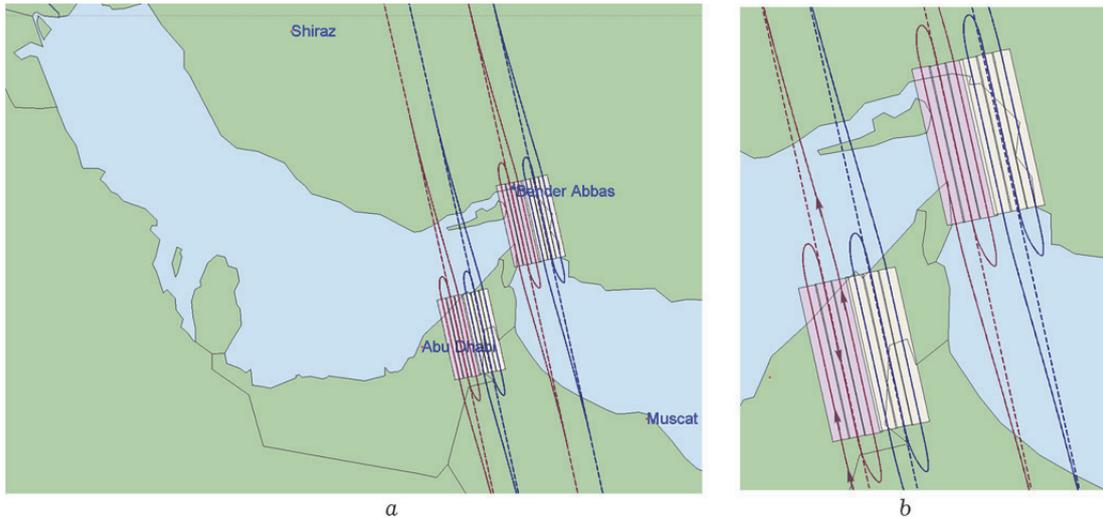


Рис. 3. Площадная сканирующая съемка окрестностей Ормузского пролива: общая картина (а) и детальное представление сканирующих маршрутов (б)

Отсчет времени движения каждого КА выполняется от момента его прохождения ВУ очередного витка орбиты, период орбитального движения всех четырёх КА составляет 5801.23 с.

На земной поверхности расчетная длина сканов равна 150 км, ширина скана с учётом перекрытия составляет 15 км, а общая ширина каждой из двух указанных площадок съёмки равна 90 км.

Планирование съёмки каждой локальной площадки из трёх сканов каждого мини-спутника выполнялось с условием достижения наивысшего качества получаемого изображения – в момент съёмки точек привязки центров этих локальных площадок соответствующие мини-спутники находятся в надире. Таблица 1 представляет основные результаты планирования съёмки первой локальной площадки участка ОАЭ, выполняемого КА #1: моменты времени t_i начала поворотного манёвра (ПМ) либо сканирующего маршрута (СМ), их длительности τ , а также значения требуемой продольной СДИ V_y при выполнении соответствующего СМ (скана). Здесь первый поворотный манёвр (ПМ 1) выполняется КА #1 от его номинального расположения в ОСК к требуемому краевому условию $\Lambda_i, \omega_i, \varepsilon_i, \varepsilon'_i$ в момент времени $t_i = 357.56$ с, когда начинается первый сканирующий маршрут (СМ 1) длительностью $\tau = 16.31$ с при продольной СДИ $V_y = 50$ мм/с.

На рисунке 4 представлен синтезированный закон углового наведения КА #1 в виде явных функций ускорения $\varepsilon = \{\varepsilon\}$, скорости $\omega = \{\omega_i\}$, углового положения в ОСК $\phi = \{\phi_i\}$ и вектора МПР $\sigma = \{\sigma_i\}$. Ошибки СУД КА#1 по угловой скорости $\delta\omega = \{\delta\omega_i\}$ и углам ориента-

ции $\delta\phi = \{\delta\phi_i\}$, а также скорости ГД $\dot{\beta} = \{\dot{\beta}_p\}$ при реализации этого закона наведения, приведены на рис. 5 с участками съёмки, выделенные розовым цветом. Рисунок 6 подробно представляет ошибки СУД КА#1 и скорости ГД при реализации центрального (второго) скана первой локальной площадки при съёмке этого участка ОАЭ.

На рисунке 7 представлена карта с тремя локальными площадками съёмки, каждая при трёх СМ, которые выполняются тремя мини-спутниками – левым (КА#1, розовые сканы), центральным (КА#2, желтые сканы) и правым (КА #3, синие сканы) по расположению их трасс в порядке возрастания долготы ВУ $\Omega_i = 37^\circ.233 + \Delta\Omega \cdot (i - 1)$, где $i = 1:3$, $\Delta\Omega = 0.84^\circ$, i – номер мини-спутника.

Здесь центральный скан КА#2 имеет длину 150 км и ширину 15.0 км, с учетом 5%-го перекрытия сканов каждая локальная площадка, имеет размеры 150x44.5 км², а три таких смежных площадки – площадь 150x131.8 км² земной поверхности.

На рисунке 8 представлен закон углового наведения КА #3 с функциями ускорения $\varepsilon = \{\varepsilon\}$, скорости $\omega = \{\omega_i\}$, углового положения в ОСК $\phi = \{\phi_i\}$ и вектора МПР $\sigma = \{\sigma_i\}$. Ошибки СУД КА#3 по угловой скорости $\delta\omega = \{\delta\omega_i\}$ и углам ориентации $\delta\phi = \{\delta\phi_i\}$, а также скорости ГД $\dot{\beta} = \{\dot{\beta}_p\}$ при реализации этого закона наведения, приведены на рис. 9 с участками съёмки, выделенные синим цветом.

Принятая здесь последовательность сканов земной поверхности происходит в западном направлении, т.е. «справа-налево». При таком обходе восточный уход наблюдаемых объектов на поверхности Земли из-за её вращения относительно плоскости орбиты компенсируется

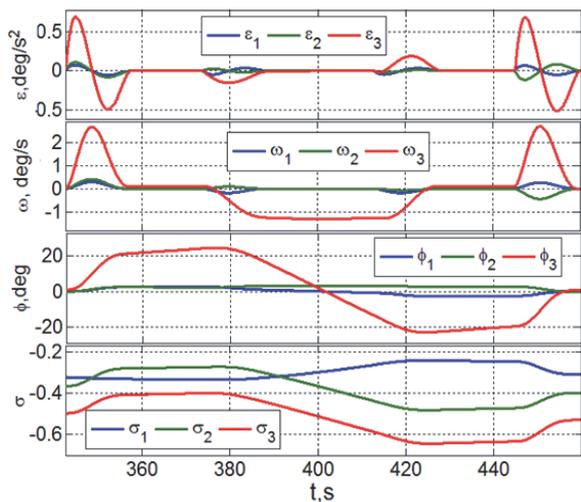


Рис. 4. Закон углового наведения КА #1

Таблица 1. Площадка ОАЭ, КА #1, ПМ и СМ

ПМ и СМ	t_i , с	τ , с	V_y , мм/с
ПМ 1: ОСК \Rightarrow СМ 1	342.56	15.00	
	СМ 1	357.56	16.31
ПМ 2: СМ 1 \Rightarrow СМ 2	373.88	14.87	
	СМ 2	388.75	24.15
ПМ 3: СМ 2 \Rightarrow СМ 3	412.88	15.63	
	СМ 3	428.50	16.43
ПМ 4: СМ 3 \Rightarrow ОСК	444.94	15.00	

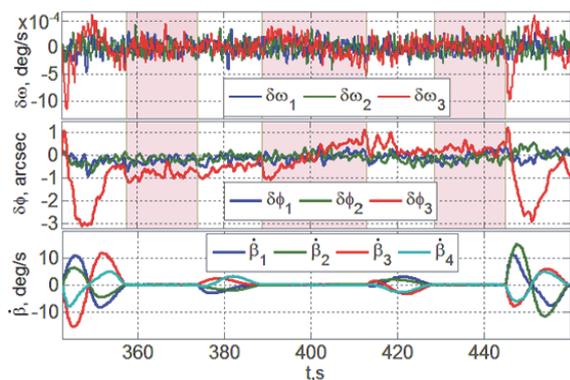


Рис. 5. КА#1, ошибки СУД и скорости ГД

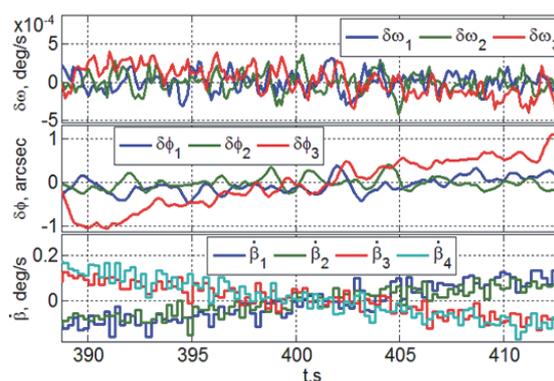


Рис. 6. КА#1, скан 2, ошибки СУД и скорости ГД

движением на запад при смене сканов. Такой вариант обхода сканов предпочтителен для мини-спутников землеобзора с солнечно-синхронной орбиты, т.к. уменьшает диапазон изменения и максимальные значения углов крена мини-спутника при сканирующей площадной съёмке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены проблемы согласованного наведения и управления движением мини-спутников в низкоорбитальных группировках землеобзора. Кратко описаны методы синтеза законов наведения, основанные на явных соотношениях, которые связывают движение изображения в фокальной плоскости телескопа с пространственным движением мини-спутника относительно поверхности Земли. Представлены разработанные алгоритмы площадной съёмки, которая выполняется группировками мини-спутников на солнечно-синхронных орбитах, и результаты компьютерной имитации, демонстрирующие их эффективность.

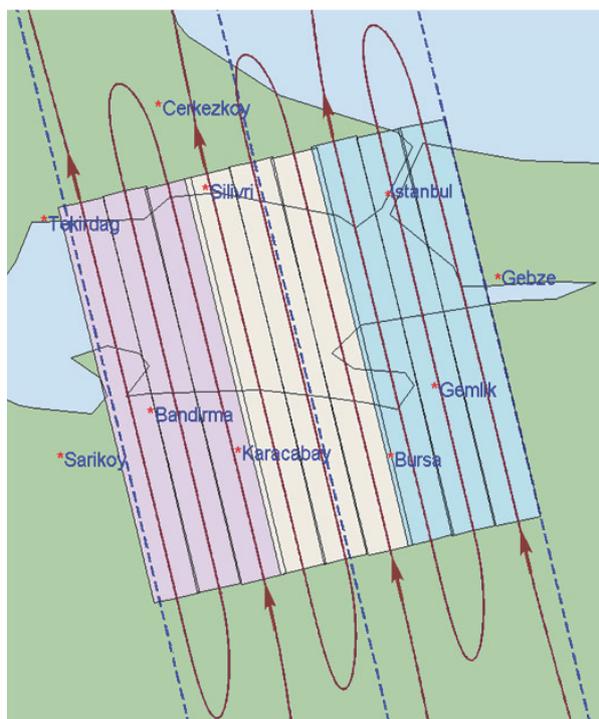


Рис. 7. Съёмка окрестностей Стамбула и акватории Мраморного моря

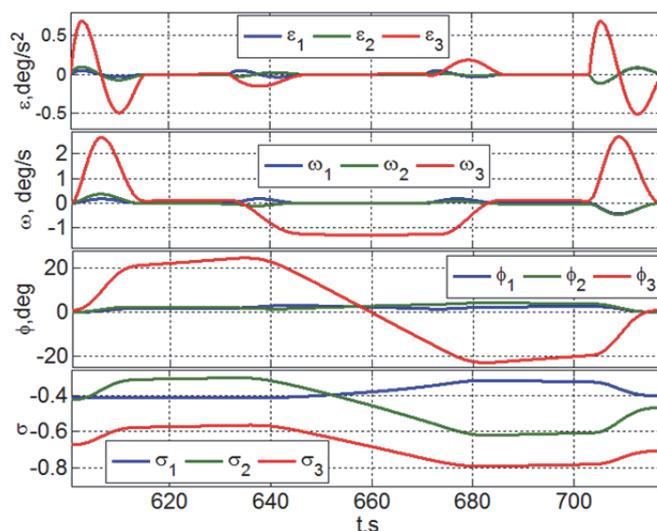


Рис. 8. Закон углового наведения КА #3

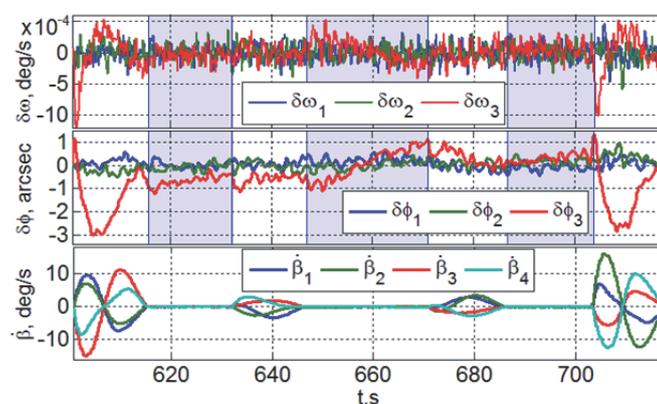


Рис. 9. КА#3, ошибки СУД и скорости ГД

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Crisp N., Roberts P., Romano F. et al. System modelling of very low earth orbit satellites for Earth observation. *Acta Astronaut.* 2021, vol. 187, pp. 475-491.
2. Somov Ye., Butyrin S., Somova T., Somov S. In-flight verification of attitude control system for a land-survey satellite at a final of its manufacturing. *IFAC-PapersOnLine.* 2018, vol. 51, no. 30, pp. 66-71.
3. Somov Ye., Butyrin S., Somova T. Guidance, navigation and control of a surveying satellite when an area imagery for disaster management. *Math. Eng., Sci. Aerosp.* 2019. Vol. 10, no. 3, pp. 433-449.
4. Ballard A. Rosette constellations of Earth satellites. *IEEE Trans Aerosp Electron Syst.* 1980, vol. 16, no. 5, pp. 656-673.
5. Walker J. Satellite constellations. *Journal of the British Interplanetary Society.* 1984, vol. 24, pp. 369-384.
6. Можяев Г. В. Синтез орбитальных структур спутниковых систем. М.: Машиностроение, 1989.
7. Lang T. Walker constellations to minimize revisit time in low Earth orbit. *Adv. Astronaut. Sci.* 2003, vol. 114, pp. 1127-1143.
8. Чернов А.А., Чернявский Г.М. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли. М.: Радио и Связь, 2004.
9. Улыбышев С.Ю. Применение солнечно-синхронных орбит для космического аппарата оперативного глобального мониторинга // *Космические исследования.* 2016, том 54, № 6, с. 486-492.
10. Razoumny Yu. Fundamentals of the route theory for satellite constellation design for Earth discontinuous coverage, *Acta Astronaut.* 2016, vol. 128, pp. 722-740, 741-758; 447-458, 459-465.
11. Улыбышев С.Ю., Лысенко А.А. Проектирование спутниковых систем оперативного глобального мониторинга с суточной кратностью повторения траектории полёта// *Космические исследования.* 2019, том 57, № 3, с. 229-238.
12. Rodriguez-Donaire S., Sureda M., Garcia-Alminana D. et al. Earth observation technologies: low-end-market disruptive innovation. *Satellites Missions and Technologies for Geosciences.* IntechOpen. 2020, ch. 7, pp. 1-15.
13. Lappas V., Kostopoulos V. A survey on small satellite technologies and space missions for geodetic applications. *Satellites Missions and Technologies for Geosciences.* IntechOpen. 2020, ch. 8, pp. 1-22.
14. Somova T. Attitude guidance and control, simulation and animation of a land-survey satellite motion. *Journal of Aeronautics and Space Technologies.* 2016, vol. 9, no. 2, pp. 35-45.

**COORDINATED GUIDANCE AND CONTROL OF MINI_SATELLITES
IN CONSTELLATIONS FOR SPACE EARTH SURVEY**

© 2023 Ye.I. Somov^{1,2}, S.A. Butyrin^{1,2}, S.Ye. Somov^{1,2}, T.Ye. Somova²

¹ Samara Federal Research Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

² Samara State Technical University, Samara, Russia

Abstract. The problems of coordinated guidance and control for mini-satellites in low-orbit earth survey constellations are investigated. The synthesis of the guidance laws is based on explicit relations that link the image motion in the telescope focal plane with the satellite spatial motion relative to the Earth's surface. The developed algorithms for areal survey, which is performed by constellations of mini-satellites in sun-synchronous orbits, and the results of computer simulation demonstrating their effectiveness, are presented.

Key words: areal space survey, constellation of mini-satellites, guidance and control.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-88-96

EDN GCFYKS

Yevgeny Somov, Leading Researcher of Department "Dynamics and Motion Control", Samara Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; Head of Department for "Navigation, Guidance, and Motion Control", Research Institute for Problems of Mechanical Systems Reliability, Samara State Technical University. E-mail e_somov@mail.ru

Sergey Butyrin, Senior Researcher of Department "Dynamics and Motion Control", Samara Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; Head of Laboratory for "Modeling of Control Systems", Research Institute for Problems of Mechanical Systems Reliability, Samara State Technical University. E-mail butyrinsa@mail.ru

Sergey Somov, Researcher of Department "Dynamics and Motion Control", Samara Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; Researcher of Department "Navigation, Guidance, and Motion Control", Research Institute for Problems of Mechanical Systems Reliability, Samara State Technical University. E-mail s_somov@mail.ru

Tatyana Somova, Researcher of Department "Navigation, Guidance, and Motion Control", Research Institute for Problems of Mechanical Systems Reliability, Samara State Technical University. E-mail te_somova@mail.ru

**УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ПРОЦЕССА
ОНБОРДИНГА ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RPA-ТЕХНОЛОГИЙ**© 2023 Е. А. Дронь¹, Т.В. Павлович²¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа²Российский технологический университет МИРЭА, г. Москва

Статья поступила в редакцию 20.03.2023

Крупные компании, в последнее время, начали проводить публичные конференции, на которых рассматриваются предлагаемые разработки программного решения для онбординга новых специалистов. Поэтому в современных реалиях, когда крупные компании различными способами привлекают к себе новых молодых специалистов, нужно иметь свою качественную систему онбординга новых сотрудников. При внедрении системы онбординга, основанной на дистанционном обучении, новый сотрудник получит доступ к курсам компании. В этой системе он проходит базовые курсы, направленные на развитие компетенций сотрудника, такие как работа в команде, клиентоориентированность, критическое мышление и т.д. Также он проходит курсы уже по своей специализации. Данные курсы связаны с изучением предметной области процесса, взаимодействия с пользователем, устройством систем предприятия. По итогам прохождения курсов у сотрудника будут теоретические знания, подкрепленные проверочными тестами и заданиями в курсах, так и раздаточные материалы из курсов.

Ключевые слова: онбординг, реинжиниринг, RPA-платформы, системное моделирование процессов, функциональное моделирование, информационное моделирование, динамическое моделирование, системы дистанционного обучения.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-98-107

EDN: GISLW

ВВЕДЕНИЕ

После устройства сотрудника в новую компанию, он сталкивается с ситуацией, когда он попадает в новое место с незнакомым коллективом. Для того, чтобы сотрудник освоился на новом месте, влился в коллектив и освоил свои рабочие обязанности требуется период адаптации, который занимает какое-то время. Чтобы новый человек вошел в должность без лишнего стресса, для него нужно составить план адаптации вместе с его непосредственным начальником. Процесс адаптации разделяется на несколько этапов. Такой процесс адаптации сотрудника на новом рабочем месте называется онбордингом.

Во время онбординга новичок постепенно знакомится с продуктами компании, коллективом, погружается в рабочие задачи. В больших компаниях такой процесс занимает не пару дней, и даже не месяц. Коллективу сотрудников нужно немало вложиться, чтобы новый сотрудник начал работать самостоятельно и продуктивно. Зато, при удачной адаптации, новичок

легче включается в работу и долго приносит пользу компании.

Целью исследования является повышение эффективности процесса онбординга нового сотрудника путём реинжиниринга процесса обучения рабочим обязанностям и ознакомления с предметной областью.

Задачами исследования являются:

- изучение предметной области;
- проведение функционального и информационного моделирования предлагаемого процесса;
- разработка математической модели;
- разработка алгоритмов с применением RPA-моделей для обучения и проверки результатов обучения.

Научная новизна заключается в разработке структурно-логической модели единого информационного пространства (ЕИП), применимой в рамках обучения сотрудников предприятия, а также применение RPA-моделей для обучения и проверки результатов обучения.

**1. СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СИСТЕМЫ ОНБОРДИНГА**

При устройстве сотруднику нужно ознакомиться с рабочими обязанностями, с внутренней документацией предприятия, и пройти период адаптации на новом рабочем месте. В

Дронь Елена Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского университета науки и технологий. E-mail: elena_dron@bk.ru

Павлович Татьяна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры практической и прикладной информатики РТУ МИРЭА. E-mail: pavlovich@mirea.ru

результате анализа существующего процесса онбординга новых сотрудников предприятия было замечено, что обучение сотрудников ведется при помощи показа вебинаров по работе и проведению видеоконференций, где сотрудники могут задать волнующие их проблемные вопросы. Выяснилось, что есть проблема нехватки некой «базы данных» с готовыми ответами или инструкциями по разрешению проблемы пользователя. Также при обучении, если новый сотрудник что-то хочет повторить, то ему нужно искать ответ на свой вопрос в просмотренном двух-трехчасовом вебинаре. Поэтому на рис. 1 представлена мнемосхема предлагаемого процесса онбординга нового сотрудника, где предусмотрено подключение к системам дистанционного образования. Также руководитель сможет следить за прогрессом обучения нового сотрудника и при помощи RPA-технологии формировать по нему данные.

На рис. 2 представлена декомпозиция контекстной диаграммы предлагаемого процесса онбординга нового сотрудника. Она состоит из четырех блоков: А1 «Ознакомление с производственной документацией предприятия», А2 «Просмотр вводных лекций о предприятии», А3 «Изучение предметной области», А4 «Прохождение аттестации».

На декомпозиции описаны этапы, которые будет проходить сотрудник в период адаптации. В данном случае работа сотрудника по ознакомлению с деятельностью и программными продуктами компании проходит также при помощи просмотра вводных лекций о предприятии на внутреннем портале, но изучение предметной области происходит при помощи системы дис-

танционного обучения (СДО). После ознакомления с деятельностью компании начинается непосредственное изучение предметной области, в которой будет работать сотрудник. При помощи электронных курсов новый сотрудник изучен как теоретический материал, так и закрепит знания на проверочных заданиях. После изучения предметной области новому сотруднику будет назначена аттестация.

Для предлагаемой информационной системы была разработана логическая информационная модель, фрагмент которой представлен на рис. 3.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Повышение эффективности информационной поддержки управления процессом онбординга по организационно-функциональным, методическим, социально-экономическим и др. показателям возможно при создании единого информационного пространства, охватывающего различные аспекты процесса онбординга на основе интеграции информационных подсистем. Для решения данной задачи требуется разработать модель ЕИП процесса онбординга.

На рис. 4 представлена разработанная схема формирования и управления ЕИП на основе его модели, представляющая собой трехконтурную систему управления. Эта трехконтурная схема управления сформирована в соответствии с концепцией, предложенной профессором И.Ю. Юсуповым [6], где УВ – управляющее воздействие; ИО – информационные объекты; Характеристики ИО – множество параметров ИО ЕИП; Характеристики ИО' – множество пара-

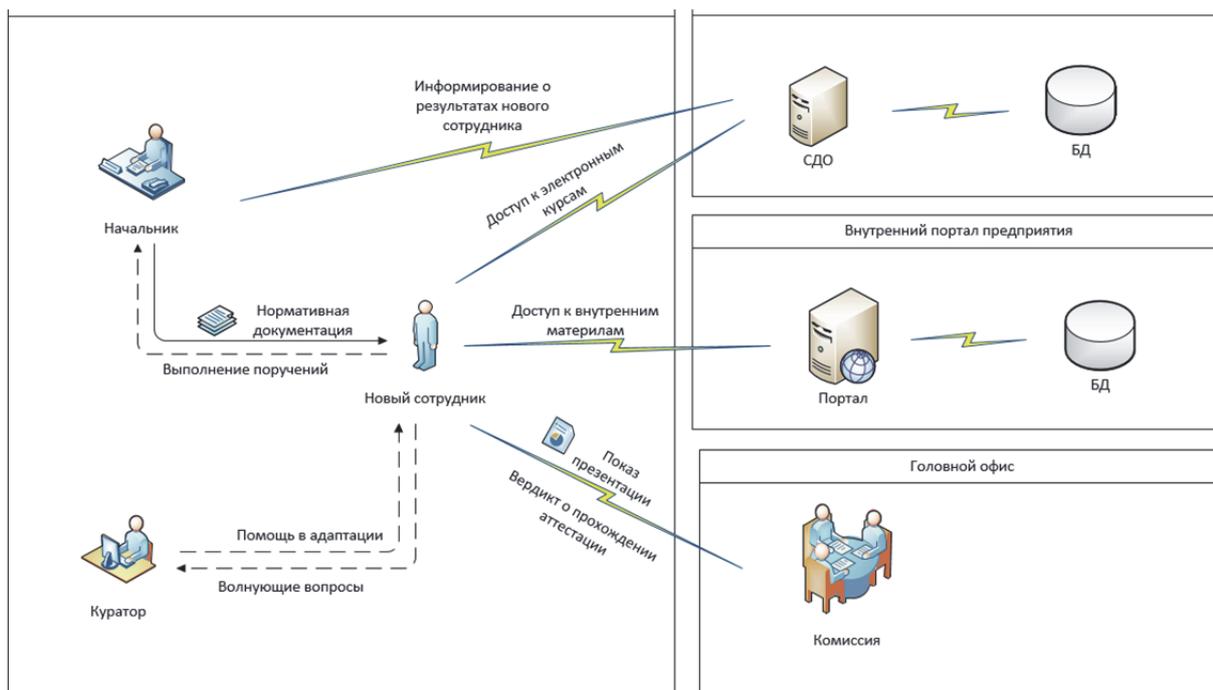


Рис. 1. Мнемосхема предлагаемого процесса онбординга сотрудника

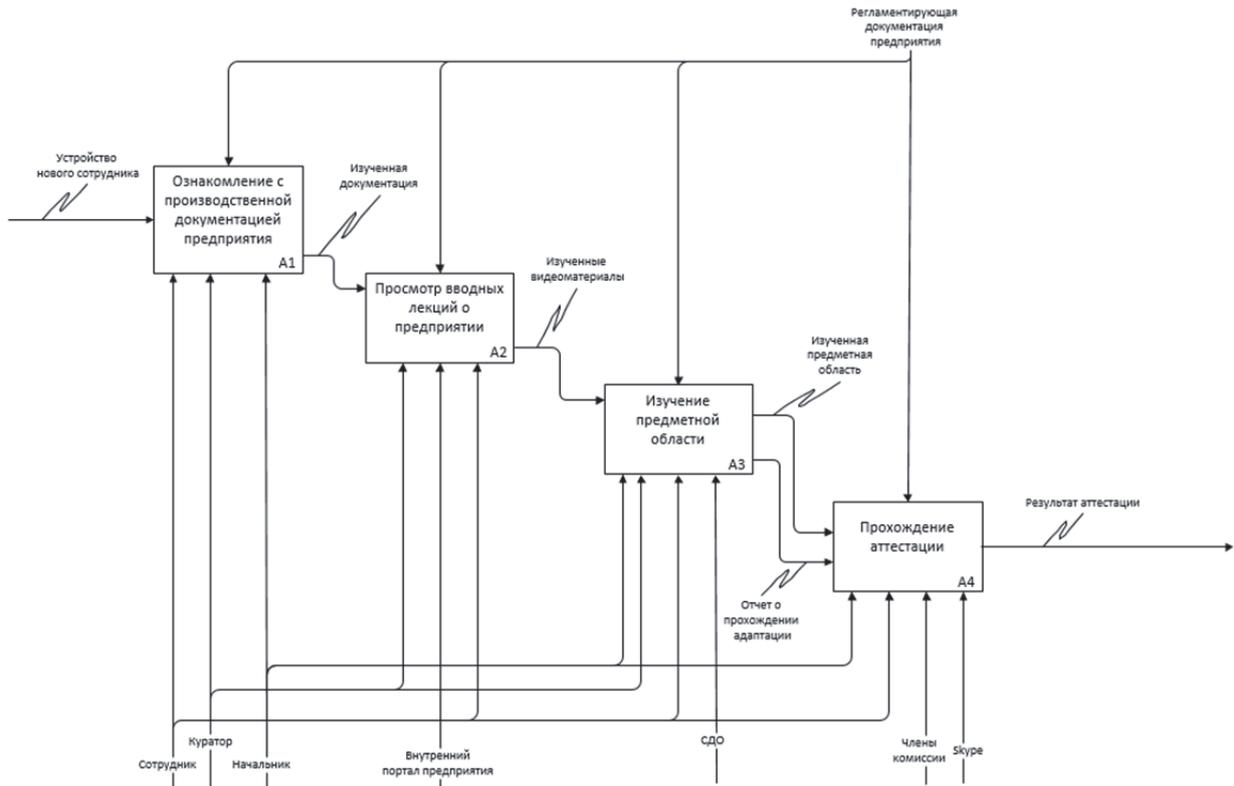


Рис. 2. Декомпозиция контекстной диаграммы предлагаемого процесса онбординга нового сотрудника

метров ИО в модели ЕИП (эталонных); E_1, \dots, E_m – возмущающие воздействия внешней среды; X_1, \dots, X_m – бизнес-процессы, характеристики которых учитываются в ЕИП.

На основе публикаций Куликова Г.Г. [2], Шилиной М. А. [5] в области разработки единого информационного пространства для классических учебных заведений, предложена структурно-логическая модель ЕИП для обеспечения системной информационной поддержки управления процессом онбординга.

В ходе построения формальной модели ЕИП выделено множество объектов $S = \{S_1, \dots, S_k\}$, каждый из которых $S_l \in S, l = \overline{1, k}$ может быть представлен в виде множества пар (формула 1 ниже):

$$S_l = \langle A_l, D_l \rangle, \text{ или } S_l = \{(a_1^l, d_1^l), (a_2^l, d_2^l), \dots, (a_{n_l}^l, d_{n_l}^l)\}, \quad (1)$$

где $A_l = \{a_1^l, \dots, a_{n_l}^l\}$ – множество наименований атрибутов (l) объекта, причем $A_l \neq \emptyset, D_l = \{d_1^l, \dots, d_{m_l}^l\}$ – множество значений соответствующих атрибутов для (l) объекта.

При этом множество наименований атрибутов для (l) объекта является подмножеством конечного множества наименований всех атрибутов.

$$A = \{a_1, \dots, a_n\}, \text{ т.е. } A_l \subset A, n_l \leq n, a_j^l \in A, l = \overline{1, \dots, n}, j = \overline{1, \dots, n}, A \neq \emptyset;$$

$$\text{соответственно, } D_l \subset D, m_l \leq m, D_j^l \in D, l = \overline{1, \dots, m}, j = \overline{1, \dots, m},$$

где $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ – конечное множество значений атрибутов. Существует множество отображений $V = \{f_1, \dots, f_k\}$, ставящее для каждого объекта S_j ; каждому подмножеству наименований атрибутов A_l данного объекта в соответствие подмножество значений D_j , такое что $D_l = f_j(A_l), j = \overline{1, \dots, k}$.

Модель ЕИП представлена в виде следующего соотношения:

$$IS = \{S(t), Rule\} \Rightarrow IS = \langle A, D \rangle, t, Rule, \quad (2)$$

где IS – ЕИП онбординга, $Rule$ – множество правил, определяющих взаимодействие объектов, t – время (определяет структуру стадий онбординга). Правила описывают семантику данных в ЕИП.

Таким образом, в структуре ЕИП выделены следующие измерения (предполагается, что они могут быть иерархическими): объекты, наименования атрибутов, значения атрибутов и стадии поддержки сотрудника.

Графическое представление модели усовершенствования учебного процесса в виде цикла PDCA [3,4,5], представлено на рис. 5.

Описанная модель может быть названа семантической моделью знаний о предметной области [1]. Семантическая модель отражает систему из элементов и связей между ними в виде

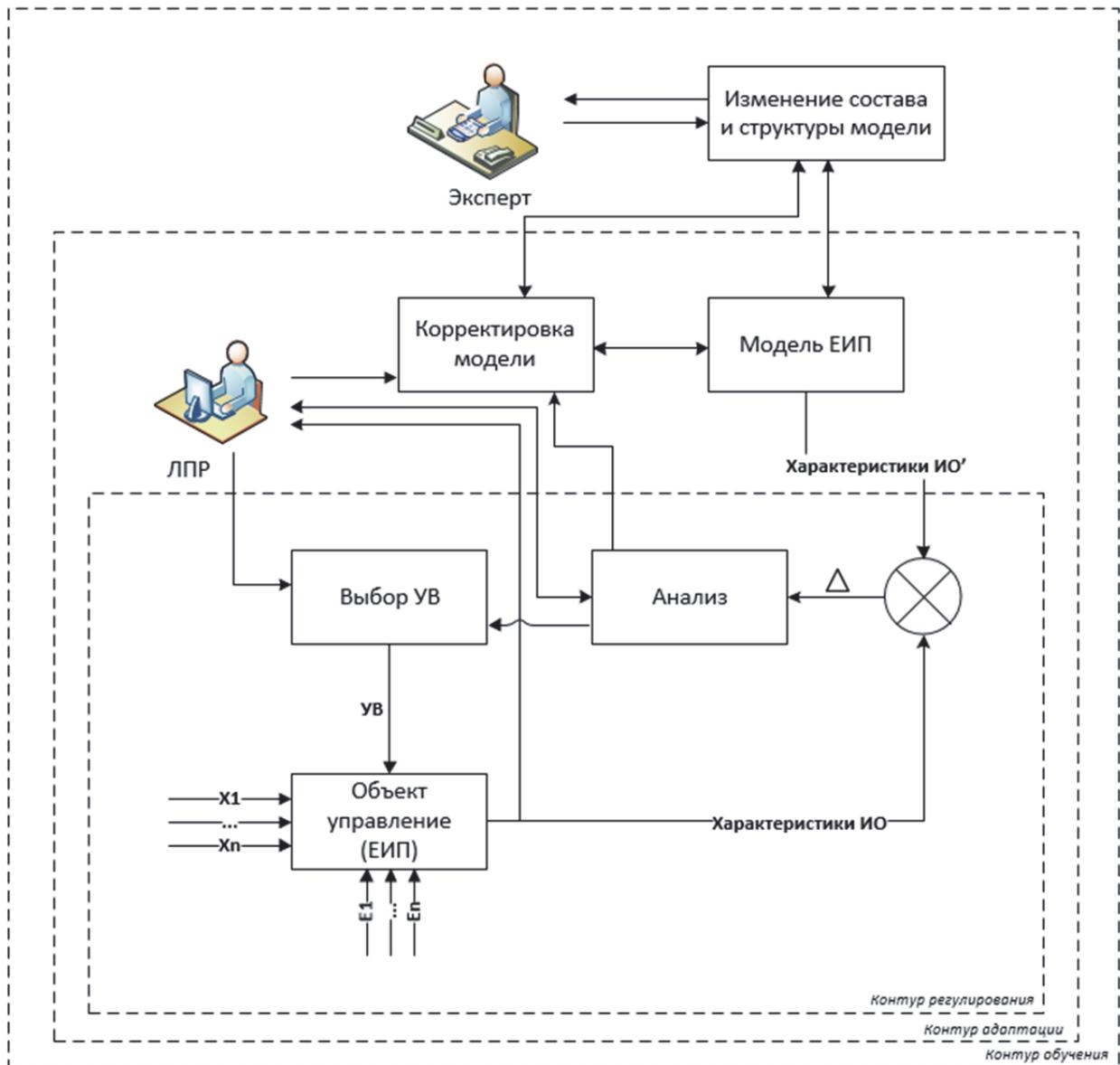


Рис. 4. Схема формирования и управления ЕИП онбординга

логической структуры [5]. Семантическая модель применена к новой области деятельности, т.е. к онбордингу.

3. АЛГОРИТМ РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ RPA-ТЕХНОЛОГИИ

Предложено применять RPA-технологии. Благодаря RPA-технологии пользователи системы могут получать уведомления. Сотрудники, проходящие курсы, могут получить уведомления о скором окончании срока, просроченном сроке окончания курса и т.д. Руководители могут получать уведомления об окончаниях курсов или результатах прогресса их сотрудников. Методисты могут получать уведомления, например, о назначенной консультации. На рис. 6 представлена схема алгоритма работы модуля «Напоминание». В рамках данного алгоритма могут формироваться

уведомления, извещающие о скором завершении срока задачи, а также назначении новой задачи. В качестве задачи могут выступать как прохождение электронного курса, так и оказание консультации. В случае, если у задачи вышел срок, то по ней отправляется повторное оповещение, сигнализирующее уже о просроченном сроке решения задачи.

На рис. 7 представлена схема алгоритма работы модуля «Консультация». В рамках данного алгоритма если у сотрудника появился вопрос, на который он хочет получить ответ, то при помощи RPA-технологии сначала будет осуществляться поиск по уже имеющейся базе знаний с готовыми ответами. В случае, если ответ не был найден или в ответе недостаточно информации для решения вопроса сотрудника, то ему назначается консультация, в результате которой методист даст исчерпывающие ответы на вопросы пользователя.

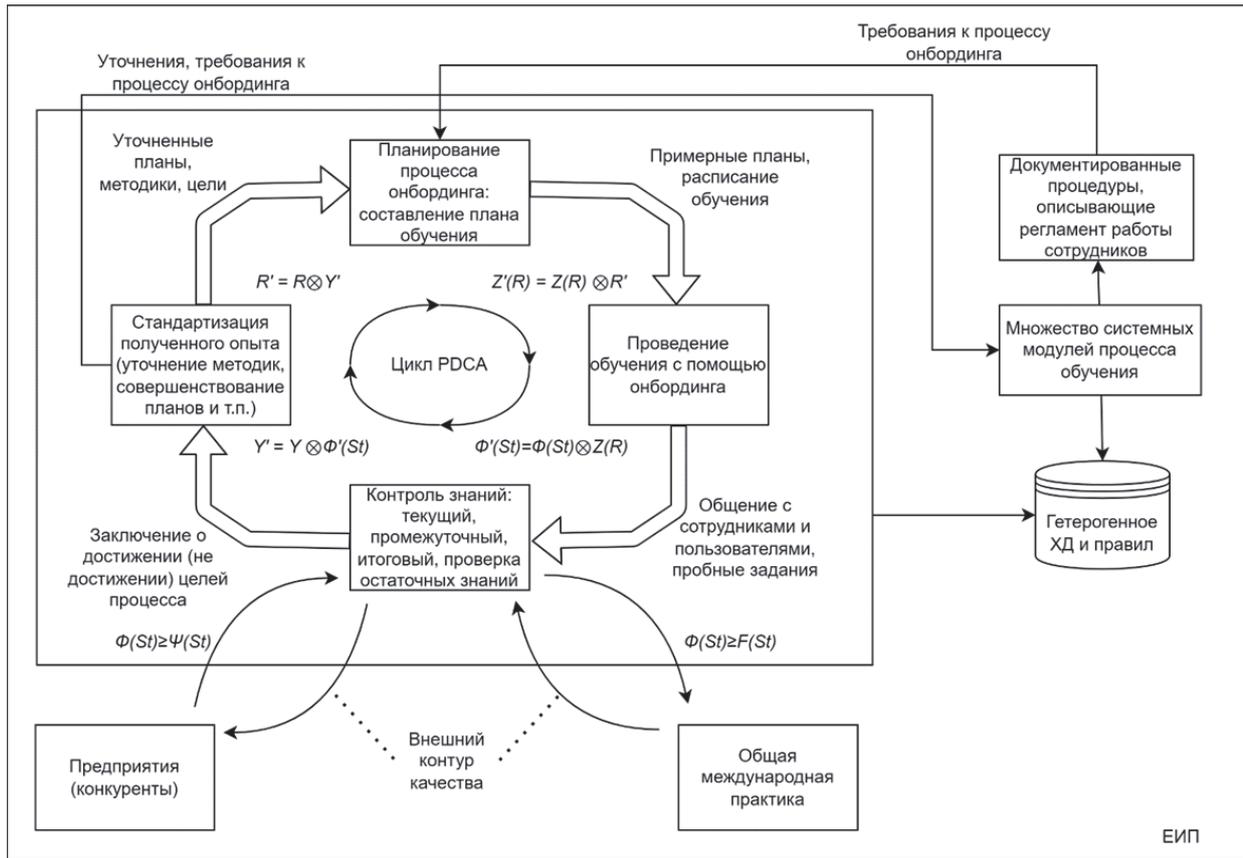


Рис. 5. Структурная теоретико-множественная модель непрерывного совершенствования процесса онбординга

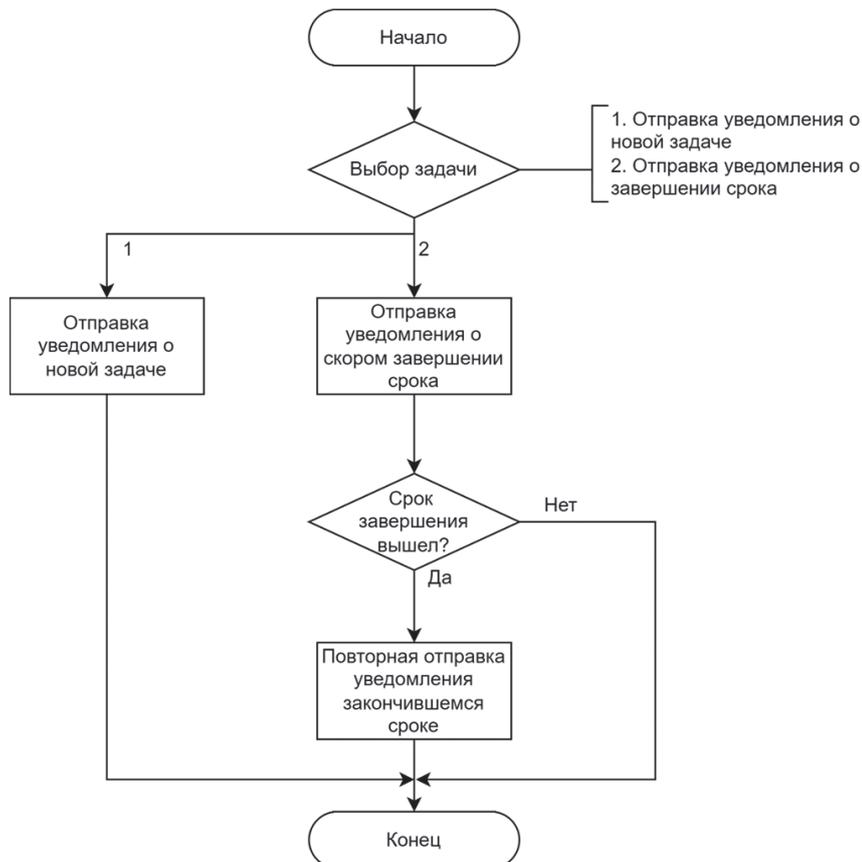


Рис. 6. Схема алгоритма работы модуля «Напоминание»

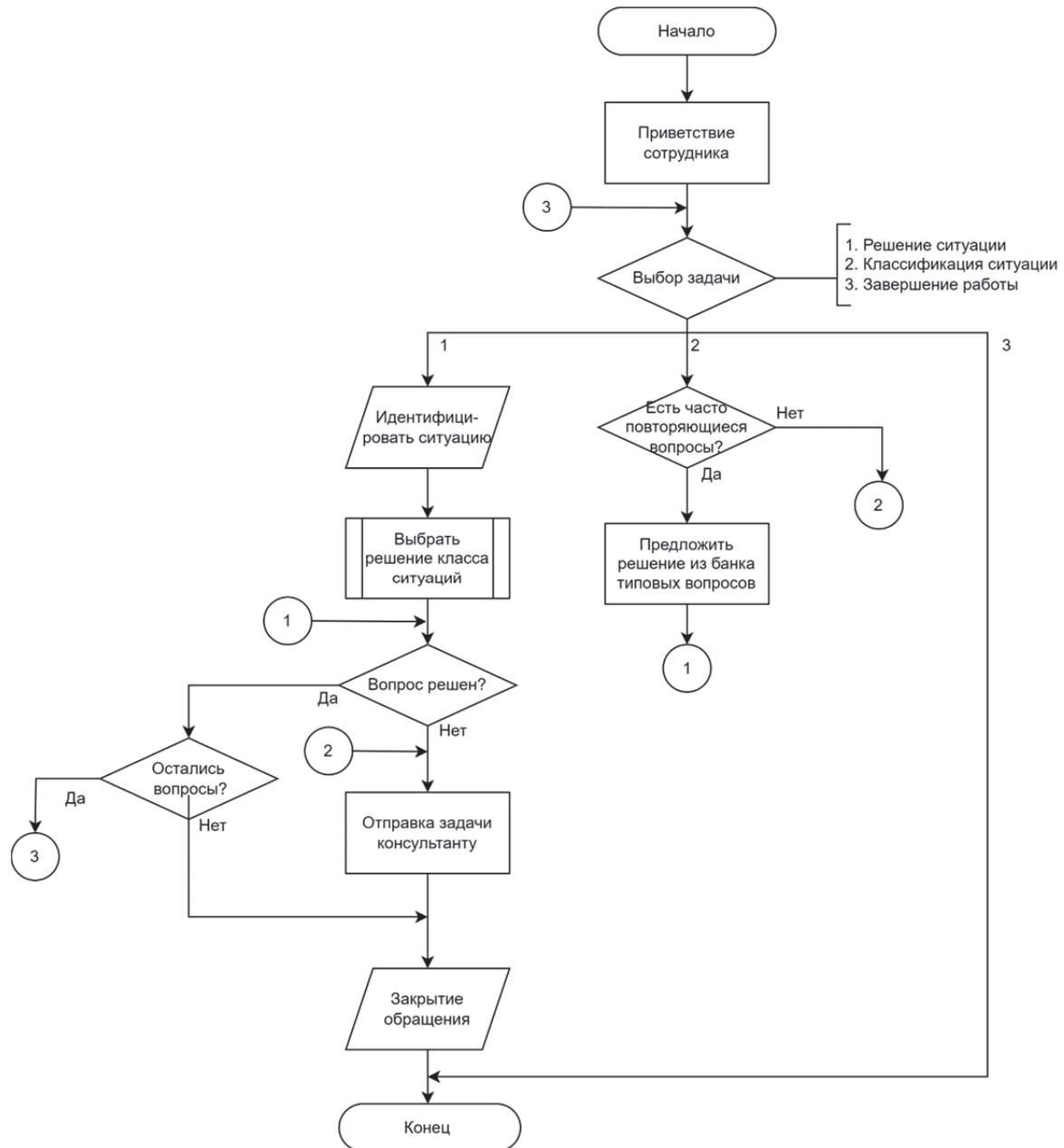


Рис. 7. Схема алгоритма работы модуля «Консультация»

Так же разработаны алгоритм работы модуля «Оценка работы обучающегося», «Оценка учебного материала», «Работ пользователя с самими электронными курсами».

На рис. 8 представлен фрагмент сценария диалога с системой.

В рамках данного диалога рассматривается взаимодействие системы при работе с обучающимися курсами.

На основании сценария работы разработано дерево функций системы, в котором определены четыре основных группы функций, которые включают следующие:

- работа с электронными курсами;
- работа со справочниками;
- работа с раздаточными материалами;
- работа с отчетами.

Дерево функций системы представлено на рис. 9.

В рамках данного дерева функций рассматриваются основные и служебные функции. В качестве основных функций выступают функции по работе со справочниками, с электронными курсами, раздаточными материалами, а также с отчетами.

4. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПРОЦЕССА ОНБОРДИНГА

Построена модель процесса в нотации BPMN 2.0 существующего и предлагаемого процессов онбординга сотрудника. Для расчёта среднего значения выполнения задачи (\bar{x}) используется формула 3, где x_i – время выполнения задачи

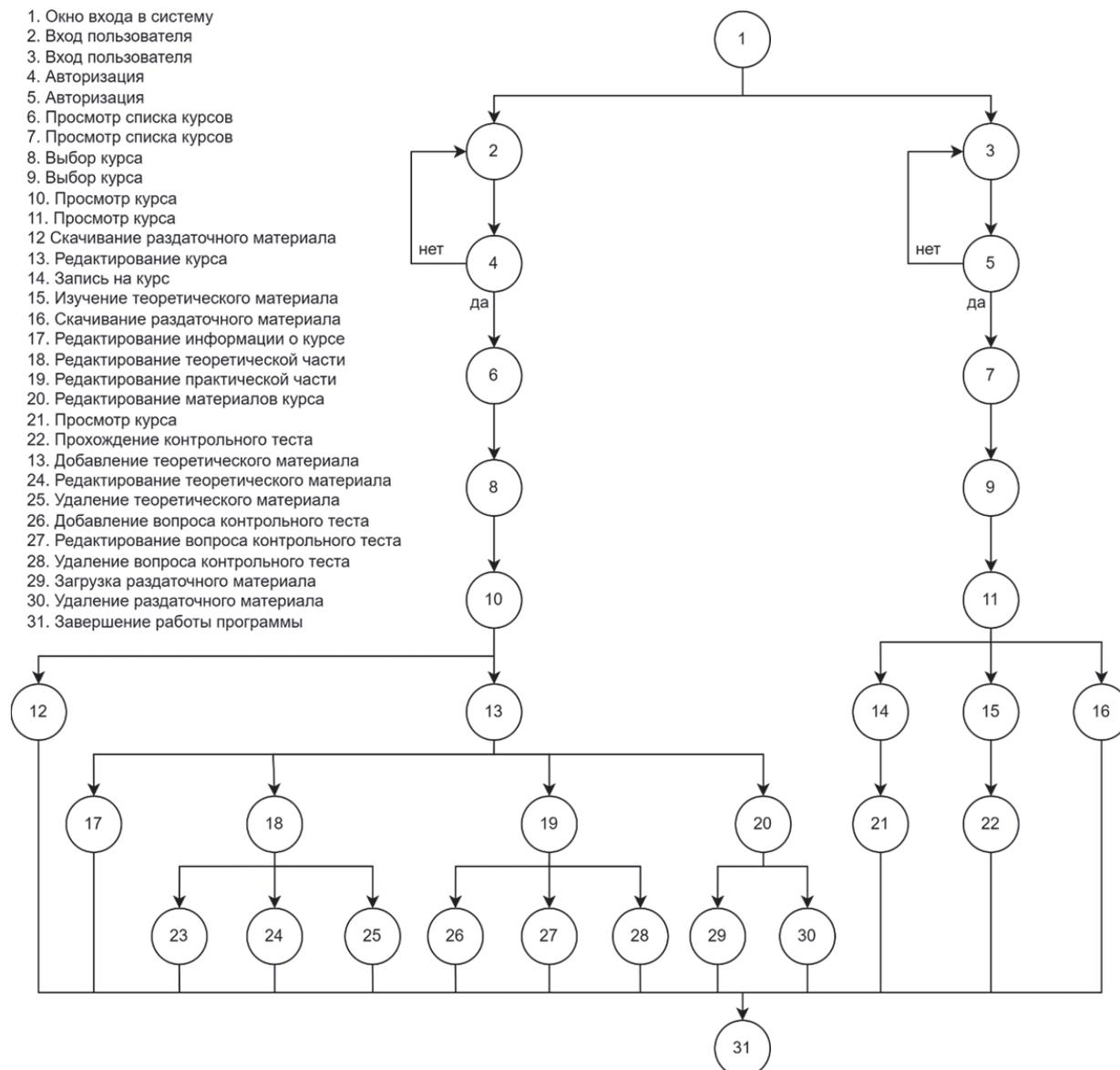


Рис. 8. Сценарий работы системы (фрагмент 1)

из возможного диапазона, а n – количество учитываемых значений времени выполнения задачи.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (3)$$

Для расчёта стандартного отклонения (σ) используется формула 4.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Для каждой задачи было задано минимальное и максимальное время выполнения, а также рассчитаны среднее время выполнения и стандартное отклонение (рис. 10).

ВЫВОДЫ

В статье предложен подход к управлению информационной поддержкой процесса онбор-

динга сотрудников при помощи RPA-технологий. Были проведены сравнения существующего и предлагаемого процесса онбординга, были построены мнемосхемы, функциональные модели, динамические модели. Для предлагаемого решения была описана информационная модель процесса онбординга. Предложена семантическая модель знаний о предметной области онбординга в виде логической структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, В.В. Семантико-математический язык описания структуры интеллектуальной системы на основе нечеткой логики / В.В. Антонов, Г.Г. Куликов // Программные продукты и системы. - 2011. - № 3. - С. 33-35.
2. Куликов, Г.Г. Структурирование контента информационного пространства технического университета с использованием процессного подхода

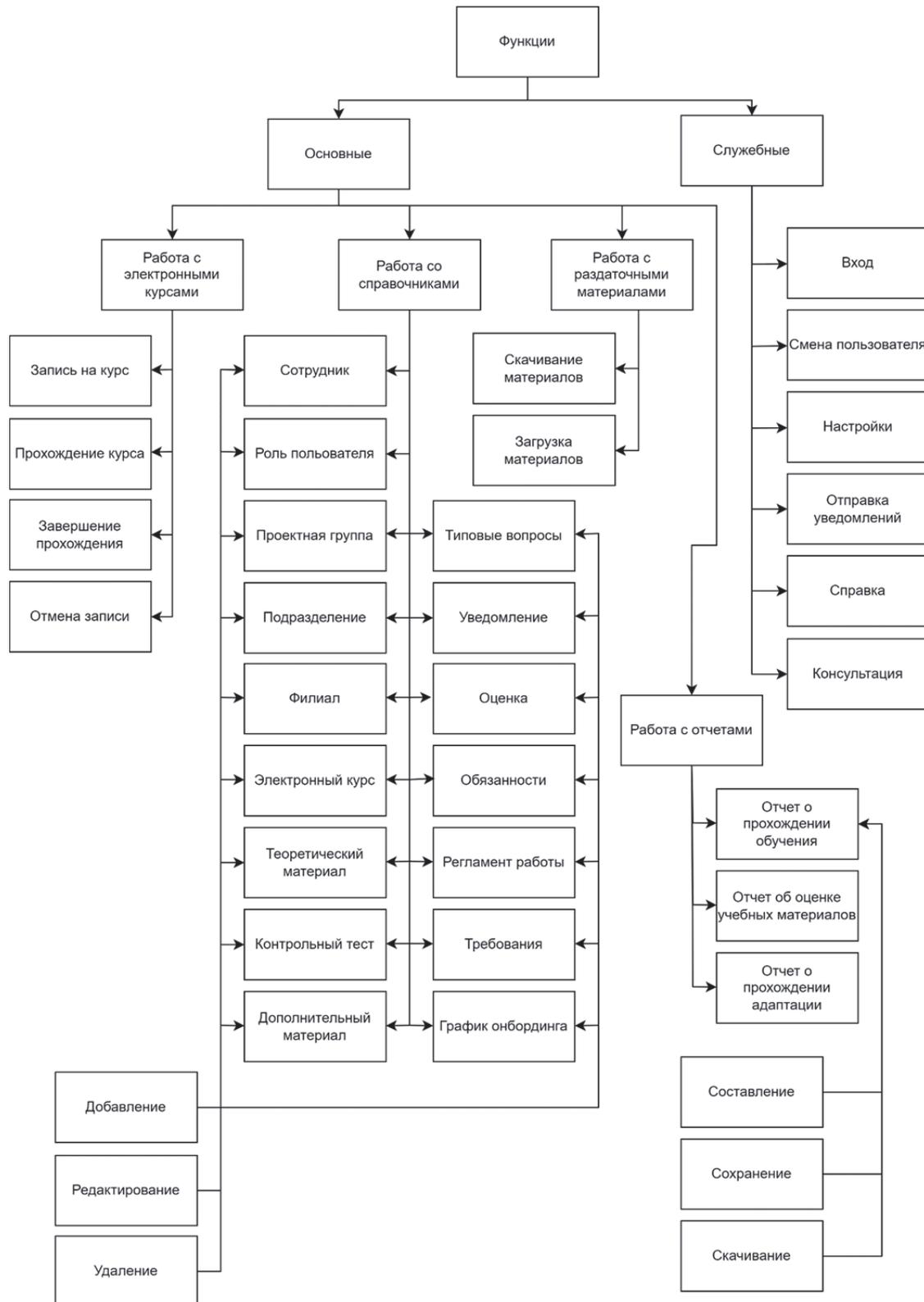


Рис. 9. Дерево функций системы

и семантической идентификации / Г.Г. Куликов, М.А. Шилина, Г.В. Старцев, А.А. Бармин // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2014. – Т. 18. – № 4 (65). – С. 115-124.

3. Куликов, Г.Г. Комплексная модель организации автоматизированного процессного управления

жизненным циклом подготовки специалистов на основе структурирования контента вуза и предприятия / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, М.А. Шилина, А.Р. Фахруллина // Вестник УМО. Экономика, статистика и информатика. – 2015. – № 3. – С. 241-248.

4. Шилина, М.А. Поддержка управления учебным процессом на основе информационных технологий

Существующая модель:



Предлагаемая модель:

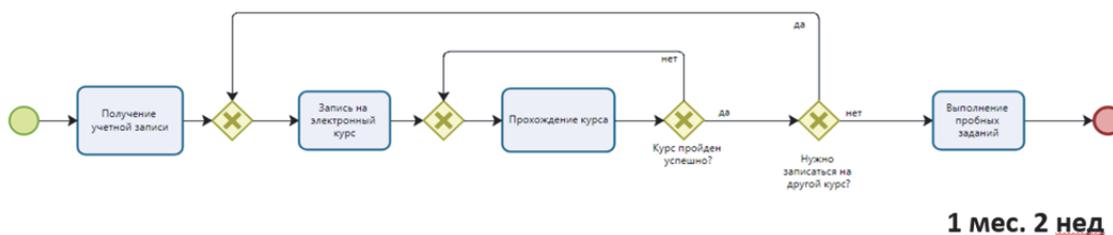


Рис. 10. Существующие и предлагаемые модели процесса онбординга ИТ-специалистов

многомерного анализа данных (на примере высшего учебного заведения): дис. на соискание ученой степени канд. технич. Наук / М.А. Шилина. Уфа, 2012. 125 с.

5. Юсупов, И.Ю. Автоматизированные системы принятия решений / И.Ю. Юсупов. - М.: Изд-во Наука, 1983. - 88 с.

MANAGEMENT OF THE ONBOARDING PROCESS INFORMATION SUPPORT OF IT SPECIALISTS USING RPA TECHNOLOGIES

© 2023 E.A. Dron¹, T.V. Pavlovich²

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

² Russian Technological University MIREA, Moscow, Russia

Enterprises have recently begun to hold public conferences, which consider the proposed development of a software solution for onboarding new professionals. Therefore, when large companies onboard new young specialists their HR-managers need to have high-quality, fast and effective onboarding system. To implement an onboarding system based on distance learning, a new employee will have access to the company’s courses. A new employee uses this system and takes basic courses aimed to enhance professional competencies, such as teamwork, customer focus, critical thinking, presentation and communication skills and etc. A new employee takes courses to deep study of his professional area. These courses are related to the study of the business-process, interactions with the user, the design of enterprise systems. By the end of the study an employee will have theoretical knowledge, backed up by tests and assignments in the courses, as well as handouts from the courses.

Keywords: onboarding, reengineering, RPA platforms, system modeling of processes, functional modeling, information modeling, dynamic modeling, distance learning systems.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-98-107

EDN: GISLW

REFERENCES

- Antonov, V.V. Semantiko-matematicheskij yazyk opisaniya struktury intellektual'noj sistemy na osnove nechetkoj logiki / V.V. Antonov, G. G. Kulikov // Programmnye produkty i sistemy. – 2011. – № 3. – S. 33-35.
- Kulikov, G.G. Strukturirovanie kontenta informacionnogo prostranstva tekhnicheskogo universiteta s ispol'zovaniem processnogo podhoda i semanticheskoy identifikacii / G.G. Kulikov, M.A. Shilina, G.V. Starcev, A.A. Barmin // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta. – 2014. – T. 18. – № 4 (65). – S. 115-124.

3. *Kulikov, G.G.* Kompleksnaya model' organizacii avtomatizirovannogo processnogo upravleniya zhiznennym ciklom podgotovki specialistov na osnove strukturirovaniya kontenta vuza i predpriyatiya / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, M.A. Shilina, A.R. Fahrullina // Vestnik UMO. Ekonomika, statistika i informatika. – 2015. – № 3. – S. 241-248.
4. *Shilina, M.A.* Podderzhka upravleniya uchebnym processom na osnove informacionnyh tekhnologij mnogomernogo analiza dannyh (na primere vysshego uchebnogo zavedeniya): dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhnich. Nauk / M.A. Shilina. – Ufa, 2012. – 125 s.
5. *Yusupov I.Yu.* Avtomatizirovannye sistemy prinyatiya reshenij / I.Yu. Yusupov. – M.: Izd-vo Nauka, 1983. – 88 s.

Elena Dron, Candidate of Technics, Associate Professor of the Automated Control Systems Department, Ufa University of Science and Technology. E-mail: elena_dron@bk.ru
Tatiana Pavlovich, Candidate of Technics, Associate Professor of Practical and Applied Informatics Department, Russian Technological University MIREA. E-mail: pavlovich@mirea.ru

Известия Самарского научного центра Российской академии наук
Учредитель: федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре, свидетельство ПИ № ФС77-61347 от 07.04.2015
Главный редактор: академик РАН Ф.В. Гречников
Том 25, номер 2 (112), 28.04.2023
Индекс: 36622. Распространяется бесплатно
Адрес учредителя и редакции – 443001, Самарская область,
г. Самара, Студенческий пер., 3а. Тел. 8 (846) 340-06-20
Издание не маркируется

Сдано в набор 14.04.2023 г.
Офсетная печать

Подписано к печати 28.04.2023 г.
Усл. печ. л. 12,555 Тираж 200 экз.

Формат бумаги А4
Зак. 40

Отпечатано в типографии ООО "Инсома-пресс", 443080, г. Самара, ул. Санфировой, 110А, оф. 22А