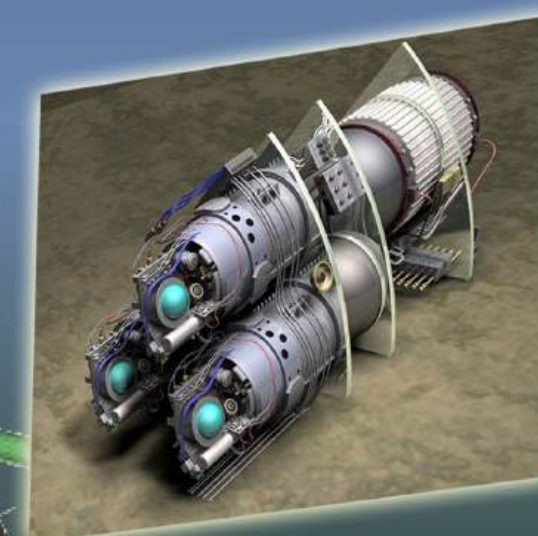
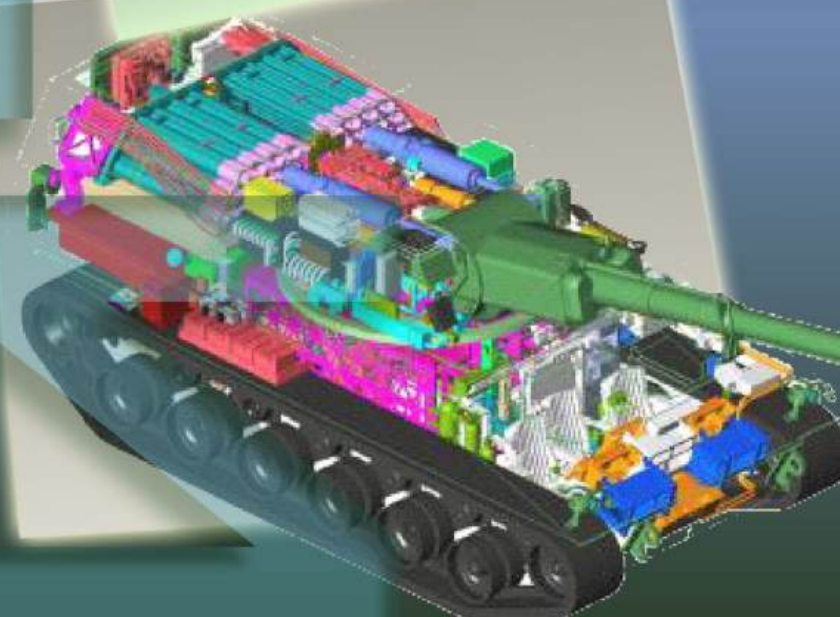
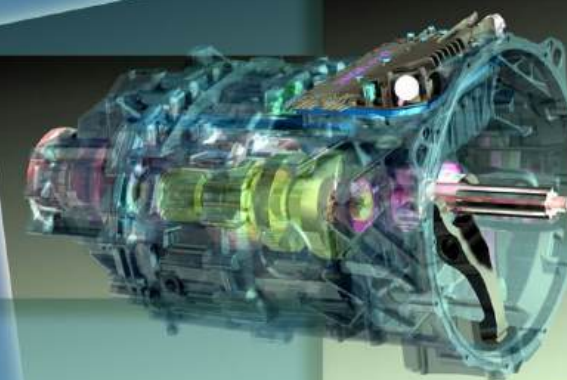
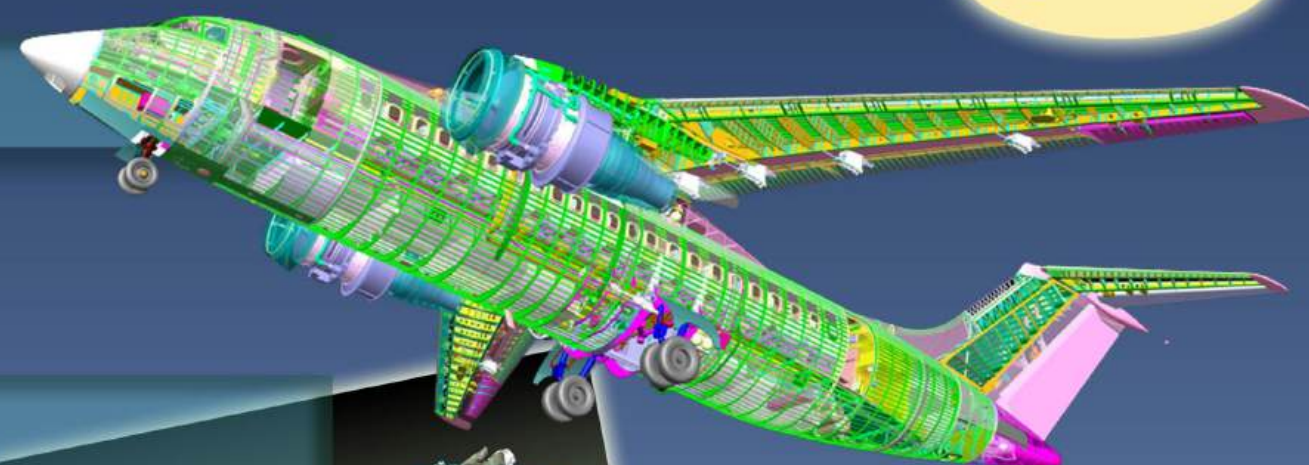


Индекс 79378

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

в проектировании и производстве

№ 4' 2022





Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России
(4 выпуска)
Подписной индекс **79379**
Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал
Конструкции из композиционных материалов
(4 выпуска)
Подписной индекс **80089**
Издается с 1981 года



Научно-технический журнал
Информационные технологии в проектировании и производстве
(4 выпуска)
Подписной индекс **79378**
Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал
Экология промышленного производства
(4 выпуска)
Подписной индекс **80090**
Издается с 1993 года



Научно-практический журнал
Вопросы защиты информации
(4 выпуска)
Подписной индекс **79187**
Издается с 1974 года

Все издания ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);
факс: 8 (495) 491-44-80.
E-mail: izdanie@ntckompas.ru

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСА
«КОМПАС»

№ 4 (188) 2022

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1976 г.

Главный редактор

И. А. Шеремет, акад. РАН, проф., заместитель
директора Российского фонда фундаменталь-
ных исследований по научной работе

Заместитель главного редактора

В. Н. Грдин, д-р техн. наук, проф.,
научный руководитель ЦИТИ РАН

Ответственный секретарь

Э. Ю. Есипова, канд. техн. наук,
ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

Редакционная коллегия:

В. В. Бордюже, д-р техн. наук, проф., Координа-
ционный совет по информационным тех-
нологиям предприятий ОПК РФ; А. И. Громов,
канд. хим. наук, НИУ «Высшая школа экономи-
ки»; В. В. Кондратьев, чл.-кор. РАН, д-р техн.
наук, проф., Нижегородский государственный
технический университет им. Р. А. Алексеева;
Ю. Н. Кофанов, д-р техн. наук, проф., МИЭМ
НИУ ВШЭ; С. А. Матвеев, канд. техн. наук,
ФГУП «ЦНИИмаш»; Е. И. Митрушкин, д-р техн.
наук, проф., АО «НИИИА»; С. В. Назаров, д-р
техн. наук, проф., ЗАО «Московский научно-
исследовательский телевизионный институт»;
М. А. Пирогова, канд. техн. наук, НИУ МЭИ;
С. В. Попов, д-р техн. наук, Холдинг «Швабе»;
А. Ф. Ронжин, д-р физ.-мат. наук, проф., Вычис-
лительный центр им. А. А. Дородницына;
П. О. Скобелев, д-р техн. наук, НАО «Группа
компаний «Генезис знаний», СамГТУ; В. В. Со-
ломин, канд. воен. наук, ФГУП «НТЦ оборонного
комплекса «Компас»; А. П. Солнцев, д-р воен.
наук, проф., ФГУП «НТЦ оборонного комплекса
«Компас»; Е. В. Судов, д-р техн. наук, проф.,
НИЦ SALS-технологий «Прикладная логистика»;
А. В. Цыркун, д-р техн. наук, проф., ГКНПЦ
им. М. В. Хруничева; В. А. Шахнов, чл.-кор.
РАН, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н. Э. Бау-
мана; Е. И. Шульгин, д-р техн. наук, НИЦ при
президиуме АИН им. А. М. Прохорова

☎ редакции (495) 491-43-17

E-mail: izdanie@ntkompas.ru

http://ntkompas.ru

Информационные технологии

в проектировании и производстве:
Науч.-техн. журн./ФГУП «НТЦ оборонного ком-
плекса «Компас», 2022.

№ 4 (188). С. 1—60.

Компьютерная верстка: Н. В. Ильина,
К. В. Трыкина

Подписано в печать 18.11.2022.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,2.

Заказ 2005. Тираж 250 экз.

Адрес редакции: 125424, Москва,
Волоколамское ш., 77, ФГУП «НТЦ оборон-
ного комплекса «Компас».

Отпечатано: 101000, Москва,

Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 79378. 7 статей.

Статьи рецензируются.

© Федеральное государственное унитарное предприя-
тие «Научно-технический центр оборонного комплек-
са «Компас», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Инновационные технологии в решении комплексных задач управления и проектирования, моделирования и производства

Пирогова М. А., Лешихина И. Е., Краюшкин В. А. Платформы
дополненной реальности для промышленного применения: Рос-
сия 2022 3

Информационные технологии в решении задач управления

Ванройе Н. К., Власов А. И., Денисова Д. И. Анализ роли
MES-системы в составе киберфизической производственной си-
стемы 11

Методы и средства решения задач проектирования

Грачев М. И., Бурлов В. Г. Математическая модель для при-
нятия решений по противодействию киберугрозам в производ-
стве 22

Современные методы и средства решения задач проектиро- вания и моделирования. Объектно-ориентированное про- граммирование

Соболь В. М. Многоканальный контроллер абонентской сети
передачи данных 28

Прикладные вопросы и задачи применения информационных технологий

Бутко А. О. Разработка программного модуля формирования
технологической базы данных в SQL на основе СПМ 40

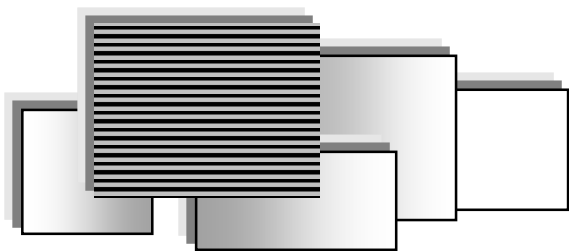
Жданова О. В., Столяров О. Н. Создание модуля интеллек-
туального сравнения текстов требований 50

Кузнецова Е. С., Орлов И. А., Чукин П. Е. Автоматизация про-
цесса создания ведомости материалов изделий специальной тех-
ники в 1С:PLM 55

INFORMATION TECHNOLOGY OF CAD/CAM/CAE

THE SCIENTIFIC JOURNAL

Information on recent advances in CAD/CAM/CAE, industry & business & complex information technology, including methods and tools of computer graphing, geometrical and mathematical modeling, database control methods on estimation and provision of control and reliability.



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

УДК 338.364

DOI: 10.52190/2073-2597_2022_4_3

EDN: ECGWKS

ПЛАТФОРМЫ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ: РОССИЯ 2022*

М. А. Пирогова, канд. техн. наук; И. Е. Лешихина, канд. техн. наук
ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт», Москва, Россия

В. А. Краюшкин, канд. техн. наук
ООО «Продуктивные технологические системы», Москва, Россия

В статье рассмотрены возможности использования технологии дополненной реальности для разработки промышленных приложений в России. Проанализированы проблемы внедрения данных технологий в российских промышленных компаниях.

Ключевые слова: дополненная реальность, платформа разработки приложений дополненной реальности, цифровая трансформация производства, иммерсивные технологии.

Использование технологии дополненной реальности (AR) для информационного сопровождения процессов современного дискретного производства во второй декаде XXI века переходит из стадии обсуждения возможностей к стадии практического применения. В период 2015—2020 гг. наиболее успешные разработки в области промышленного применения технологии AR были связаны с маркетингом, выставочной деятельностью и рекламными компаниями, но уже с 2017 г. индустриальное использование технологии AR все чаще связывается не с маркетинговой или рекламной активностью, а с разработкой приложений дополненной реальности для информационного сопровождения сложных производственных операций, для реализации тренингов и начального обучения работников непосредственно в реальном окружении, для накопления и передачи опыта возрастных специалистов новичкам на ответственных участках производства, а также для информационного обеспечения удаленного обслуживания и ремонта сложной техники. При этом все чаще для

современного дискретного производства, т. е. для производства, находящегося в процессе цифровой трансформации, применение технологии дополненной реальности рассматривают не только как локальную задачу информационной поддержки рабочего места, рабочего участка, но и как необходимый компонент, встраиваемый в концепцию унифицированного охвата информационными потоками всей структуры дискретного производства и, в перспективе, всего жизненного цикла изделия. Именно такой подход соответствует пониманию места технологии AR в концепции Индустрии 4.0. Иными словами, несмотря на широчайшую популярность локальных AR-приложений, индустриальное использование технологии дополненной реальности должно развиваться в тесной и прямой интеграции с полноценной информационной инфраструктурой промышленного производства. В условиях цифровой трансформации производства информация становится непосредственным компонентом производительных сил, а в этом случае применение AR уже вносит свой вклад, реализуя наиболее удобным способом донесение разнотипной информации непосредственно участнику производственного процесса с учетом типа выполняемых операций на том или ином этапе жизненного цикла изделия.

* Статья продолжает цикл обзоров авторов по технологиям дополненной реальности, опубликованных в журнале "Информационные технологии в проектировании и производстве" в 2021 году (№ 1, № 4) и в 2022 году (№ 2).

Осознание значимости технологии *AR* для производства

Для использования технологии дополненной реальности в условиях цифровой трансформации дискретному промышленному производству необходимы эффективные способы разработки широкого спектра *AR*-приложений, ориентированных как на различные производственные участки, так и на разные условия выполнения тех или иных производственных процессов. В работах [1, 2] можно найти обоснование необходимости разработки промышленных приложений дополненной реальности на базе платформ *AR* и с применением промышленных *AR*-устройств конечного пользователя. Рынок такого рода *AR*-средств для задач промышленного применения достаточно изменчив, состав "игроков" в части разработки программного обеспечения и аппаратных средств динамичен, стоимости относительно высоки, а получаемые решения на основе таких средств если и вносят свой вклад в экономический эффект, то он слабо поддается начальной оценке. Все эти обстоятельства приводят к тому, что важным элементом деятельности по внедрению технологии *AR* становится периодическая оценка предложений со стороны вендоров платформ *AR*.

В России, как и во всем мире, до последнего времени были доступны обзоры и рейтинги платформ ведущих международных консалтинговых компаний *Forrester Research*, *IDC*, *AberdeenGroup*, *AMR*, *CIMdata*, *Gartner Group*, *D.H. Brown*, *Daratech* и других. Эти обзоры освещали состояние открытого для России рынка промышленных технологий дополненной реальности, среди лидеров этих рейтингов были только зарубежные компании-вендоры систем и платформ *AR*. Примеры успешных промышленных реализаций *AR*-приложений, приводимые в этих отчетах и исследованиях, информировали о зарубежном опыте, рынок предложений промышленного использования *AR*-технологий если и рассматривал Россию, то исключительно редко. Объясняется это слабым развитием российского рынка применения *AR*-технологий, практическим отсутствием собственной производственной базы как программного, так и аппаратного обеспечения *AR*, медленным переходом промышленных отраслей на уровень Индустрии 4.0, отношением к *AR* со стороны руководителей промышленности, как к экзотической технологии или как к технологии исключительно для рекламного или игрового применения.

Реальность такова, что размеры объединенного рынка виртуальной реальности (*VR*) и дополненной реальности в России по самым оптимистическим оценкам ТМТ Консалтинг [3] с учетом непромышленных секторов (реклама, маркетинг, медицина, торговые и складские операции) только к 2021 г. достиг уровня 25 млн долл. США, причем соотношение *AR* к *VR* при этом определялось как 1:10. В то время,

как такие же стоимостные показатели только для *AR* и только на рынке ЕЭС (не учитывая США и Азиатско-Тихоокеанский регион) были достигнуты уже к 2016 г. Скорее всего, именно существенная ограниченность и малый размер *AR* рынка в России и являются причиной отсутствия внимания к нему со стороны ведущих зарубежных экспертов по развитию технологий *AR* и их применению в промышленности. За период пандемии и особенно после введения антироссийских санкций ситуация не улучшилась. Однако промышленность России, особенно в лице флагманов и крупнейших госкорпораций, все же рассматривает *AR* как перспективную технологию — хоть и не первоочередную, но необходимую составляющую цифровой трансформации.

В отсутствии качественных регулярных информационных обзоров состояния дел в "отечественной *AR*" и сравнением российских *AR* с продуктами от зарубежных лидеров ИТ-консалтинга тему применимости технологии *AR* в отечественной промышленности затрагивали российские обозреватели рынка информационных технологий. В качестве наиболее квалифицированных отечественных публикаций можно привести регулярные обзоры и рейтинги промышленного применения технологии *AR*, размещаемые в материалах интернет-портала и аналитического агентства *TAdviser* [4], информационно-аналитического журнала *Rational Enterprise Management* [5]. Текущее состояние индустриального применения *AR* в России также является предметом обсуждения на конференциях и мероприятиях Ассоциации виртуальной и дополненной реальности [6], ежегодных конференциях ассоциации *MIXR* [7]. Все указанные отечественные источники в той или иной степени пишут о росте интереса к применению *AR* со стороны промышленности. Можно даже наблюдать тенденцию, аналогичную отмеченной ранее западной прессой, когда интерес, а следовательно, и финансирование *AR*-проектов в России постепенно смещаются от реклам-маркетинга и игр в сторону промышленных разработок.

Самый свежий пример — это Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2021 г. № 3719-р "План мероприятий ("дорожная карта") по использованию технологичной информационной моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства, а также по стимулированию применения энергоэффективных и экологичных материалов, в том числе с учетом необходимости их производства в Российской Федерации" [8], где раздел 16 и раздел 23 непосредственно предписывают рассматривать проведение мероприятий по контролю за выполнением подрядных работ с использованием дополненной реальности, для чего уже в 2022 г. необходимо разработать национальный стандарт по проведению пусконаладочных работ

и приемке результатов выполненных пусконаладочных работ с применением технологии дополненной реальности в составе исполнительной документации. Ответственными за выполнение этих разделов определены Росстандарт, Минстрой России, Министерство транспорта РФ, Минцифры России и Ростехнадзор. Уровень рассмотрения проблемы промышленного применения AR и состав задействованных организаций, зафиксированных в этой "дорожной карте", свидетельствуют об изменении роли AR в индустриальном технологическом укладе страны в будущем. Пока это изменение зафиксировано в виде документа только для отрасли капитального строительства, сама тенденция отношения к AR как к реальному фактору трансформации производственных процессов в России налицо.

Внедрения AR на базе зарубежного ПО в российской промышленности: сложности

После введения санкций, касающихся доступа российских разработчиков к передовым информационным технологиям, поставляемым или предлагаемым к поставке, ситуация с применением AR для промышленных задач в РФ еще более усложнилась. Разработки AR-приложений традиционно ведутся либо с использованием систем программирования дополненной реальности, либо на AR-платформах. Наиболее простой и распространенный способ разработки, но требующий больших трудозатрат, — это использование платформ дополненной реальности ARKit (Apple) и ARCore (Google). Эти средства разработки приложений дополненной реальности достаточно хорошо известны, освоены и доступны в России несмотря на то, что сами эти платформы разработаны компаниями, поддерживающими антироссийские санкции. В России нет отечественной платформы для разработки AR-приложений такого класса, как ARCore или ARKit и, поскольку пока эти платформы не подпадают под санкции, но работа над созданием отечественного аналога не ведется. Работа с 3D-контентом поддерживается ARCore в форматах .obj (Wavefront Object), .glTF (без поддержки анимации), .fbx, .sfa (ascii-текстовый Sceneform 1.16), .sfb (двоичный, Sceneform 1.16), а ARKit — в форматах .abc (Alembic), .usd, .usda, .usdc (Universal Scene Description), .usdz (Universal Scene Description (Mobile)), .ply (Polygon), .obj (Wavefront Object) и .stl (Standard Tessellation Language).

Как видно из приведенного списка, ни одна из самых распространённых платформ для AR-приложений не работает напрямую с промышленными форматами 3D, форматами моделей сборок промышленных САПР. Конвертеры для преобразования 3D-САПР моделей в поддерживаемые ARKit или ARCore форматы — это уже коммерческие продукты с широким спектром

ограничений, обладающие узкой применимостью и не нашедшие широкого распространения. Поскольку ведение всей разработки AR-приложений в ARCore или в ARKit является задачей с высокой трудоёмкостью, то облегчение разработки в сообществе AR с применением этих платформ давно решено за счет использования игрового движка. При такой структуре решения игровой движок становится средой разработки приложения в терминах объектно-ориентированного конструирования, а компании Apple и Google — поставщиками специфических объектов и методов AR. Самым массовым игровым движком, применяемым для разработок в ARCore или ARKit, является Unity 3D.

Для начинающих разработчиков или для компаний с годовым оборотом менее 100 тыс. долл. США и в случае разработки небольшого числа некоммерческих проектов предоставляется практически бесплатный тариф Personal. Для более серьезных и коммерческих проектов, для компаний с годовым оборотом 1 млн долл. США и более, Unity поставляется за деньги, причем оплата производится в долл. США, что в случае нахождения России под санкциями невыполнимо. Применение другого популярного движка Unreal в качестве интеграционной платформы совокупно с ARCore и ARKit представляется еще более проблематичным как с учетом того, что Unreal является коммерческим подсанкционным продуктом, так и с учетом еще более строгих ограничений по использованию форматов данных САПР в Unreal по сравнению с Unity.

Для эффективной (без программирования) разработки AR-промышленного приложения комбинированные среды разработки ARCore+Unity или ARKit+Unity не используют, а применяют промышленные платформы дополненной реальности [1, 2]. Однако, после марта 2022 г. все подобные платформы-лидеры подпадают под санкции на поставку в Россию. Возможные же контракты на поставку/подписку таких платформ требуют оплаты только в долл. США или евро. На отечественных предприятиях осваивали зарубежные платформы AR для разработки контента дополненной реальности и использования его в корпоративных информационных PLM-системах. В связи с этим можно отметить две AR-платформы: Ubimax (технологический партнер Siemens, а с 2021 г. после смены собственника — TeamViewer Assist и AR-TeamViewer Frontline) и Vuforia, поглотившую в 2022 г. европейскую AR-платформу RE'FLEKT. AR-решения, разрабатываемые на этих платформах дополненной реальности, активно и напрямую использовали в 3D-моделях САПР, что не удастся реализовать, применяя ARCore или ARKit. Кроме того, как под брендом "TeamViewer", так и под брендом "Vuforia" поставлялись и другие локальные пакеты разра-

ботки AR-фрагментов: AR-мессенджеры, репозитории AR-инструкции, функционал управления потоком заданий. В случае с *Vuforia*, платформа — это собственно конгломерат из платформ разработки локальных и облачных AR-приложений, AR-мессенджера и средств разработки пошаговых инструкций с облачным доступом. В *Ubi-max* (с 2021 г. — в составе ПО от *TeamViewer*) подготовку собственно инструкций часто выполняли в свободно распространяемой в России коммерческой системе *TeamViewer xMake*, а компоновка 3D-контента — вообще в условно-российской *Cortona3D (Parallel Graphics)*, интегрированной с проектными 3D- и PLM-решениями *Siemens Digital Factory* [2].

С марта 2022 г. все решения *Vuforia* и пакеты *TeamViewer* стали недоступными для поставки российским потребителям, и даже, уже оплаченные лицензии и подписки на AR-платформы были отозваны до истечения срока техподдержки.

В условиях санкционного давления реально доступным зарубежным ПО для разработки промышленных AR-приложений пока остаются все те же *ARKit*, *ARCore*, а также интегрированные в базовый комплект игрового движка *Unity3D* и другие, пока свободно доступные некоммерческие средства разработки, среди которых наиболее актуальным является симбиоз *ARKit* и *ARCore* — *ARFoundation*. Стабильность присутствия данных средств разработки AR-приложений на российском рынке и отсутствие санкционного давления (по состоянию на осень 2022 г.) по этим зарубежным продуктам дают основание полагать, что отечественные разработчики AR-приложений смогут и далее применять их. При этом скудность доступных в России таких средств и невозможность использовать высокопродуктивные специализированные AR-платформы промышленного направления существенно осложняют практику их применения российскими разработчиками. Появившиеся и все более расширяющиеся лакуны могли бы быть закрыты отечественными разработками и/или отечественными аналогами зарубежного ПО, однако именно в области AR перспективы рынка отечественных разработок не внушают оптимизма.

Сложности внедрения AR на базе отечественного ПО в российской промышленности

В области иммерсивных технологий отечественные разработчики с 10-летним лагом, повторяя пути развития мирового рынка VR/AR, получали коммерческую выгоду в основном от своих разработок в области VR. Разработка приложений AR велась для информационного сопровождения акций рекламного и маркетингового характера и максимизации Wow-эффекта. Отечественная промышленность стала обращать внимание на AR-технологии в тех производствах

и на тех предприятиях, где активно развивается цифровая трансформация гибких и настраиваемых производственных процессов ("умное" производство), а информация становится реальной производительной силой (концепция Индустрии 4.0), или там, где необходимо обеспечивать визуальный обмен информацией с привязкой к обстановке в условиях территориальной разнесенности участников (работа на выезде ремонтных и аварийных бригад, удаленный мониторинг, экспертное сопровождение удаленных работ) [4]. Создание промышленных AR-приложений для российских разработчиков — задача относительно дорогая и трудоемкая, поэтому отечественные разработчики пытаются максимально освоить мировой опыт в этой области, не изобретают "AR-велосипед" с нуля, а работают над своими AR-проектами, как правило в тех отраслях и на тех производствах, где применение средств разработки от зарубежных вендоров AR-платформ не рассматривают. Как уже указывалось, простой, хотя и не самый эффективный путь, — это разрабатывать свое собственное понимание AR-задачи производства на базе доступных *ARCore*, *ARKit* и движка *Unity*. Однако на практике такой подход оправдан в случае разработки небольших AR-приложений.

Для крупных разработок требуется наличие коллектива высококвалифицированных AR-дизайнеров и кодеров, а также значительное время, подчас превышающее время самого проекта. Разработки до введения антироссийских санкций, как правило, выполнялись на зарубежных промышленных AR-платформах. Но в условиях санкционного давления они в России более недоступны. В связи с этим существенно повысился интерес к разработке отечественных AR-платформ.

Позволить себе создание собственных платформ могут только крупные промышленные компании и привлекаемые ими для этого ИТ-компании (хотя бы и на уровне стартапов). Прежде всего стоит отметить ПАО "Газпром нефть". Для цифровой трансформации критически важных бизнес-задач в компании "Газпром нефть" разрабатывают AR-платформу на базе отечественного программного обеспечения "ИКСАР" от российской компании АО "Инлайн групп" с использованием промышленных AR-очков. AR-платформа предназначена для AR-сопровождения шеф-монтажных работ, выполняемых по стандартам и технологическим условиям ПАО "Газпром нефть" (рис. 1) на предприятиях, входящих в состав компании [9]. Особенности такой платформы является то, что это, скорее всего, платформа вспомогательной реальности (*Assisted Reality*), а не AR-платформа. То есть информацию (тексты, планы, пояснения к локациям и аннотированные указания, привязанные к топологии рабочего участка) выводят на оконечное устройство пользователя — AR-очки. По расчетам специалистов ПАО "Газпром нефть", до 2023 г. продукт будет тиражирован более чем на 100 площадок внутри ком-

пании, что позволит в несколько раз сократить время на проведение шеф-монтажных работ икратно сократить затраты на логистику, как это было указано в рамках VII Федерального ИТ-форума нефтегазовой отрасли России *Smart Oil&Gas*, прошедшего в конце сентября 2021 г. Предполагаем, что до 2023 г. ПАО "Газпром нефть" не будет предлагать свою AR-платформу в качестве альтернативы зарубежным AR-решениям. Необходимо отметить, что АО "Инлайн групп" разработало и позиционирует "ИКСАР", как AR-платформу для широкого применения, но для ПАО "Газпром нефть" это решение, созданное заказчиком при самом активном участии АО "Инлайн групп", т. е. это случай совместной разработки ПО под задачи заказчика, а не варианта применения универсального ПО.



Рис. 1. Шеф-монтаж вакуумных колонн в ПАО "Газпром нефть" с применением монокуляра дополненной реальности *realwear НМТ-1* в условиях пониженных температур и без устойчивой сетевой связи

Применение платформы "ИКСАР" на предприятии АО "Газпромнефть — МНПЗ" (рис. 2) позволило осуществить информационную интеграцию роботизированного складского оборудования и операторов.



Рис. 2. Использование AR-монокуляра *realwear НМТ-1* в реальных производственных условиях на предприятии АО "Газпромнефть — МНПЗ"

Всю разработку вели сотрудники АО "Инлайн групп", т. е. платформа вспомогательной реальности в этом случае является средством разработчика, которое требует найма группы

квалифицированных специалистов для каждого варианта AR-трансформации рабочего процесса компании-заказчика и, следовательно, отвлечения их от основной деятельности в компании-разработчике [9].

Другой практический пример применения отечественной AR-платформы — это деятельность созданного в 2017 г. предприятия ООО "Мотив НТ", связанная с обработкой программно-аппаратных систем для автоматического визуального контроля качества продукции и действий персонала и др., а также с разработкой и производством первого в России нейроморфного чипа — процессора для аппаратного исполнения нейронных сетей. Во взаимодействии с АО "НПО Энергомаш" Госкорпорации "Роскосмос" и ФГУП "ВНИИА" Госкорпорация "Росэнергтоатом" специалисты ООО "Мотив НТ" дооснастили свой программно-аппаратный комплекс (пока без отечественного чипа) системой распознавания и контроля сборочных операций (рис. 3).



Рис. 3. AR-технология контроля ручных операций по видеоизображению от ООО "Мотив НТ", АО "НПО Энергомаш" и ФГУП "ВНИИА"

Летом 2022 г. часть активов ООО "Мотив НТ" была приобретена в собственность "Лабораторией Касперского", что свидетельствует об интересе лидеров по созданию отечественного и мирового ПО, к передовым ИТ-разработкам, имеющим перспективы промышленного применения. Вариант применения AR-технологии для контроля ручных операций по видеоизображению подразумевает анализ видеоизображения и показ результата этого анализа на экране. В классическом понимании AR-технологии подразумевается также использование конечного устройства пользователя — носимого (шлема, очков) или в виде смартфона/планшета. В сентябре 2022 г. в открытых источниках появилось сообщение об успешном применении совместной разработки компаний ООО "Мотив НТ", НПО "Энергомаш" и ФГУП "ВНИИА" для AR-приложений по заказу Роскосмоса в рамках проекта "Интеллектуальная технология контроля ручных операций по видеоизображению" (рис. 4).



Рис. 4. Тестирование системы дополненной реальности [10]

В этой разработке AR-приложение использует прототип AR-очков — искусственный интеллект распознаёт детали устройств, располагаемых в зоне операции, а на экран очков в технологии *Assisted Reality* выводится информация о просматриваемых деталях и "подсказки" по выполняемым действиям. В чистом виде эти совместные разработки также не претендуют пока на уровень AR-платформы, разработка ведется по проектному принципу. И этот проект вряд ли скоро (даже при поддержке "Лаборатории Касперского"), станет рыночным продуктом из-за нерешенных проблем доступа к подсанкционным технологиям производства элементной оптоэлектронной базы AR и отсутствием у разработчика универсальной платформонезависимого ПО.

Пример именно AR-разработки, где элементами дополненной реальности являются не только текстовые аннотации, топологические указатели, а еще и 3D-модели изделий — это работы, которые ведутся в управлении ИТ Филиала ПАО "ОАК" — КнААЗ по применению AR-технологии для информационного сопровождения выполнения операций на рабочем месте (рис. 5) [11].



Рис. 5. Информационное сопровождение выполнения операций на рабочем месте. Постоянный контроль по 3D-модели и интерактивное выполнение пооперационных инструкций

Эти разработки не являются AR-платформами, оставаясь на уровне AR-разработок под конкретный заказ, но в данном случае разработчиком является не сторонняя компания, а

подразделение самого предприятия. В отличие от предыдущих рассмотренных в данной статье отечественных AR-разработок, приложения дополненной реальности КнААЗ — это полноценный проект применения AR-технологии в соответствии с концепцией Индустрии 4.0, так как используются все AR-типы контента, включая 3D-модели технологических сборок, есть интеграция в информационные потоки корпоративной системы *PLM*, ведется контроль последовательности предоставления AR-приложений в соответствии с ролью исполнителя и этапом работ [9].

"AR-ядром" разработок является *AR vision* — ПО собственной разработки Управления ИТ КнААЗ. Сценарий прорабатывался в *Unity*, а с 2021 г. ведутся работы по применению для этой цели *Unreal*. Следует обратить внимание на очень важный момент. Как указывалось выше, вызов и контентное наполнение AR-приложений управляется системой *PLM*. На КнААЗ системой *PLM* предприятия в соответствии со стандартами ОАК является *TeamCenter* от компании *Siemens Digital Industries Software*. В качестве конечных устройств используются мобильные iOS-устройства (*iPAD*) и Android-устройства, а для особо ответственных операций — шлемы дополненной реальности *Microsoft HoloLens*. Уязвимость с технической точки зрения здесь кроется в том, что компания *Siemens* может отказать в техническом сопровождении *TeamCenter*, а *Microsoft* — в продажах *MS HoloLens/HoloLens2* и техподдержке *Microsoft Holographics* для подсанкционных российских предприятий.

Среди самых успешных работ по применению AR в производстве необходимо упомянуть подсистему "Удаленный эксперт AR", разработанную в специально созданной для продвижения инновационных информационных технологий в ПАО "СИБУР Холдинг" компании ООО "СИБУР Диджитал" [12]. Однако, если судить по в открытым источникам, новых AR-решений, тем более на уровне платформ, со времени публикации [12] не появилось. Судя по всему, ООО "СИБУР Диджитал" и новое предприятие ООО "СИБУР Коннект" сосредоточились на не менее важных технологиях "умного" производства — Интернете вещей (*IoT*) и *Big Data*, *Data Analysis*. Что касается аппаратной составляющей AR-устройств пользователя, то тут, как и прежде, для AR-поддержки операций контроля производства мономеров используют монокуляр вспомогательной реальности *realwear HMT-1* и очки *EPSON Moverio*. В условиях санкционного давления поставки новых устройств *realwear* и *EPSON* становятся проблематичными, и если и исполняются, то только в каналах параллельного импорта со всеми вытекающими отрицательными последствиями.

Компания ООО "Иторум", также упомянутая в [12], предлагает свои услуги по подготовке

AR-решений типа *Assisted Reality* для промышленных задач информационного сопровождения выполнения операций. Компания применяет оригинальное программное обеспечение *Itorum MR* собственной разработки [13], и в условиях ухода с рынка зарубежных AR-платформ шансы на его распространение в отечественном промышленном секторе повышаются. Но также есть опасения, связанные с неясной ситуацией с поставками *realwear HMT* — базового устройства пользователя для работы с *Itorum MR*.

ServiceVizor — AR-решение, разработанное в АО "Моделирование и цифровые двойники" и предназначенное для сервисного обслуживания установленного оборудования и основных активов [14]. *ServiceVizor* относится к классу систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР), позволяет планировать и выполнять техническое обслуживание на основе объективных данных, а также информации из базы инженерных знаний ТОиР (рис. 6).



Рис. 6. Применение *ServiceVizor*: AR для ТОиР электродвигателя

Решение представляет собой набор функциональных AR/IIoT-приложений (IIoT — промышленный Интернет вещей), обеспечивающих мониторинг оборудования. *ServiceVizor* предоставляет инструменты создания цифровых AR-руководств для выполнения сервисных и контрольных операций, автоматизирует выпуск сменных заданий полевому персоналу с AR-контентом, обеспечивает помощь удаленного эксперта при выполнении работ в технологии AR-мессенджера.

Servicevizor разработан с помощью платформы промышленного Интернета вещей PTC *ThingWorx* и платформы дополненной реальности *Vuforia*, поддерживает большой набор функций — от базовых возможностей формирования заявок на выполнение работ и планирование всех видов обслуживания до специализированных функций выполнения операций ТОиР в режиме AR, управления электронной структу-

рой актива, разработки 2D/3D-контента и интеграции со смежными производственными системами. Предоставление AR-контента пользователю может быть выполнено на любом типе мобильных *Android*- или *iOS*-устройств, в очки дополненной реальности *EPSON*, *Vuzix*, *realwear HMT* и в *MS HoloLens*. С точки зрения реализации концепции AR-технологии *ServiceVizor* является наиболее полноценной средой для промышленной разработки среди приведенных отечественных примеров, причем *ServiceVizor* имеет историю успешного применения как для компаний дискретного производства, так и для предприятий непрерывного цикла. Риски связаны с тем, что технологическими основами решения являются подсанкционные с марта 2022 г. IoT-сервер *ThingWorx* и AR-платформа *Vuforia*. Существующие легальные инсталляции *ThingWorx* и *Vuforia* в России ограничены длительностью лицензионной подписки и отсутствием легального сопровождения от PTC. Это означает наступление критических сроков для успешно функционирующих *ServiceVizor* уже в первом полугодии 2023 г.

Заключение

В настоящее время в России сложилась уникальная ситуация: промышленности требуется "накачка" информационными технологиями для того, чтобы не отставать от мирового уровня промышленного развития. Одной из таких значимых технологий является технология дополненной реальности, уровень применения которой в рамках мировой промышленной культуры весьма высок. Но освоение AR отечественной промышленностью сталкивается в 2022 г. с почти непреодолимыми трудностями из-за того, что для российских пользователей недоступны наиболее технически продвинутые современные инструментальные средства AR-разработок. В такой ситуации можно рассчитывать на многочисленные отечественные компании, которые способны предлагать на российском рынке ИТ-решений достойные разработки в области дополненной реальности. Если в области программного обеспечения есть и AR-разработки, и группы AR-разработчиков, освоивших базовые средства разработок дополненной реальности, то в области аппаратного обеспечения AR-приложений пока рассчитывать приходится исключительно на зарубежное, как правило, подсанкционное оборудование. При этом обязательным условием для реализации национальных промышленных AR-инициатив является гарантированная господдержка и комплексные государственные программы создания индустриальной информационной инфраструктуры. Интеллектуальных и финансовых ресурсов даже таких крупных компаний отраслевого уровня, как ПАО "СИБУР Холдинг", ПАО "Газпром нефть" при внедрении отечественных AR-разработок

иногда недостаточно. Рынок передовых западных AR/IIoT-технологий после февраля 2022 г. стал фактически недоступен в России, и это привело к тому, что Росстандарт, Минстрой России, Министерство транспорта РФ, Минцифры России и Ростехнадзор в виде распоряжений и дорожных карт наметили сроки и уровень государственного участия в процессах внедрения AR-технологий в ряд отечественных промышленных отраслей. Вместе с тем, AR разработки как часть цифровой трансформации производства России, требует соответствующей подготовки квалифицированных кадров, и было бы хорошо Министерству науки и высшего образования РФ и Минпросвещения России присоединиться к этим процессам.

Литература

1. Пирогова М. А., Лешихина И. Е., Краюшкин В. А. Обзор передовых платформ дополненной реальности для разработки промышленных приложений уровня "рабочее место" // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2021. № 4. С. 7—12.
2. Пирогова М. А., Лешихина И. Е., Краюшкин В. А. Обзор применимости популярных платформ дополненной реальности для задач современного дискретного производства // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2021. № 1. С. 3—7.
3. Исследование Huawei: рынок AR/VR в России достигнет 7 млрд руб. к 2025 году [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2021-02-19_issledovanie_huawei_rynok_arvr (дата обращения: 28.09.2022).
4. Рынок промышленных VR/AR-решений в России. Исследование TAdviser [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> Статья: Рынок промышленных VR/AR-решений в России (исследование TAdviser) (дата обращения: 28.09.2022).
5. Компоненты Индустрии 4.0: AR/VR-технологии [Электронный ресурс]. URL: http://remmag.ru/upload_data/files/2018-01/RT.pdf (дата обращения: 28.09.2022).
6. AVRA Days [Электронный ресурс]. URL: <https://arvrassociation.timepad.ru/event/1562803> (дата обращения: 28.09.2022).
7. Конференция для Metaverse и AR\VR профессионалов [Электронный ресурс]. URL: <https://mixrconf.ru/> (дата обращения: 28.09.2022).
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2021 г. № 3719-р [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/jmFWAlUfdHZMmSMYdqfFRkvscqye7UYF.pdf> (дата обращения: 28.09.2022).
9. "ИКСАР" ("XR") — Программная платформа решений для устройств и технологий вспомогательной и дополненной реальности [Электронный ресурс]. URL: <https://inlinegroup-c.ru/about/patenty/platformareshenij-po-dopolnennoj-realnosti-xr> (дата обращения: 28.09.2022).
10. Telegram-канал Госкорпорация "Роскосмос" [Электронный ресурс]. URL: https://t.me/roscosmos_gk/6707 (дата обращения: 28.09.2022).
11. Пирогова М. А., Лешихина И. Е., Краюшкин В. А. Технология дополненной реальности как эффективный инструмент применения пошаговых руководств и инструкций на рабочем месте // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2022. № 2. С. 23—28.
12. Тимохин В. С., Шнак Д. А. Внедрение дополненной реальности в производственные процессы авиационного завода [Электронный ресурс]. URL: https://www.aviationunion.ru/upload/medialibrary/64d/Nom_1_Syhoj_K_na_A.pdf (дата обращения: 28.09.2022).
13. ITORUM MR — платформа совместной работы с техническим оборудованием [Электронный ресурс]. URL: <https://itorummr.ru/> (дата обращения: 28.09.2022).
14. ServiceVizor объединит технологии AR, IIoT и комплексных цифровых двойников для мониторинга и технического обслуживания // CAD/CAM/CAE Observer. 2021. С. 52—55.

AUGMENTED REALITY PLATFORMS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS: RUSSIA 2022

M. A. Pirogova, I. E. Leshikhina

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

V. A. Krayushkin

LLC "PTS", Moscow, Russia

The article continues the series of authors' reviews on augmented reality technologies published in the journal "Information technology of CAD/CAM/CAE" in 2021 (№ 1, № 4) and in 2022 (№ 2). The article discusses the possibilities of using augmented reality technology for the development of industrial applications in Russia. The problems of introducing these technologies in Russian industrial companies are analyzed.

Keywords: augmented reality, AR-development platforms, digital transformation, immersive experience technologies.

Пирогова Марина Аркадьевна, доцент.

E-mail: PirogovaMA@mpei.ru

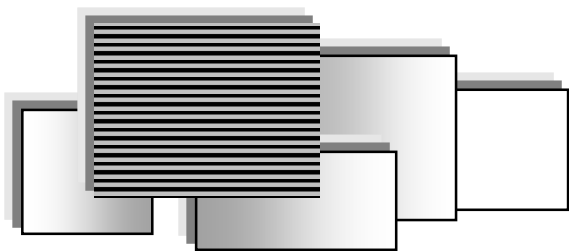
Лешихина Ирина Евгеньевна, доцент.

E-mail: liy56@mail.ru

Краюшкин Владимир Анатольевич, руководитель проектов.

E-mail: vkray@pts-russia.com

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2022 г.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 381.3.06

DOI: 10.52190/2073-2597_2022_4_11

EDN: FPBQHR

АНАЛИЗ РОЛИ MES-СИСТЕМЫ В СОСТАВЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Н. К. Ванройе; А. И. Власов, канд. техн. наук; Д. И. Денисова
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

Проведен анализ инкапсуляции киберфизических систем в производственные системы. Проиллюстрированы тенденции трансформации промышленной автоматизации к децентрализованной структуре. Проведены систематизация и обобщение роли подсистемы управления производством в эпоху цифровой трансформации. Произведен сравнительный анализ функциональных моделей киберфизических и классических производственных систем. Даны рекомендации по методам интеграции киберфизических и производственных систем в единое целое. Предложен подход системной координации подсистем цифрового производства, обеспечивающий взаимодополняющее взаимодействие. Показано, что применение технологии цифровых двойников может стать решением для реализации динамической связи между подсистемами управления цифровым производством.

Ключевые слова: киберфизическая система, цифровое производство, цифровой двойник, IoT, MES-система, управление производством, автоматизация.

Передовые системы промышленной автоматизации включают в себя как системы управления предприятием, так и цифровые услуги. Информационные системы предприятия состоят из компьютеров, программного обеспечения, людей, процессов и данных. В последние годы исполнительная информационная система (ИИС) является актуальной областью исследований и подвергается переосмыслению. С 1960-х гг., когда ИИС были впервые представлены в промышленности в виде компьютеров для замены бумажных систем, и до сегодняшнего дня они развивались вместе с прогрессом, который происходил в системах баз данных и компьютерных сетях. ИИС играют важную роль на производственных предприятиях, поддерживая бизнес-процессы, информационные потоки и аналитику. Основные функциональные модули ИИС реализуют следующие подсистемы [1, 2]:

- планирование ресурсов предприятия;
- управление цепочками поставок;
- системы управления производством;

- управление взаимоотношениями с клиентами;
- управление жизненным циклом продукции;
- система управления лабораторной информацией;
- статистическое управление процессами;
- диспетчерское управление и сбор данных;
- бизнес-аналитика.

Рост цифровизации привел к стремительному росту объемов обрабатываемых данных, что подтолкнуло ряд отраслей к их предиктивному анализу и автоматизации процессов принятия решений [3]. Это создает предпосылки формирования производственной киберфизической системы (КФС) — комплексной системы физических элементов и их цифровых двойников в вычислительном слое управления [4—6]. Киберфизическая система постоянно получает данные из окружающей физической среды и использует их для оптимизации процессов достижения установленных целей [7, 8].

Функциональная совместимость исполнителей процессов и их прозрачность в масштабах предприятия — это основная задача, где информационные системы будут играть ключевую роль в достижении "умного" производства [4]. "Умное" производство трансформируется в киберфизическую систему, которая будет обеспечивать взаимосвязь между производственными процессами и информационной инфраструктурой.

Целью работы является анализ роли подсистемы управления цифровым производством в составе комплексной киберфизической производственной системы.

При анализе производственных КФС следует учитывать такие факторы, как [4, 5]:

- интероперабельность — компании, КФС и люди связаны между собой через Интернет вещей (IoT) и Интернет услуг (IoS). Важны стандартизация и семантические описания;
- виртуализация — КФС способны контролировать физические процессы (другими словами, данные от датчиков связаны с виртуальными и имитационными моделями);
- децентрализация — сложно централизованно управлять распределенными по своей сути системами, поэтому отдельные агенты должны принимать решения самостоятельно и передавать на более высокие уровни только свои или сложные решения;
- возможность работы в реальном времени — постоянный анализ данных необходим для немедленного реагирования на любые изменения в окружающей среде, такие как маршрутизация или обработка отказов;
- эффективность — ключевые показатели эффективности (KPI), общая эффективность оборудования, оповещение о производственных проблемах;
- модульность — необходимо иметь возможность легко изменять или добавлять модули и немедленно использовать новые модули.

Подобно тому, как планирование ресурсов предприятия (ERP) выходит за границы предприятия и обеспечивает взаимодействие между предприятиями для поддержки возникающих бизнес-требований, сфера применения системы управления производством (MES-система) также расширяется, включая снабжение, проектирование и бизнес-функции производственного предприятия [9]. Для того чтобы использовать потенциал инструмента MES-систем нового поколения (совместимого с реальным временем) в производственной экосистеме, необходимо понять его значение для Индустрии 4.0 [10]. Исходя из этой необходимости, в данной статье проведена систематизация и обобщение роли MES-систем в эпоху цифровой трансформации.

Роль систем MES в интеллектуальном сопровождении производства

Общая роль MES-систем [11] в условиях обрабатывающего производства может быть в целом описана как внедрение высоко интегрированной информационной системы управления производственными операциями, которая использует современные концепции и передовые технологии для мониторинга в процессе производства в целях дальнейшего улучшения производственных процессов и снижения затрат.

Управление производственными операциями (MOM) по определению Международной электротехнической комиссии (МЭК) — это деятельность производственного предприятия, которая координирует, направляет, управляет и отслеживает ресурсы (оборудование, материалы и персонал) предприятия. Согласно ГОСТ Р МЭК 62264-3-2012 Интеграция систем управления предприятием. Часть 3. Рабочая модель управления технологическими операциями *Enterprise control system integration. Part 3. Activity model of manufacturing operations management*, элементами MOM являются управление производством, управление техническим обслуживанием, качеством, запасами и другими видами производственной деятельности. Сбор производственных данных — это деятельность по сбору и управлению данными для рабочих процессов или производственного запроса. Фабрики будущего должны эффективно использовать производственные данные в режиме реального времени для удовлетворения потребностей клиентов [4, 10].

Одним из основных стратегических преимуществ MES-систем является сбор данных, связанных с производством, которые затем преобразуются в информацию, позволяющую принимать решения и повышать производительность, контроль процессов, качество продукции и общую эффективность. В качестве примера на рис. 1 представлена декомпозиция MES-системы производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [7, 8].

MES-система в рамках киберфизической системы, являясь частью единого информационного контура, будет обеспечивать предприятия дополнительной информацией в режиме реального времени, давая единый обзор всех ресурсов, задействованных в производстве. Ожидается, что с повышением интеграции MES-системы во внутренние процессы предприятия она будет реализовывать потребность технологов в оперативном реагировании и управлять сбоями на производстве. Предприятия будут лучше оснащены для удовлетворения будущих потребностей за счет внедрения процессов, таких, как управление по целям, контроль данных в реальном времени, управление знаниями и т. д. [12].



Рис. 1. Базовый функционал MES-системы производства радиоэлектронной аппаратуры

Для реализации концепции "предприятий реального времени" производственные компании адаптируют инфраструктуру, ориентированную на предоставление услуг. Среди тенденций развития MES-систем — полная интеграция с цифровым производством, моделирование в реальном времени, вертикальная интеграция с цеховым уровнем, горизонтальная интеграция посредством микросервисной архитектуры и последовательного управления данными, масштабируемость, вплоть до децентрализованного самоорганизующегося производства, предоставление информации заинтересованным лицам [13—15].

В этой ситуации роль исполнительных информационных систем, в особенности систем MES/MOM, имеет решающее значение для создания "умных фабрик" и, таким образом, играет ключевую роль в производственных системах Индустрии 4.0 [16]. MES-системы нового поколения могут улучшить производительность процессов за счет "наглядности" и прозрачности производственных операций, становясь своего рода частью цифрового двойника производственной системы.

Цифровой двойник — это оцифрованный технологический процесс получения продукта. Выделим основные цели его внедрения:

- оперативная оценка индивидуальных технических решений и их взаимного влияния друг на друга;
- выявление рисков при моделировании процессов без опасностей для действующего производства;

- предиктивный анализ, позволяющий оценивать состояние и загрузку оборудования в различных режимах работы установки;

- подбор оптимальных режимов работы для минимизации энергозатрат или максимизации выпуска продукции;

- возможность подбора оборудования с учётом детальной информации по всем основным производственным потокам как при текущей, так и при увеличенной производительности;

- мониторинг текущей нагрузки на производство и сбор отсутствующей информации на основании виртуальных анализаторов и т. д.

С помощью цифрового двойника можно получить более полную информацию о протекании технологических процессов и быстрее обнаружить проблемы, точнее предсказывать результат процесса и в конечном итоге вести процесс более качественно. Цифровые двойники процессов производства отличаются также детализацией, начиная с уровня элементов оборудования до объединённых в функциональные блоки подсистем.

Интерфейс цифрового двойника позволяет в режиме онлайн видеть все процессы, параметры (температуру, давление в аппаратах, концентрацию подаваемых веществ и т. д.) и "узкие" места в ходе процесса. Всё это рассчитывается автоматически в модели, подключённой онлайн к MES-системе предприятия. MES-система является источником данных об изменениях количественных параметров этапов технологического процесса, что обеспечивает интеграцию цифрового отображения производственной системы и системы поддержки принятия решений (рис. 2).

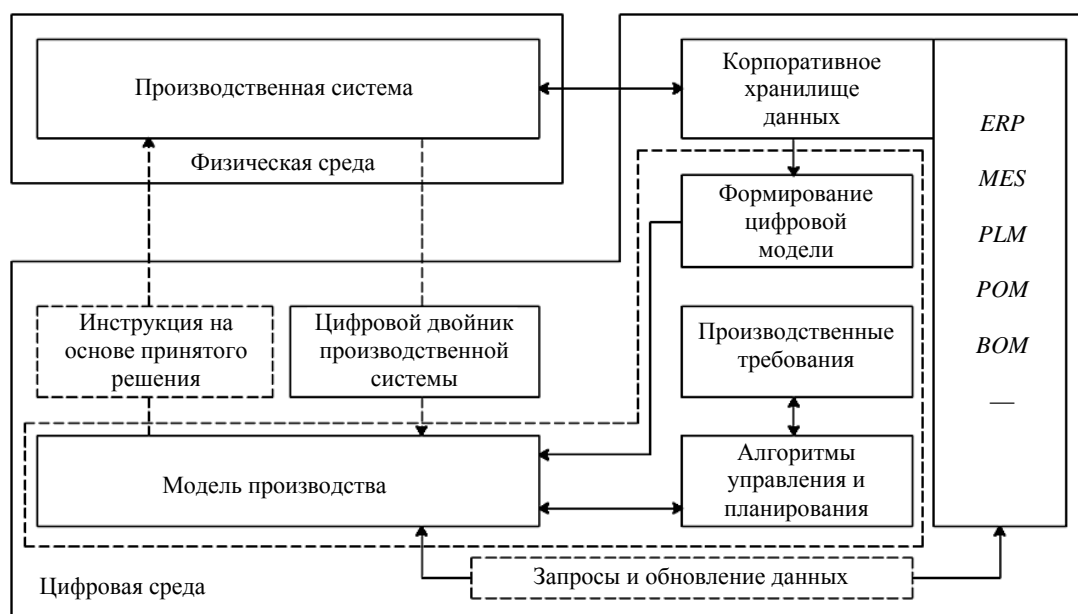


Рис. 2. Интеграция цифрового отображения производственной системы и системы поддержки принятия решений

Чтобы соответствовать Индустрии 4.0, предприятия будущего должны использовать информационные технологии для оцифровки производственных операций и децентрализованные приложения для управления производством [17—22]. Целью "умного" производства является повышение конкурентоспособности с помощью информационных технологий для эффективного и точного принятия инженерных решений в режиме реального времени. КФС и IoT являются базовыми компонентами в реализации этой цели. Следовательно, исследование методов и средств цифровой трансформации MES-систем для производственных комплексов на базе Индустрии 4.0 является актуальной задачей.

Функциональная модель киберфизической производственной системы

В качестве базиса для внедрения КФС применяется архитектура 5С (*Configuration, Cognition, Cyber, Conversional, Connection*) [23—27]. Она определяет требования и функции, которые должны выполнять КФС посредством последовательности процессов. Архитектура 5С состоит из пяти уровней: коммуникационный уровень, преобразование данных в ценную информацию, кибернетический уровень, уровень знаний и уровень конфигурации. Поскольку архитектура 5С является функциональной архитектурой, предлагается использовать ее для построения функциональной архитектуры киберфизической системы (рис. 3).

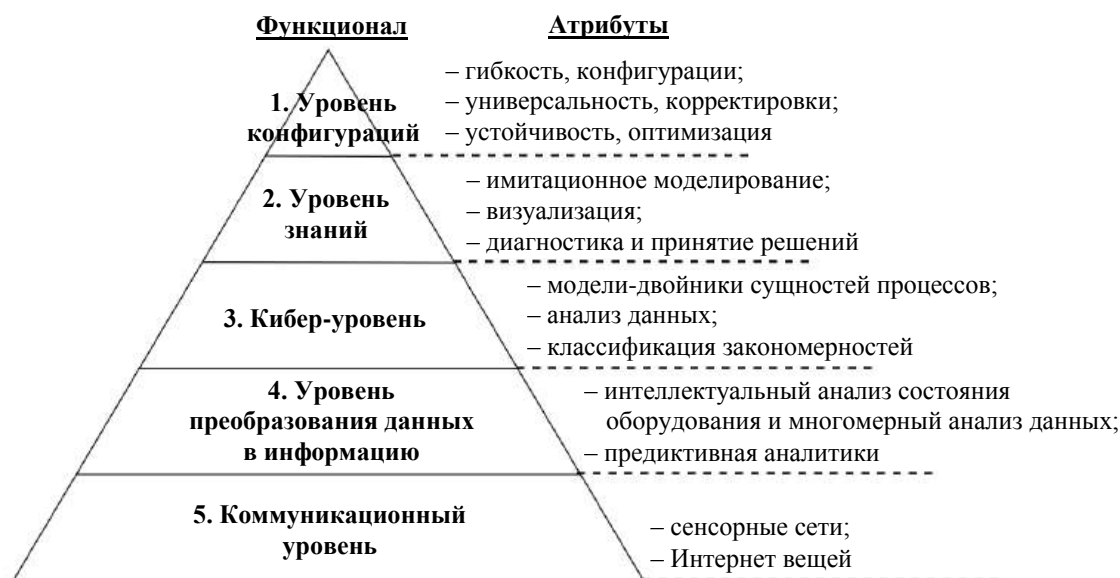


Рис.3. Функциональная архитектура КФС

Согласно архитектуре 5С, каждому уровню соответствует определенная основная деятельность. На коммуникационном уровне необработанные данные поступают от датчиков и контроллеров из физического пространства и передаются в сеть. На уровне преобразования данных в информацию необработанные данные обрабатываются для получения осмысленных данных. Кибер-уровень представляет собой центральный узел данных, где каждый КФС может взаимодействовать с другими КФС для обогащения собственных данных. Уровень знаний генерирует глубокое понимание всей системы, что помогает пользователям-экспертам принимать решения. На уровне конфигурации КФС могут самоконфигурироваться и самоадаптироваться, чтобы вернуться к нормальному поведению.

В качестве примера рассмотрим функциональную модель процесса принятия решений в киберфизической системе (рис. 4). На верхнем уровне декомпозиции данная модель представляется согласно методологии функционального моделирования *IDEFO* и требований стандарта Р 50.1 028-2001 [28] в виде контекстной диаграммы А0, которую можно декомпозировать на пять видов деятельности А1—А5.

Блок А1 — Деятельность А1 Получение сырой статистики из физического пространства. Этот блок соответствует коммуникационному уровню архитектуры 5С. Входными данными являются команды управления, которые преобразуются в "сырые" данные. Под исходными данными понимают данные измерений, полученные от контрольно-измерительных приборов предприятия. Используют следующие механизмы: источники данных, такие как датчики и программируемые логические контроллеры (ПЛК); протоколы передачи данных; методы сбора данных. Элементами управления являются производственные правила и производственный маршрут.

Блок А2 — Деятельность А2 Преобразование сырой статистики в значимые данные. Блок соответствует уровню преобразования данных в информацию архитектуры 5С. Входными являются данные, полученные из блока А1. Значимые данные относятся к данным на более высоком семантическом уровне, таким как события перемещения ресурсов и данные о статусах ресурсов. Для получения содержательных данных необходимы технологии анализа данных как механизма. В дополнение к элементам управления в блоке А1, еще одним элементом управления является формат данных.

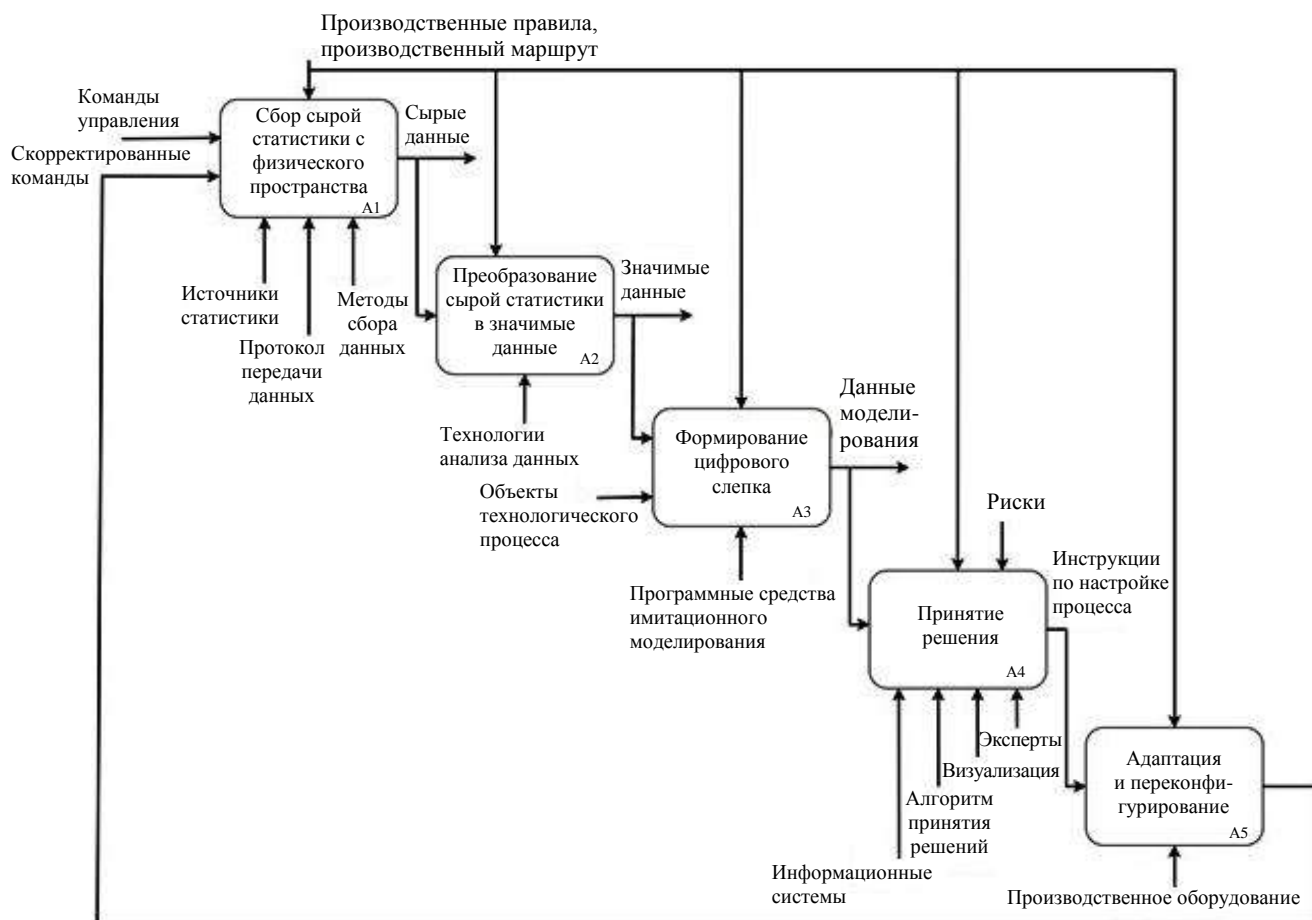


Рис. 4. Функциональная модель принятия решений КФС

Блок А2 — деятельность А3 Формирование цифрового слежка. Блок соответствует кибер-уровню архитектуры 5С. Он имеет один вход, который связан с предыдущим выходом "значимые данные" блока А2, и один выход "данные моделирования". В блоке А3 те же элементы управления, что и в блоке А1. Для поддержки деятельности А3 и ее функций необходимы программные средства имитационного моделирования.

Блок А4 — деятельность А4 Принятие решений. Блок соответствует уровню знаний архитектуры 5С. Он имеет один вход, который связан с выходом "данные моделирования" из блока А3, и один выход "инструкции по настройке процесса". Для поддержки деятельности А4 и ее функций необходимы программное обеспечение для моделирования, информационные системы, соответствующие средства представления информации и пользователи-эксперты. В дополнение к элементам управления блока А1, для поддержки принятия правильных решений необходим еще один элемент — "критерий риска".

Блок А5 — деятельность А5 Адаптация и переконфигурирование. В данном блоке описывается основная деятельность, соответствующая уровню конфигурации архитектуры 5С. Входные данные, связанные с предыдущим выходом "решения" блока А5, преобразуются в "скорректированные команды". Блок имеет те же элементы управления, что и блок А1.

Функциональная модель MES-системы

В части 3 стандарта *ISA-95* (2005) [14] дается подробный обзор всех видов деятельности и потоков данных *MOM* в области оперативного управления производством, запасами, техническим обслуживанием и качеством. *MOM* можно рассматривать как верхний ограниченный диапазон функций, задействованных в *MES*-приложениях. Основное внимание современных *MES*-приложений сосредоточено только на управлении производственными операциями. Однако в будущем функции *MES*-систем должны будут развиваться в направлении *MOM* [22]. Поэтому в данной статье *MES*-система рассматривается как часть *MOM*, которая охватывает все области управления операциями. Одним из основных преимуществ *ISA95* является определение основных функций и потоков данных в рамках *MOM*. Общая модель деятельности по управлению производственными операциями приведена на рис. 5. Каждая из четырех областей управления операциями включает восемь видов деятельности [23].

В соответствии с этим, модель интеграции *MES*-системы в киберфизическую систему была декомпозирована на восемь блоков, каждому из которых соответствует свой вид деятельности (рис. 6).

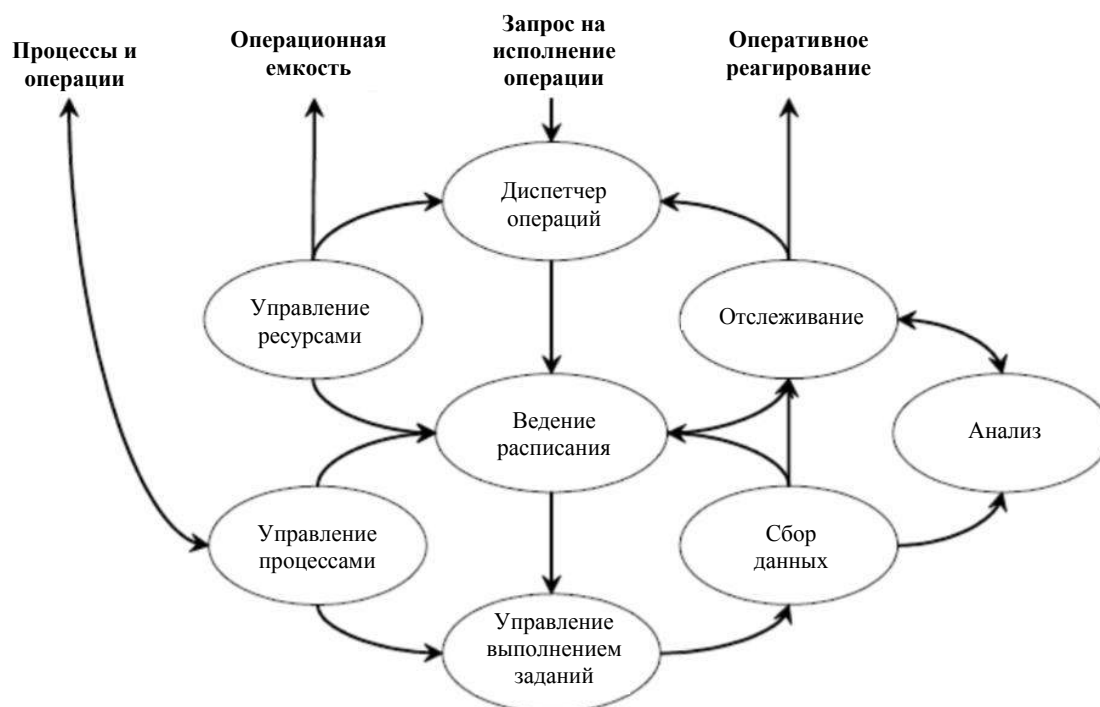


Рис. 5. Общая модель деятельности по управлению производственными операциями

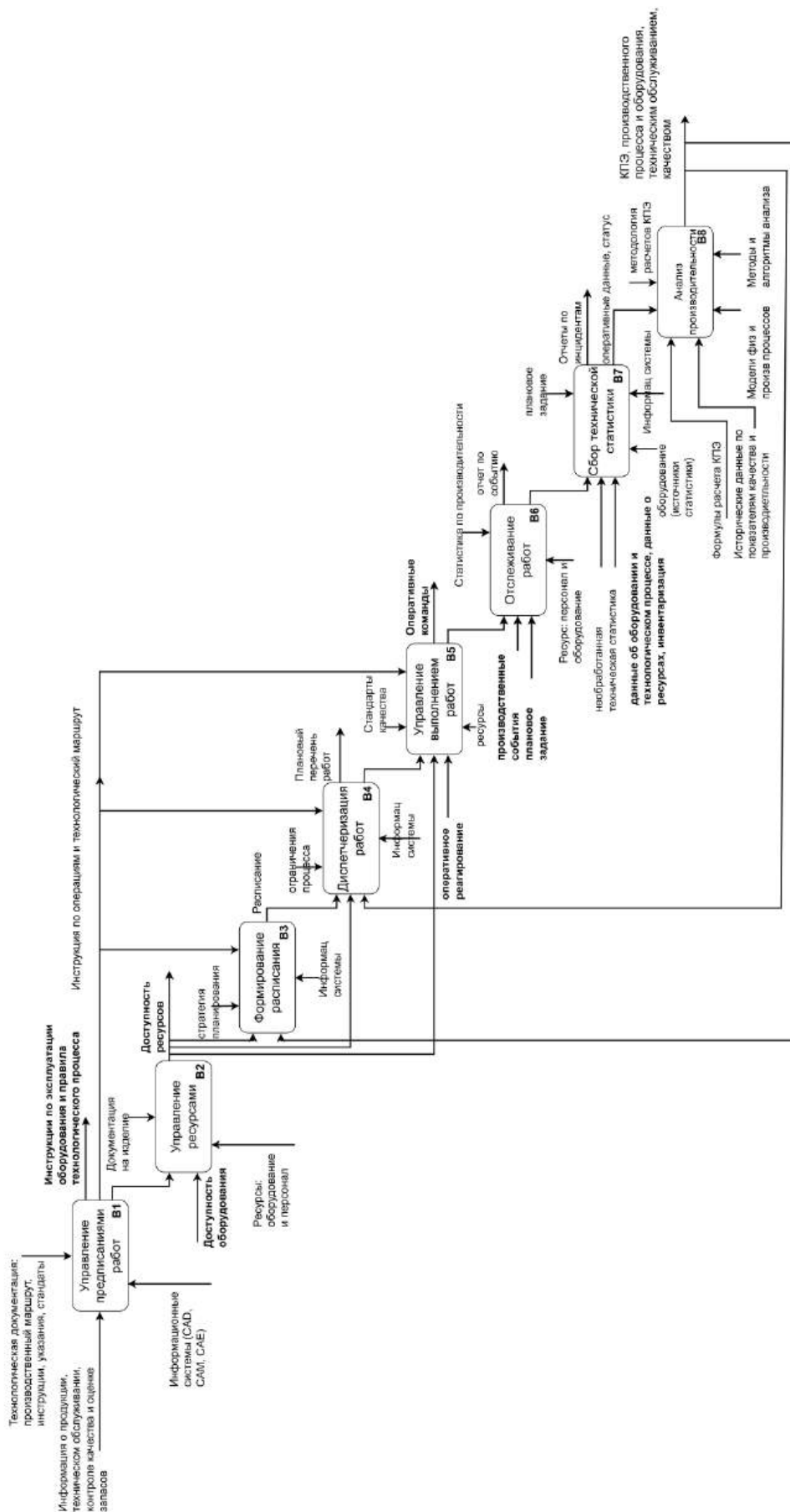


Рис. 6. Функциональная модель MES-системы

В блоке В1 — **деятельность В1 Управление предписаниями работ** — отражается управление информацией о работе и разрабатываются правила работы. В блоке В2 — **деятельность В2 Управление ресурсами** — реализуется управление информацией о ресурсах, включая оборудование, инструменты, рабочую силу, материалы и энергию. Блок В3 — **деятельность В3 Детальное расписание** — отражает составление расписания и оптимальное использование ресурсов для выполнения требований расписания. Блок В4 — **деятельность В4 Диспетчеризация работ** — представляет направление списка команд и инструкций по оборудованию и работе персонала. Блок В5 — **деятельность В5 Управление выполнением работ** — руководит выполнением работ в соответствии с диспетчерским списком. Блок В6 — **деятельность В6 Отслеживание работ** — обобщается и выдается информация о привлеченном персонале, использованном оборудовании, потребленных материалах, произведенных продуктах, затратах, результатах анализа эффективности и других соответствующих данных. Блок В7 — **деятельность В7 Сбор данных** — собирает, компилирует и управляет данными для конкретных рабочих процессов. В блоке В8 — **деятельность В8 Анализ производительности** — анализируется и сообщается информация о производительности производственных систем.

Потоки данных между этими видами деятельности взяты из части 3 стандарта *ISA-95*. Например, задачи блока В1 соответствуют требованиям *ISA95* предоставлять правила производства продукта персоналу или другим видам деятельности. Следовательно, выходом блока В1 является производственное правило.

Методика интеграции *MES*-системы в КФС

На основе функциональной модели киберфизической системы и *MES*-системы проанализируем потоки данных между КФС и *MES*-системой, которые представляют собой функциональные интерфейсы между ними [24, 25]. Затем на основе потоков данных проанализируем, какие функции *MES*-системы являются избыточными в КФС, а какие, напротив, наиболее значимыми.

В *MES*-системе существуют двусторонние потоки данных. С одной стороны, *MES*-система имеет дело с нисходящим потоком данных — требования, предоставляемые организационным уровнем, должны быть преобразованы в подробные оперативные команды для производственных участков. С другой стороны, *MES*-система управляет восходящим потоком данных. Она собирает цеховые данные, анализирует их и извлекает полезную информацию для предоставления ключевых показателей эффективности предприятия и для принятия коммерческих

решений и улучшения показателей производства. Поскольку потоки данных между КФС и *MES*-системой описаны в *ISA95*, анализ данных потоков можем опустить.

Поток данных 1 "оборудование и технологические правила" идет с выходов Блока В1 на вход блоков А1—А5. Правила оборудования и процесса определяют конкретные инструкции по производству, инвентаризации, обслуживанию, тестированию качества, которые выполняются в цехе на основе конкретных поставленных задач, например, программы для станков с числовым программным управлением.

Поток данных 2 "оперативные команды" — с выхода блока В5 на вход блока А1. Оперативные команды определяют команды для запуска или завершения элементов рабочего задания в цехе, например, процедуры настройки станков или технического обслуживания станков.

Поток данных 3 "оперативные ответы" — с выхода блока А3 на вход блока В5. Оперативные ответы определяют информацию, полученную из цеха в ответ на команды, например, о завершении или статусе элементов рабочих заказов.

Поток данных 4 "данные об оборудовании и технологическом процессе, данные о ресурсах, история технического обслуживания, данные о проверке качества, данные инвентаризации" — с выхода блока А3 на вход блока В7. Данные по оборудованию и процессу определяют данные о выполняемом процессе и задействованных ресурсах.

Поток данных 5 "KPI, связанные с производством, техническим обслуживанием, качеством и запасами" — с выхода блока В8 на вход блока А4. Области управления производственными операциями имеют различные наборы показателей эффективности, которые используются совместно для принятия решений и мониторинга реализации бизнес-целей предприятия.

Поток данных 6 "текущее наличие ресурсов" — с выхода блока А3 на вход блока В2. Ресурсы включают машины, инструменты, рабочую силу (с определенными навыками), материалы и энергию.

Поток данных 7 "возможности ресурсов" — с выхода блока В2 на вход блока А3. Возможности ресурсов определяют доступные или недоступные ресурсы. Информация основана на текущем состоянии и будущих потребностях (как определено в блоке В3).

Поток данных 8 "события производства и перемещения" — с выхода блока А3 на вход блока В6. Этот поток включает перемещения материалов и обновления местоположения партий.

MES-система для потоков данных 1, 3, 4, 6, 7 и 8 в основном служит в качестве информационной платформы, которая содержит всю информацию по управлению производством, запасами, техническим обслуживанием и проверкой качества, и в результате обнаружено, что функ-

ции MES-системы очень похожи на функции цифрового двойника в плане определения работ, управления ресурсами, отслеживания работ и сбора данных. Например, что касается функции MES-системы "сбор данных", то цифровые двойники хранят все данные с мест и других информационных систем в режиме реального времени, как и в MES-системе. Цифровой двойник относится к виртуализации физических ресурсов в киберпространстве, и его основная цель — облегчить процесс принятия решений посредством моделирования в реальном времени. Поэтому в будущем MES-система может быть использована в качестве цифрового двойника благодаря своей способности предоставлять цифровые изображения и контролировать производственные процессы в режиме реального времени.

Что касается потока данных 5, MES-система анализирует и сообщает информацию о производительности экспертам для принятия решений. В контексте Индустрии 4.0 функция анализа производительности в MES-системе становится более сложной и важной. С развитием информационно-коммуникационных технологий количество данных, собираемых в цехах, значительно увеличивается. MES-система всегда должна представлять людям наиболее релевантные данные для принятия решений.

Для потока данных 2 MES-система посылает оперативные команды в физическое пространство КФС. Функция управления исполнениями не менее важна, поскольку необходимо не только иметь данные, поступающие из цеха в MES-систему, но и иметь возможность действовать из MES-системы в цех, предлагая оперативные команды системе управления производством. В КФС в будущем должна появиться возможность децентрализации оперативных решений и делегирования части решений, принимаемых ранее в MES-системе, более низким уровням производственных систем, таким как "умные" машины и "умные" продукты. Это уменьшит количество задач данной функции в части решений на операционном уровне. Поскольку MES-система охватывает все области MOM, она может собирать все данные, связанные с производством, качеством, запасами и техническим обслуживанием. Это дает MES-системе целостное представление о производственных процессах и позволяет принимать решения до возникновения сбоев.

Заключение

Функционал MES-системы необходим для эффективной реализации КФС, однако он должен быть представлен в новых и различных формах, при этом некоторые из них могут быть включены в функции КФС, некоторые расширят свой функционал, а некоторые будут децен-

трализованы. Например, функция MES-системы "формирование расписания" будет решать задачи высокого уровня, осуществляя приближенное планирование производственных операций, в то время как гибкое планирование частичных заказов будет осуществляться КФС посредством учета местных возможностей ресурсов в режиме реального времени. Соответственно, программное обеспечение MES-системы будет двигаться от монолитных программных систем к функциональным модулям, которые будут реализованы в высоко распределенной форме. Поэтому MES-система следующего поколения требует большей гибкости, динамичности и улучшенной функциональности, чем имеющиеся MES-системы.

Взаимосвязанные функции MES-систем и КФС не могут быть разработаны независимо друг от друга, а затем интегрированы вместе. Идея заключается в совместной разработке и координации процессов проектирования обеих систем, чтобы их взаимодействие являлось взаимодополняющим. Эта связь имеет двойной характер: с одной стороны, если конфигурация КФС изменяется, то автоматически изменяется предприятие и бизнес-процессы. С другой стороны, если потребуются новые функциональные возможности информационной системы предприятия, КФС могут автоматически конфигурироваться для удовлетворения этих новых требований. Цифровой двойник может стать решением для реализации такой динамической связи, поскольку в цифровых двойниках изменение состояния физического объекта будет автоматически влиять на состояние цифрового объекта и наоборот.

*Отдельные результаты получены
в рамках Программы стратегического
академического лидерства
МГТУ им. Н. Э. Баумана "Приоритет-2030"
по проекту ПРИОР/СН/НУ/22/СП2/5*

Литература

1. Власов А. И., Михненко А. Е. Информационно-управляющие системы для производителей электроники // Производство электроники. 2006. № 3. С. 15—21.
2. Власов А. И., Михненко А. Е. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // Производство электроники. 2006. № 4. С. 5—12.
3. Artemiev B. V., Selivanov K. V., Mironov K. S., Isroilov J. O., Vlasov A. I. Predictive Control Algorithm for a Variable Load Hybrid Power System on the Basis of Power Output Forecast // International J. Energy Economics and Policy this link is disabled. 2022. V. 12(3). P. 1—7.

4. Kurnosenko A. E., Juravleva L. V., Lysenko O. A., Vlasov A. I. Trend analysis in the development of factories of the future, taking into account digital transformation of active systems // ACM International Conference Proceeding Series. 4. Сер. "Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Digital Economy and Finances", DEFIN 2021" 2021. N. 3490881.
5. Курносенко А. Е., Шахнов В. А. Цифровая трансформация при подготовке производства изделий электроники // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 2. С. 51—56.
6. Shakhnov V. A., Kurnosenko A. E., Demin A. A., Vlasov A. I. Индустрия 4.0 visual tools for digital twin system design // Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. Proceedings of 4th Computational Methods in Systems and Software 2020. V. 2. 2020. P. 864—875.
7. Шахнов В. А., Курносенко А. Е. Моделирование цифрового производства электронной аппаратуры в рамках концепции "Индустрия 4.0" // Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии: мат. I Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 585—594.
8. Курносенко А. Е., Харитонов К. П. Применение PLM-системы Teamcenter для управления жизненным циклом электронных изделий // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2018. № 2(170). С. 56—62.
9. The New MES: Backbone of Индустрия 4.0 / 2017 IYNO Advisors & Critical Manufacturing.
10. Журавлева Л. В., Кирилин В. Д., Ренников П. О., Усюкин М. А. Анализ интеграции технологии "Фабрик будущего" и "Индустрия 4.0" // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 3(179). С. 45—51.
11. Фролов Е. Б., Загидуллин Р. Р. MES-системы как они есть, или эволюция систем планирования производства // Металлообрабатывающее оборудование. 2008. № 10. С. 31—37.
12. Bonnaud S., Didier C., Kohler A. Индустрия 4.0 and Cognitive Manufacturing. Architecture Patterns, Use Cases and IBM Solutions // IBM Global Markets. 2019.
13. Козлецов А. П., Решетников И. С. Применение стандарта ISA-95 для интеграции информационных систем на производственном предприятии // Автоматизация в промышленности. 2012. № 10. С. 3—7.
14. ANSI/ISA-95.00.03-2005 Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management.
15. ГОСТ Р МЭК 62264-3-2012 Национальный стандарт Российской Федерации. Интеграция систем управления предприятием. Часть 3: Рабочая модель управления технологическими операциями.
16. Евгеньев Г. Б. Российские технологии создания систем класса "Индустрия 4.0". Часть 1. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2018. № 8. С. 50—63. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-8-50-63.
17. Ismail A., Truong H., Kastner W. Manufacturing process data analysis pipelines: a requirements analysis and survey // J. Big Data. 2019. V. 6(1).
18. Карпунин А. А., Кирилин В. Д., Ренников П. О., Усюкин М. А. Анализ тенденций развития технологии blockchain при реализации концепции индустрии 4.0 // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2021. № 3(183). С. 53—59.
19. Карпунин А. А., Власов А. И. Обработка данных с распределенным реестром в концепции "Индустрия 4.0" // Энергосбережение и эффективность в технических системах. Мат. V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых учёных и специалистов. 2018. С. 120—121.
20. Карпунин А. А., Козлов А. А. Анализ методов реализации децентрализованных приложений в конструкторско-технологической информатике // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 4(168). С. 39—44.
21. Курпьяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики // International J. Open Information Technologies 2016. V. 4. № 2. С. 18—26.
22. Ошурков В. А., Макашова В. Н. Оперативное планирование производства в MES-системах с использованием методов и алгоритмов искусственного интеллекта // Современные информационные технологии и ИТ-образование, 2015. Т. 11. № 2. С. 133—139.
23. Nevliudov I., Yevsieiev V., Maksymova S., Filippenko I. Development of an architectural logical model to automate the management of the process of creating complex cyber-physical industrial systems // Eastern-European J. Enterprise Technologies. 2020. № 4/3(106). P. 44—52.
24. Fei Tao, Qinglin Qi, Lihui Wang. A.Y.C. Nee Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison // Engineering. 2019. № 5. P. 653—661.
25. Jang S.-W., Kim G.-Y. A monitoring method of semiconductor manufacturing processes using Internet of Things-based big data analysis // International J. Distributed Sensor Networks. 2017. V. 13(7).
26. Степанов М. Ф., Мусатов В. Ю., Егоров И. В., Пчелинцева С. В., Степанов А. М. Кибер-физическая система управления программно-аппаратного комплекса антропоморфного робота: архитектура и модели // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. 2019. Т. 3. С. 76—85.
27. Цветков В. Я. Архитектура 5С // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 6—1. С. 62—63.
28. Р 50.1 028-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028629>.

ANALYSIS OF THE ROLE OF THE MES-SYSTEM IN THE CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEM

N. K. Vanroye, A. I. Vlasov, D. I. Denisova
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The work focuses on the analysis of encapsulation of cyberphysical systems into production systems. The trends in the transformation of industrial automation to a decentralized structure are illustrated. Systematization and generalization of the role of the production management subsystem in the era of digital transformation was carried out. A comparative analysis of functional models of cyberphysical production systems with classical ones was carried out. Recommendations are given on methods for integrating cyberphysical and production systems into a single whole. The approach of system coordination of digital production subsystems is proposed, which ensures their complementary interaction. It has been shown that the use of digital twin technology can be a solution for implementing dynamic communication between digital production control subsystems.

Keywords: cyber-physical system, digital manufacturing, digital twin, IoT, MES system, production management, automation.

Ванройе Никита Клод, аспирант.

E-mail: nikitavanroye@gmail.com

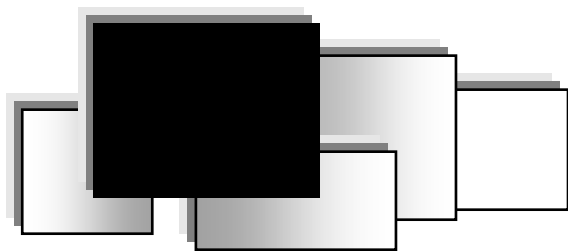
Власов Андрей Игоревич, доцента.

E-mail: vlasovai@bmstu.ru

Денисова Дарья Игоревна, магистрант.

E-mail: dashad_i@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2022 г.



МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004

DOI: 10.52190/2073-2597_2022_4_22

EDN: FXVJDL

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРОТИВОДЕЙСТВИЮ КИБЕРУГРОЗАМ В ПРОИЗВОДСТВЕ

М. И. Грачев

Санкт-Петербургский университет МВД России, Санкт-Петербург, Россия

В. Г. Бурлов, д-р техн. наук

Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

Предложена математическая модель, позволяющая лицу, принимающему решение, реагировать на киберугрозы, которым подвергается автоматизированная система управления производством, и своевременно задействовать имеющиеся ресурсы для достижения цели деятельности. Для моделирования использованы методы декомпозиции, абстрагирования и агрегирования. Управленческое решение рассмотрено как процесс на методологическом, методическом и технологическом уровнях. Для построения функции вероятности нахождения системы управления в требуемом состоянии использованы дифференциальные уравнения Колмогорова.

Ключевые слова: математическая модель, синтез, управленческое решение, киберугрозы, дифференциальные уравнения Колмогорова, управление процессами и производствами.

Внедрение на производственных предприятиях программного обеспечения (ПО) по управлению технологическими процессами привело к автоматизации и ускорению процесса производства.

Вместе с тем возросло число деструктивных воздействий на ПО, направленных на разрушение технологических процессов и нарушение бесперебойной работы предприятий. Для противодействия возникающим угрозам у лица, принимающего решение в автоматизированной системе управления производством (АСУП), должен быть инструмент противодействия таким угрозам [1]. Лицом, принимающим решение (ЛПР), может быть директор предприятия, руководитель технологического направления на производстве, а также сотрудник, отвечающий за информационную безопасность.

В качестве вспомогательного инструмента противодействия киберугрозам предлагается использовать разработанную авторами данной работы математическую модель реагирования на такие угрозы, которая позволит иметь представление, в какой промежуток времени необ-

ходимо оказать противодействие, чтобы предприятие продолжило работу в штатном режиме. В связи с большой ответственностью ЛПР за управление производственными технологическими процессами, разработка математической модели принятия решений для противодействия киберугрозам является актуальной задачей.

Разработка математической модели для принятия решения по противодействию киберугрозам

В трудах академика П. К. Анохина по теории функциональных систем указывается, что человек думает, основываясь на модели поведения, и все объекты, созданные человеком — это реализация его модели решения [2, 3]. Академик Н. Н. Моисеев также отмечает, что в основе деятельности человека лежит его решение [4—7].

Вопросам математического моделирования и применения программных методов исследования посвящены работы многих российских и

зарубежных авторов, например М. Робсон, Ф. Уллах [8]; М. Хаммер, Д. Чампи [9]; А. В. Качалов [10, 11]; В. Ф. Корольков [12]; В. А. Садовничий, А. А. Акаев, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков [13]; А. К. Гуд, В. В. Коробицына, А. А. Лаптев [14, 15]; А. Н. Колмогоров [16]; О. И. Ларичев [17]; А. В. Колесников, Г. Г. Малинецкий, С. Н. Сиренко [18]; А. И. Орлов [19]; А. А. Самарский, А. П. Михайлов [20]; Дж. Форестер [21]; Г. Х. Гуд, Р. Э. Макол [22]; Б. А. Резников, В. Н. Калинин [23, 24]; Ю. Г. Ростовцев [25]; Б. Андерсен [26]; Е. У. Деминг [27]; В. В. Ефимов [28]; В. В. Репин, В. Г. Елиферов [29].

Однако в публикуемой литературе математическая модель для принятия решения не рассмотрена, многие авторы делают выводы о том, что создать её сложно или вовсе не представляется возможным [30].

Известны и применяются два подхода к разработке системы, основанные на анализе модели и на ее синтезе. Эти подходы схематично представлены на рис. 1 [31].

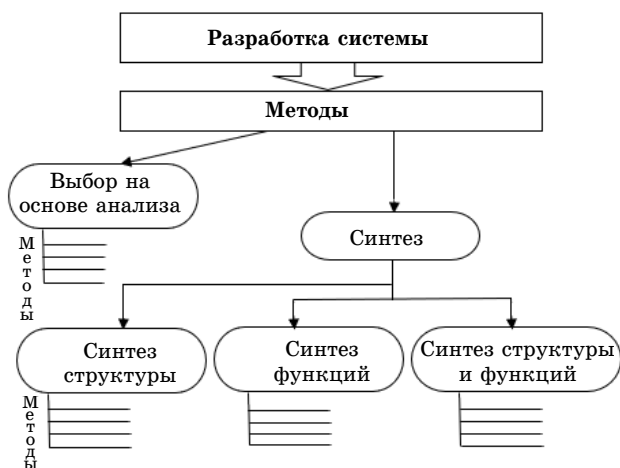


Рис. 1. Методы разработки системы

П. К. Анохин особо обращал внимание на то, что для синтеза системы необходимо выявить основную закономерность. В дальнейшем он подтвердил данную теорию через проведенные им эксперименты [2, 3].

Рассмотрим управленческое решение, как необходимое действие, которое вырабатывает ЛПР после негативного воздействия на АСУП для противодействия киберугрозам [32].

Управленческое решение направлено на достижение цели управления и является условием для реализации предназначения управляемого объекта [33]. Следовательно, управленческое решение необходимо рассматривать как процесс (рис. 2). [31].

Свойствами управленческого решения являются объективность, целостность и изменчивость. Далее каждое свойство рассмотрим на методологическом, методическом и технологическом уровнях.



Рис. 2. Управленческое решение как процесс

На методологическом уровне происходит формирование условий существования самого процесса принятия решения, т. е. создание необходимых условий для ЛПР. На методическом уровне формируются условия для перевода процесса производства из текущего состояния в необходимое. На технологическом уровне происходит реализация разработанных ранее планов по достижению цели деятельности [31].

Рассмотрим технологический уровень, в соответствии с которым управленческое решение определяется обстановкой, информационно-аналитической работой и решением (рис. 3).

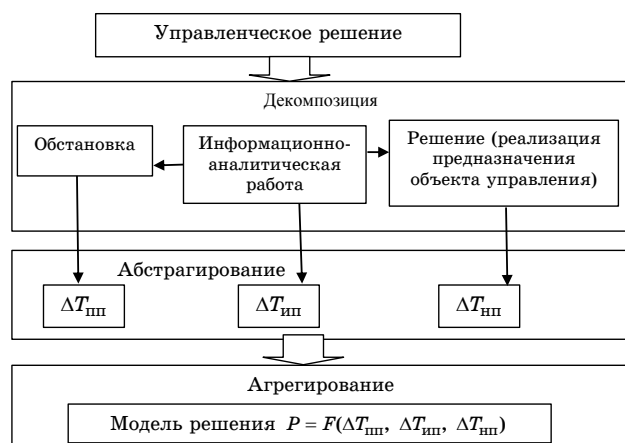


Рис. 3. Модель управленческого решения

Абстрагируясь, обстановку можно описать как процесс проявления проблем в системе управления ($\Delta T_{пп}$ — время проявления проблемы), информационно-аналитическую работу — как процесс распознавания возникающих в си-

системе управления угроз ($\Delta T_{\text{ин}}$ — время, затраченное на идентификацию угроз), а решение — как процесс устранения выявленных угроз ($\Delta T_{\text{рп}}$ — время, затраченное на нейтрализацию угроз). Управленческое решение зависит от длительности вышеуказанных процессов. Математически можно записать, что состояние системы P является функцией от $\Delta T_{\text{рп}}$, $\Delta T_{\text{ин}}$, $\Delta T_{\text{нп}}$.

На рис. 4 представлена схема процесса принятия управленческого решения [31].

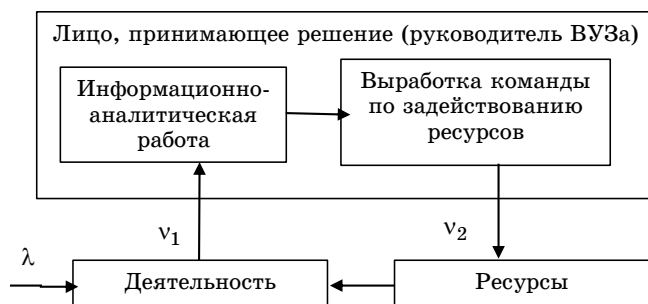


Рис. 4. Схема процесса принятия управленческого решения

Показатель λ характеризует поток угроз, возникающих в системе, и он обратно пропорционален времени проявления проблемы в системе управления $\lambda = 1 / \Delta T_{\text{нп}}$.

Деятельность ЛПР, а также мониторинг АСУП и выявление проблем в системе управления отражает показатель v_1 . Рассчитывается, как $v_1 = 1 / \Delta T_{\text{ин}}$ и обратно пропорционален времени идентификации угроз.

Показатель v_2 характеризует деятельность ЛПР и работу системы управления по нейтрализации выявленных угроз. Данный показатель обратно пропорционален времени, которое затрачивается на их нейтрализацию угроз и равен $v_2 = 1 / \Delta T_{\text{рп}}$.

Представим процесс принятия управленческого решения в виде графов состояний (рис. 5) [31].

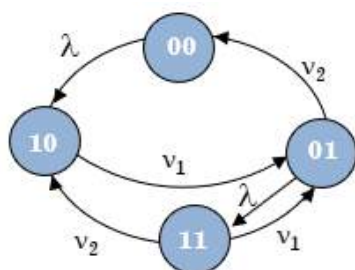


Рис. 5. Процесс принятия управленческих решений в виде графов состояний

Граф сформирован на основе следующих особенностей процесса формирования управленческого решения.

ЛПР может выполнять две функции — это идентификация проблемы и нейтрализация проблемы. Проявляются эти функции в деятельности человека в четырех различных сочетаниях представим их в виде следующих состояний:

A_{00} — угрозы отсутствуют;

A_{10} — ЛПР идентифицирует, но не нейтрализует угрозы;

A_{01} — ЛПР не идентифицирует, но нейтрализует угрозы;

A_{11} — ЛПР идентифицирует и нейтрализует угрозы.

Из приведенных выше состояний системы мы получаем следующие вероятности P_{00} , P_{10} , P_{01} , P_{11} [33].

Данный процесс перехода из состояния в вероятность необходим для дальнейшего описания процесса принятия управленческих решений ЛПР по управлению производством.

Для определения вероятностей нахождения процесса формирования управленческого решения, в состояниях A_{00} , A_{10} , A_{01} , A_{11} , используем систему дифференциальных уравнений Колмогорова, общий вид уравнения представлен следующей формулой:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji} P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \quad (1)$$

Для нашего случая система дифференциальных уравнений (1) примет вид (2).

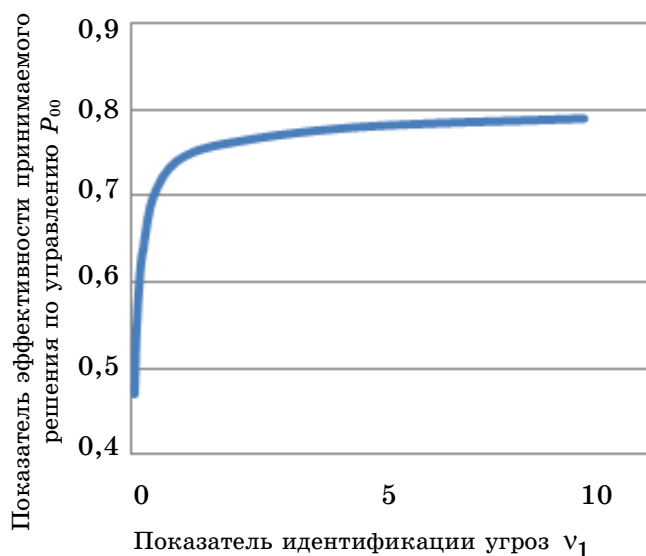
$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{00}(t) &= -P_{00}(t) \lambda + P_{01}(t) v_2, \\ \frac{d}{dt} P_{01}(t) &= -P_{01}(t) (\lambda + v_2) + P_{11}(t) v_1 + P_{10}(t) v_1, \\ \frac{d}{dt} P_{10}(t) &= -P_{10}(t) \lambda - P_{10}(t) v_1 + P_{11}(t) v_2, \\ \frac{d}{dt} P_{11}(t) &= -P_{11}(t) \lambda - P_{11}(t) (v_1 + v_2). \end{aligned} \quad (2)$$

Вероятность нахождения системы управления в состоянии A_{00} можно выразить уравнением, которое получается при переводе дифференциальных уравнений Колмогорова к алгебраическому виду путем приравнявая левых частей к нулю и задания суммы состояний системы, равной единице.

$$P_{00} = \frac{v_1 v_2}{\lambda (\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2}. \quad (3)$$

Дальнейшее принятие решения по управлению технологическими процессами и производством в целом будет осуществляться на основе P_{00} или, по-другому, на основании показателя эффективности принятия решения (3).

Рассмотрим пример расчета показателя эффективности принятия решения P_{00} при постоянных значениях λ , v_2 и изменяющемся значении v_1 (рис. 6).



λ	v_1	v_2	P_{00}
0,05	0,08	0,195	0,469924841
0,05	0,1	0,195	0,507172584
0,05	0,12	0,195	0,535649776
0,05	0,14	0,195	0,558229951
0,05	0,16	0,195	0,576651536
0,05	0,18	0,195	0,592025537
0,05	0,2	0,195	0,605094462
0,05	0,22	0,195	0,616373379
0,05	0,24	0,195	0,626231024
0,05	0,26	0,195	0,634938601
0,05	0,28	0,195	0,642700295
0,05	0,3	0,195	0,649673003
0,05	0,5	0,195	0,694213731
0,05	1	0,195	0,737093602
0,05	2	0,195	0,763751527
0,05	5	0,195	0,782245904
0,05	10	0,195	0,788932866

Рис. 6. Зависимость показателя эффективности принятия решения от показателя идентификации угроз

Пусть $\lambda=0,05$, т. е. угрозы возникают в системе управления с определённым постоянством (через каждые 20 единиц времени, например 20 сут. или 20 мин.). Показатель v_2 , характеризующий нейтрализацию угроз, равен 0,195. Показатель v_1 , отражающий идентификацию угроз, изменяется. Анализируя зависимость показателя эффективности принятия решения P_{00} от показателя v_1 , можно выявить следующую закономерность: при отсутствии ресурсов, задействованных для идентификации угроз, показатель эффективности принимаемого решения будет низким (можно пропустить кибератаку, так как руководителю не хватает времени на её идентификацию); при применении же имеющихся ресурсов (используя современное ПО, которое может противостоять *web*-угрозам, или привлекая грамотных специалистов, способных определить возникающий срыв), показатель эффективности управленческого решения будет высоким. В рассмотренном примере он равен 0,79.

Раннее реагирование на возникающие угрозы в системе управления технологическими процессами и производствами зависит от многих факторов, основными из них являются: своевременное обновление технических комплексов и ПО; также подготовка и переподготовка кадрового состава производства [30].

Вывод

Развитие информационно-телекоммуникационных технологий приводит к росту количества информационных угроз, которые способны парализовать работу производства и нанести вред технологическим процессам.

В связи с этим появилась потребность предоставить принимающим решение сотрудникам инструмент — модель для принятия решения по противодействию возникающим угрозам.

Для формирования модели управленческого решения была проведена декомпозиция, абстрагирование и агрегирование понятия «управленческое решение». После представления управленческого решения в виде состояний системы, была получена математическая модель для принятия решения по противодействию киберугрозам. Эта модель позволяет задать требуемый показатель эффективности принимаемого управленческого решения и получить данные, необходимые для гарантированного достижения цели деятельности.

Применение математической модели для принятия решений по противодействию киберугрозам позволит:

- комплексно подходить к задействованию всех ресурсов предприятия,
- выявлять необходимость в своевременном мониторинге АСУП,
- проводить кадровую работу, направленную на переподготовку персонала,
- своевременно обновлять аппаратно-программный комплекс с тем, чтобы он был способен отражать возникающие в системе управления угрозы [1].

Литература

1. Burlov V. G., Grachev M. I. Model of Management Decision Making in Enterprises Implementing Information and Measurement Technologies // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09.10.2020. – Vladivostok, 2020.

2. Анохин П. К. Системные механизмы высшей нервной деятельности: Избр. тр. — М.: Наука, 1979. — 454 с.
3. Анохин П. К. Идеи и факты в разработке теории функциональных систем // Психологический журнал. 1984. Т. 5. С. 107—118.
4. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 1981. — 488 с.
5. Моисеев Н. Н. Численные методы теории оптимального управления. — М.: Наука, 1968. — 163 с.
6. Моисеев Н. Н., Кононенко А. Ф. Методы оптимизации. Гл. 2, 3. Нелинейное программирование. Динамическое программирование. — М.: Наука, 1972. — 156 с.
7. Моисеев Н. Н., Александров В. В., Тарко А. М. Человек и биосфера: Опыт систем, анализа и эксперименты с моделями. — М.: Наука, 1985. — 271 с.
8. Робсон М., Уллах Ф. Р. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов / Пер. с англ. Под ред. Н. Д. Эриашвили — М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. — 224 с.
9. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / Пер. с англ. — СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. — 332 с.
10. Качалов В. А. Системы менеджмента качества. ISO 9001:2008 в комментариях и задачах: монография, в 2 т. — Москва: ИздАТ, 2011. — 22с.
11. Качалов В. А. Что же должно содержаться в процедурах системы менеджмента качества // Методы менеджмента качества. 2011. № 5. С. 26—30.
12. Корольков В. Ф., Брагин В. В. Процессы управления организацией. — Ярославль: изд-во Яртелекома, 2001. — 420 с.
13. Садовничий В. А., Акаев А. А., Кортаев А. В., Малков С. Ю. Моделирование и прогнозирование мировой динамики. — М.: Институт социально-политических исследований РАН, 2012. — 356 с.
14. Гуц А. К., Коробицын В. В., Лаптев А. А. и др. Математические модели социальных систем. — Омск: Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, 2000. — 256 с.
15. Лаптев А. А. Математическое моделирование социальных процессов // Математические структуры и моделирование. 1999. № 3. С. 109—124.
16. Колмогоров А. Н. Теория вероятностей и математическая статистика / Отв. ред. Ю. В. Прохоров; АН СССР. Отд-ние математики. — М.: Наука, 1986. — 534 с.
17. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учебник для студентов высших учебных заведений. Изд. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Логос, 2008.
18. Колесников А. В., Малинецкий Г. Г., Сиренко С. Н. Цифровая реальность: Выбор будущего // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. 2021. № 1(4). С. 6—30.
19. Орлов А. И. Нечисловая статистика. — М.: МЗ-Пресс, 2004. — 513 с.
20. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 320 с.
21. Форрестер Д. В. Мировая динамика / Пер. с англ. А. Н. Ворощука, С. А. Пегова / под ред. Д. М. Гвишиани, Н. Н. Моисеева: с предисл. Д. М. Гвишиани и послесл. Н. Н. Моисеева. — М.: Наука, 1978. — 167 с.
22. Гуд Г. Х., Макол Р. Э. Системотехника: Введение в проектирование больших систем / Пер. с англ. К. Н. Трофимова [и др.] / под ред. Г. Н. Поварова. — М.: Сов. радио, 1962. — 383 с.
23. Резников Б. А. Системный анализ и методы системотехники. Часть 1: Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. — М.: МО СССР, 1990. — 522 с.
24. Калинин В. Н., Резников Б. А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). — Л.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1978. — 417с.
25. Ростовцев Ю. Г. Задачи знакового моделирования. Ч. 1. Методологические аспекты знакового моделирования. — СПб.: ВИКА им. А. Ф. Можайского, 1996.
26. Андерсен Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / Пер. с англ. С. В. Ариничева. — 2-е изд. — М.: Стандарты и качество, 2004. — 271 с. — (Практический менеджмент). — ISBN 5949380231.
27. Деминг Э. У. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами. — М.: «Альпина Паблишер», 2014. — 416 с.
28. Ефимов В. В. Описание и улучшение бизнес-процессов: учебное пособие. — Ульяновск: УлГТУ, 2005 — 84 с.
29. Репин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов, 4-е изд. — М.: Стандарты и качество, 2006. — 404 с.
30. Бурлов В. Г., Грачев М. И., Примакин А. И. О необходимости подготовки и переподготовки квалифицированных кадров в сфере безопасности информационных технологий // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017): Материалы конференции, Санкт-Петербург, 01–03 ноября 2017 года. — СПб: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2017. С. 470—472.
31. Бурлов В. Г., Грачев М. И. Аналитическо-динамическая модель управленческого решения в социально-экономических системах на примере руководителя учебного заведения высшего образования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 10. С. 27—34.
32. Интерактивная карта киберугроз. [Электронный ресурс]. URL: <https://cybermap.kaspersky.com/ru> (дата обращения 25.10.2022)
33. Бурлов В. Г., Грачев М. И. Модель управления транспортными системами, учитывающая возможности инноваций // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2017. № 4(42). С. 34—38.

MATHEMATICAL MODEL FOR DECISION-MAKING ON COUNTERING CYBER THREATS IN PRODUCTION

M. I. Grachev

Saint Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia; Saint Petersburg, Russia

V. G. Burlov

Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet; Saint Petersburg, Russia

A mathematical model is proposed that allows the decision maker to respond to cyber threats to which the automated production control system is exposed and to use available resources in a timely manner to achieve the goal of the activity. For modeling, methods of decomposition, abstraction and aggregation were used. The managerial decision is considered as a process at the methodological, methodical and technological level. Kolmogorov's differential equations were used to construct the probability function of finding the control system in the required state.

Keywords: mathematical model, synthesis, management solution, cyber threats, Kolmogorov differential equations, process and production management.

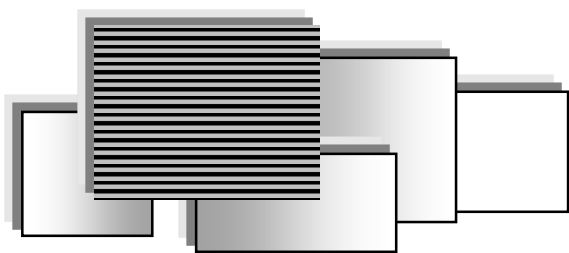
Грачев Михаил Иванович, старший инженер информационного центра.

E-mail: mig2500@mail.ru

Бурлов Вячеслав Георгиевич, профессор, профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности.

E-mail: burlovvg@mail.ru

Статья поступила в редакцию 03 ноября 2022 г.



СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ. ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

УДК 654.1

DOI: 10.52190/2073-2597_2022_4_28

EDN: GANROM

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР АБОНЕНТСКОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В. М. Соболев

АО «Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт
автоматической аппаратуры им. академика В. С. Семенихина», Москва, Россия

Рассмотрено информационное обеспечение многоканального абонентского контроллера коммуникационного комплекса автоматизированной системы документального обмена. Показано, что для децентрализации обслуживания и распределения потоковой текстовой нагрузки используется программно-управляемый контроллер, который обеспечивает одновременное выполнение ряда прикладных задач наряду с физическим и логическим сопряжением по стандартизованному стыку с внешним устройством (удаленным терминалом, принтером, автоматизированным рабочим местом и т. п.). Приведена обобщенная функциональная структура и программная реализация задач канала для распознавания и синтаксического контроля формального языка оператора специализированной абонентской службы автоматизированной системы документального обмена. В нотации расширенных сетей Петри представлены функциональные модели контроллера, лексического анализатора и страничного вывода текста сообщения. Констатируется методология организации последовательно-параллельного выполнения программных процессов.

Ключевые слова: контроллер, абонентский канал, телекоммуникационный комплекс, структуризация программ, система обмена данными, распознающий автомат, документальный обмен, параллельные процессы, сети Петри.

В современных условиях системы управления являются одними из важнейших факторов, определяющих уровень эффективности и качество функционирования абонентской сети. Для разработки таких систем особое значение имеет внедрение новых информационных технологий на основе унифицированных методов формализации и переход от интуитивных понятий к однозначным модельным абстракциям [1, 2]. Реализация программных средств ряда специализированных телекоммуникационных комплексов (ТКК) с использованием многоканальных контроллеров (МКК) характеризуется высокой степенью параллелизма вычислений, присущей этому классу систем обработки информации. Алгоритмическая сложность задач управления множеством абонентов сети по своей естественной природе изначально порождена множе-

ственностью одновременных ситуаций, событий и процессов, находящихся на разной стадии обслуживания заявок и формализованных сообщений от значительного числа асинхронно-взаимодействующих пользователей сети.

В частности, распределенная по различным каналам доставка информации предполагает независимое выполнение передачи и приема данных с любого пункта управления, одновременную рассылку многоадресных команд различным абонентам, автоматизацию выдачи и регистрации результатов доведения сообщений, асинхронное обслуживание старт—стопного ввода—вывода программными драйверами внешних устройств и т. п.

Каждый ТКК представляет собой многопроцессорный резервируемый комплекс, в котором предусматривается установка электронных мо-

дулей МКК двух типов — абонентского и сетевого, монтируемых в изделия в требуемой комплектации.

Многоканальный контроллер абонентского канала (далее контроллер) на базе терминального электронного модуля (ТЭМ) содержит два микропроцессора (МП), каждый из которых обслуживает группу асинхронных старт—стопных адаптеров (рис. 1), реализующих стандартные стыки при подключении абонентов непосредственной привязки, образующих абонентскую сеть [3—5]. Понятно, наличие МП принципиально расширяет "интеллектуальные" возможности МКК. Программно-управляемый адаптер позволяет настраиваться на требуемый стык, устанавливать скорость канала в дискретном диапазоне, задавать режимы обмена и прерывания и т.п. В частности, ввод и вывод каждого знака терминальной установки сопровождается соответствующим прерыванием.

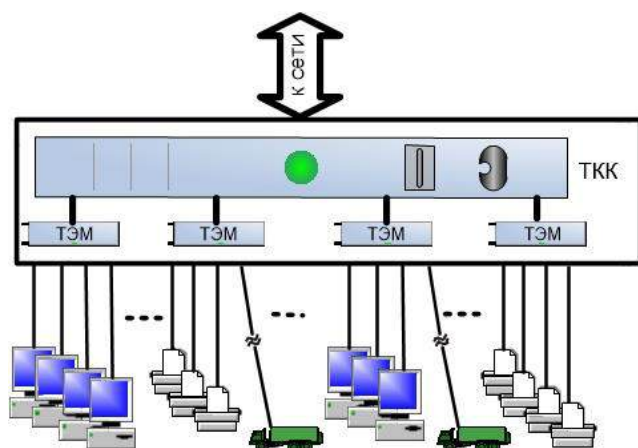


Рис. 1. Схема телекоммуникационного комплекса с объектами управления

Сетевой электронный модуль (СЭМ) выполнен как двухпроцессорный программно-управляемый контроллер для сопряжения с синхронными каналами связи.

В многопроцессорном ТКК одновременно функционирует 21 процессор [6]. Информационная связь между центральным процессором (ЦП) и любым сателлитом обеспечивается непосредственным доступом ЦП к ограниченному фрагменту оперативной памяти каждого МП через передатчики и приемники программно-управляемых окон $W^{i,j} : W_{\text{прд}}^i \rightarrow W_{\text{прм}}^j, (i, j) \in \{(ЦП, МП), (МП, ЦП)\}$ [7]. В свою очередь, на базе каждого окна программно организована пара однонаправленных "почтовых ящиков" (ПЯ) — один для передачи данных от ЦП к МП, другой — в обратном направлении. Каждому окну W , являющемуся общим ресурсом ЦП и МП, однозначно сопоставлен свой аппаратный порт. Меняя значение порта, ЦП программно может назначить в качестве окна W любую область оперативной памяти МП.

Оперативная связь по управлению между ЦП и МП осуществляется системой двухсторонних прерываний, сигнализирующих о наличии данных в ПЯ. Для корректного обмена информацией между параллельными процессами ЦП и МП программно реализован соответствующий протокол, обеспечивающий взаимное исключение на критических участках окна [8].

Синхронные магистральные каналы позволяют объединять ТКК с аналогичными изделиями в сети обмена данными (СОД). Отдельные группы ТКК могут образовывать также региональные сети (РС), контролируемые своим пунктом управления. РС связываются между собой через глобальную СОД, обеспечивая доступ к абонентам автоматизированной системы документального обмена (АСДО) на всем информационном пространстве как в режиме передачи сообщений, так и в режиме прямых переговоров. Средства динамической маршрутизации ТКК автоматически доставляют сообщения удаленным абонентам при любых оперативных изменениях топологии СОД.

Структурная организация программ контроллера

В качестве доминантных функциональных компонент контроллера выделены основные информационные модули, которые взаимодействуют между собой и с модулями ЦП в ходе технологического процесса обслуживания абонентских, сетевых и системных вызовов (рис. 2):

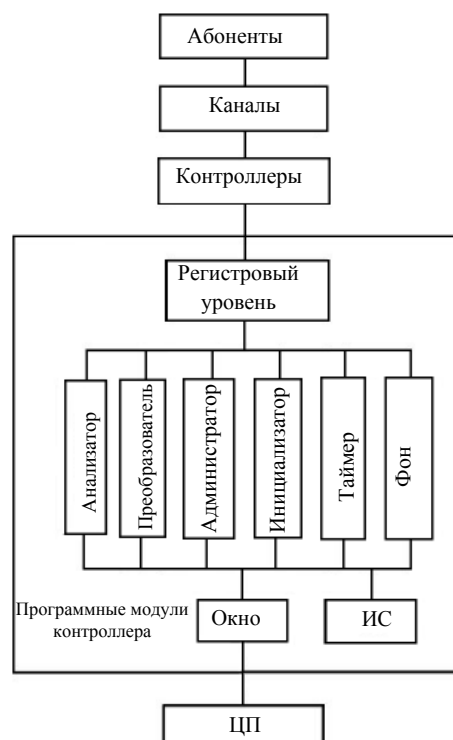


Рис. 2. Информационные модули и схема связей контроллера

Информационные модели:

- регистровый уровень управления физическим вводом-выводом абонентского канала;
- лексический анализатор (ЛА) формально-го языка оператора, регламентированный протоколом документального обмена (ПДО); ЛА предназначен для распознавания посредством детерминированного программного автомата (РПА) во входном последовательном потоке символов МТК-2 командных лексем $L_{\text{ПДО}}^{\text{ВВ}}$ и содержательного текста сообщения (переговоров), поступающих из абонентского канала;
- окончательный преобразователь императив ЦП в релевантную форму представления выходных лексем $L_{\text{ПДО}}^{\text{ВЫВ}}$ служебных посылок и содержательных данных (писем и текста переговоров) в выходную последовательность в коде МТК-2 для передачи в абонентский канал на терминал оператора;
- администратор управления состоянием и алгоритмом обслуживания канала в режимах передачи сообщения, ведения переговоров, производства тестирования тракта, временного контроля, фоновых проверок и т.п.;
- служба времени для организации программных таймеров;
- фоновый контроль;
- инициализатор запуска программных процессов контроллера;
- окна приема и передачи межпроцессорного обмена данными между центральным процессором и контроллером канала.

Все программные процессы контроллера поддерживаются внутренней исполнительной системой, обеспечивающей их квазипараллельную реализацию, диспетчирование задач, выполне-

ние примитивов синхронизации и разделения ресурсов динамически распределяемой оперативной памяти МКК. За счет реентерабельности процедур модулей контроллера, предусматривается однократное размещение в памяти микропроцессора всех программных кодов с использованием только соответствующих индивидуальных локальных (стековых) переменных для каждого однотипного процесса.

На рис. 3 представлена схема потоковой организации обслуживания данных. Особенностью обработки входной информации является буферизация каждого поступающего знака в виде пары <знак, канал>, что позволяет в соответствии с ПДО использовать общий для всех абонентских каналов обрабатывающий процесс анализатора. В программных дескрипторах под управлением администратора сохраняется вся служебная информация, характеризующая текущее уникальное состояние каждого канала.

В отличие от процесса ввода, при организации вывода на терминал оператора результирующей информации предусматривается для каждого абонентского канала использование индивидуального выходного процесса-преобразователя (на базе общей процедуры).

Следует заметить, что для обеспечения корректного обслуживания разно-приоритетных сообщений путем временного прерывания принятых сообщений с низким приоритетом, вывод текста фрагментируется в виде пакетов и выдается в пуш-пульном режиме, при котором очередной пакет выводится только после получения ответа от контроллера о завершении выдачи предыдущего. Таким образом, потенциальное прерывание принятого сообщения может происходить только в текущей паузе между выдачей пакетов.

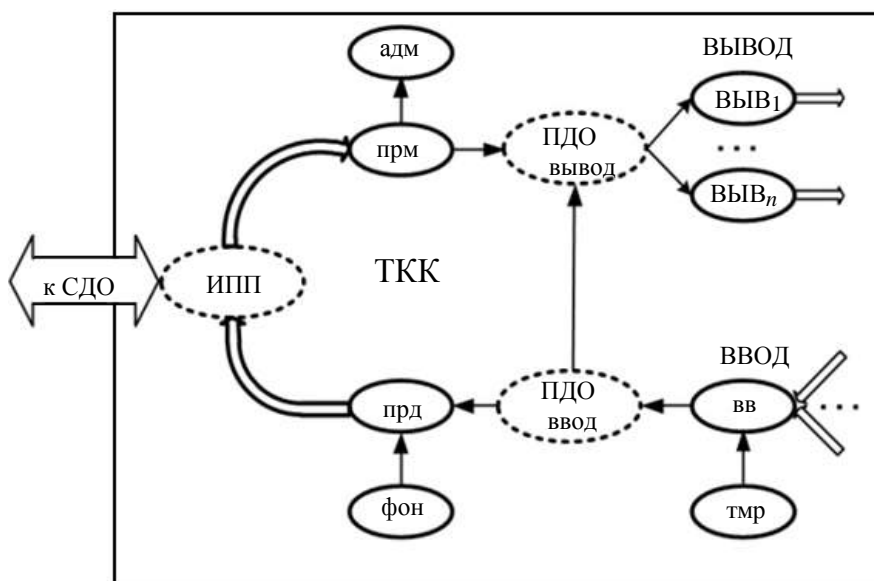


Рис. 3. Схема потоковой обработки данных

Взаимодействие между МКК и ЦП осуществляется через окно W посредством динамически создаваемых служебных посылок (СП) на базе интерфейсных команд (ИК). В общем виде формат СП представлен кортежем $\langle k_{\text{ИК}}, p_{\text{ИК}} \rangle$, где $k_{\text{ИК}} \in \{k_1, \dots, k_n\}$ — код ИК, $p_{\text{ИК}}$ — параметры ИК. Конкретный выбор типа $t_i = f(k_i)$ параметров p_i из конечного множества $\{t_g, \dots, t_q\}$ зависит от значения k_i кода ИК.

Формат ряда СП взаимодействия МКК и ЦП приведен в табл. 1, при этом

$$\text{СП}_{\text{МКК}} = \varphi(L_{\text{пдо}}^{\text{вв}}), L_{\text{пдо}}^{\text{выб}} = \Psi(\text{СП}_{\text{цп}}).$$

В таблице использованы следующие обозначения кода $k_{\text{ИК}}$ и параметров $p_{\text{ИК}}$:

K_i — кодовое значение i -интерфейсной команды;

V_i — объем даталогической структуры ИК;

N_k — логический номер ТЛГ-канала;

ПАРОЛЬ — пароль ТЛГ;

РНС — регистрационный номер сообщения;

АО, АП, АР — условные адреса абонента отправителя и получателя сообщения, абонента, разрывающего переговоры;

КС, ГС, ВП — категория срочности, гриф сообщения, вариант передачи сообщения;

ПН, ЧС, ПС — порядковый номер страницы, число страниц, число повторов страницы;

ЧА, НС — число адресов, номер списка сообщения;

ЧМС — часы, минуты, секунды.

Перманентный контроль за динамикой технологического обмена информации в контрол-

лере ведется внутренними процессами посредством программного таймирования событий и периодического включения фонового режима мониторинга и тестовой проверки. При выявлении отклонений от предусмотренных ПДО заданных штатных требований автоматически формируется соответствующая служебная посылка с указанием оператору о замеченном несоответствии.

Главным предназначением группового "интеллектуального" контроллера является его способность квазидновременного выполнения операций многоканального ввода—вывода по качественному обслуживанию множества заявок в условиях ограниченных ресурсов общего микропроцессора, продиктованных реальным спонтанным трафиком.

Структура и модель рассматриваемого контроллера предложена и программно реализована автором путем комплексного использования средств ассемблера и языка Модула 2.

Модель контроллера

Комплекс программных средств, обеспечивающий выполнение основных функциональных задач МКК, представляет собой достаточно сложный элемент крупномасштабной коммуникационной системы, предназначенной для одновременного обслуживания значительного числа абонентов. Поэтому, наряду с потребностью в точности описания для однозначного толкования правил поведения МКК, важным аспектом является возможность иерархически отобразить в виде абстрактной модели наиболее существенные факторы и обеспечить наглядное представление его функционирования [9].

Форматы и причинно-следственная связь СП_{МКК} и СП_{ЦП}

№	Входная команда с терминала	СП _{МКК}	СП _{ЦП}	Комментарии/ Вывод на терминал
1			$K_j V_j N_k$ ЧМС	ПОДТВЕРДИ ГТВ
2	Ввод подтверждения готовности	$K_j V_j N_k$	$K_j V_j N_k$ ЧМС	ОТКРОЙ СВЯЗЬ
3	Ввод пароля	$K_j V_j N_k$ ПАРОЛЬ	$K_j V_j N_k$ ЧМС	РАБОТА
4	Ввод заголовка одноадресного сообщения	$K_j V_j N_k$ КС ГС ВП АП	$K_j V_j N_k$ РНС КС ГС ВП АП ЧМС	Вывод квитанции за заголовок
5	Ввод заголовка многоадресного сообщения	$K_i V_i N_k$ КС ГС ВП ЧА АП ₁ ...АП _{ча}	$K_j V_j N_k$ РНС КС ГС ВП ЧА АП ₁ ...АП _{ча}	Вывод квитанции за заголовок
6	Заголовок сообщения по списку	$K_i V_i N_k$ КС ГС ВП НС	$K_j V_j N_k$ РНС КС ГС ВП НС	Ввод заголовка по списку
7	Неправильный набор заголовка сообщения <ошибка>_	$K_i V_i N_k$	29 0 0 К	ОШИБКА СТР
8	Неправильное число адресов сообщения <ошибка>	$K_i V_i N_k$	$K_j V_j N_k$	ОШИБКА ЧА
9	Неправильный номер списка сообщения		$K_j V_j N_k$ НС ЧМС	ОШИБКА В НОМЕРЕ СПИСКА
10	Ввод текста сообщения. XXX...XXX [<знак>] ¹⁻¹²⁸	$K_j V_j N_k$ XXX...XXX (X — МТК-2)		От МКК текст передается фрагментами
11	Ввод команды завершения ввода сообщения	$K_j V_j N_k$	$K_j V_j N_k$ РНС ЧМС	Вывод квитанции за переданное сообщение
12			$K_j V_j N_k$ КС ГС АО РНС ЧМС ВП АП ПН ЧС	Вывод заголовка принятого сообщения

Модель рассматриваемого "интеллектуального" контроллера в виде макропозиции терминального электронного модуля $ТЭМ_i \in D$ в нотациях E -сети, $E = (P, T, I, O)$, представлена на рис. 4.

Множество позиций P рассматриваемой E -сети состоит из следующих элементов:

p_1, \dots, p_n — семафорные позиции, управляющие занятостью выводом знаков в абонентские каналы связи по n направлениям;

$выв_1, \dots, выв_n$ — позиции, интерпретирующие наличие информации на вывод по каналам, управляемых ТЭМ;

$жп_1, \dots, жп_n$ — позиции ожидания прерывания после выдачи знака в канал;

$вз_1, \dots, вз_n$ — периферийные позиции, разрешающие вывод знака;

$сп_1, \dots, сп_n, сп_y, сп_a, сп_t$ — позиции, интерпретирующие наличие служебной посылки от процессов вывода, администратора, анализатора и таймера;

r_1 — решающая позиция приема данных, поступающих в ТЭМ из ЦП через драйвер окна;

r_{21}, \dots, r_{2n} — решающие позиции вывода;

r_3 — решающая позиция ввода;

r_4 — решающая позиция передачи данных в ЦП через драйвер окна;

прм, прд — позиции приемника и передатчика драйвера окна, обслуживающие $ТЭМ_i \in D$;

адм — позиция, интерпретирующая локальный администратор в ТЭМ;

анл — макропозиция, интерпретирующая распознающий автомат анализатора;

тмр — макропозиция, интерпретирующая таймеры;

ввод₁, ..., ввод_n — периферийные позиции ввода знаков из абонентских каналов;

вывод₁, ..., вывод_n — выходные периферийные позиции вывода знаков в абонентские каналы;

окно_{прд}, окно_{прм} — периферийные позиции вывода информации через драйвер окна;

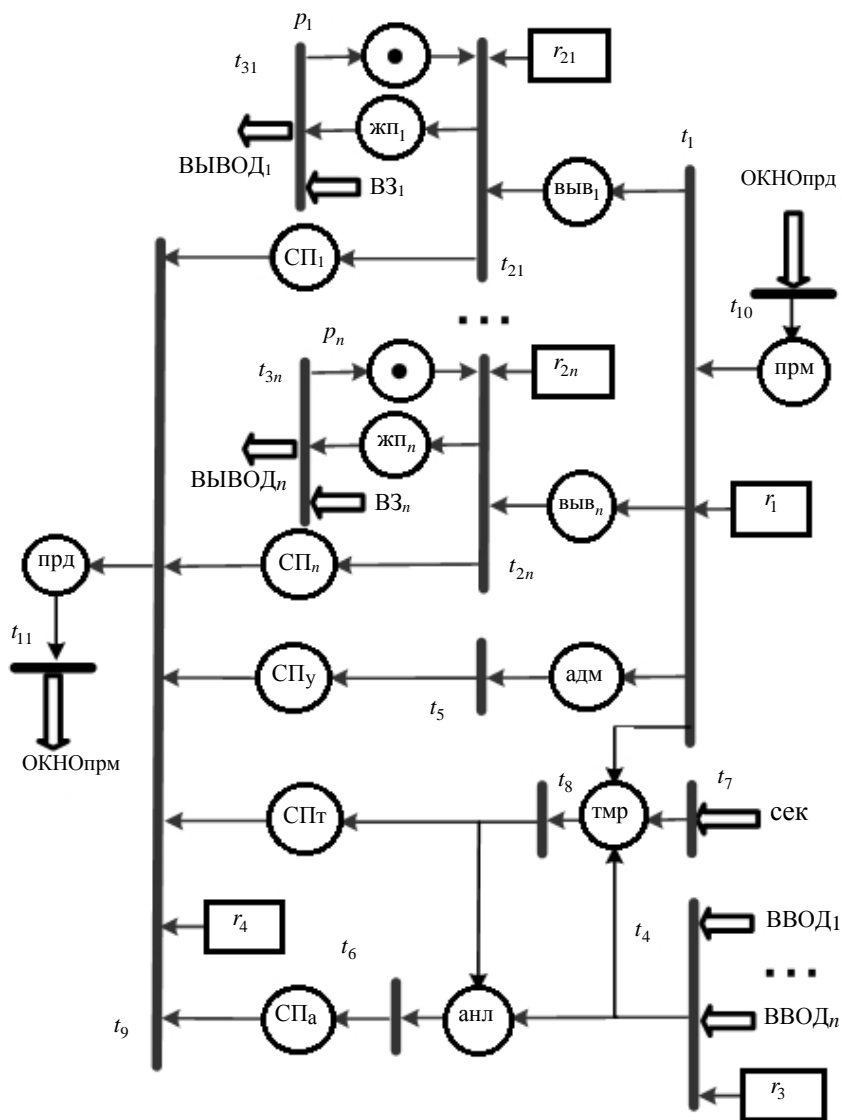


Рис. 4. Макропозиция ТЭМ

сек — входная периферийная позиция сигнала секундной метки;

$T = \{t_1, \dots, t_{11}\}$ — множество переходов;

t_1 — переход управляющего типа, интерпретирующий распределение принимаемого из окна потока информации;

t_{21}, \dots, t_{2n} — переходы управляющего типа, интерпретирующие распределение информации на вывод в каналы или в передатчик драйвера окна;

t_{31}, \dots, t_{3n} — переходы, интерпретирующие вывод информации в каналы;

t_4 — переход приоритетного типа, интерпретирующий выбор входного телеграфного канала для приема из него знака;

t_5 — переход, интерпретирующий ответ администратора;

t_6 — переход, интерпретирующий выделение анализатором из входного потока данных лексем языка оператора;

t_7 — переход, пропускающий секундную метку;

t_8 — переход, интерпретирующий срабатывание таймеров;

t_9 — переход приоритетного типа, интерпретирующий формирование заявки на обмен данными к передатчику драйвера окна;

t_{10}, t_{11} — переходы, интерпретирующие ввод и вывод информации, обмениваемой через драйвер окна с центральным процессором.

В макропозиции $TЭМ_i \in D$ процедуры смены разметок при срабатывании переходов $t_1, t_{2i}, t_4, t_9 \in T$ управляются решающими позициями $r_1, \dots, r_4 \in R$.

Модель макропозиции $TЭМ_i \in D$ интерпретирует обслуживание периферийных входных $\mu(\text{ввод}_i) = 1$ и выходных $\mu(\text{вывод}_i) = 1, i = \overline{1, n}$ потоков информации, циркулирующих по абонентским каналам, подключенным к терминалам операторов, а также данных, обмениваемых спутниками с ЦП через приемник $\mu(\text{окно}_{\text{прм}}) = 1$ и передатчик $\mu(\text{окно}_{\text{прд}}) = 1$ драйвера окна.

Входные потоки контролируются РПА анализатора, который селектирует вводимый поток на команды оператора и тексты сообщений, подлежащие передаче абоненту (абонентам). Формируемые при этом служебные послышки $\mu(\text{сп}_a) = 1$ интерпретируют запросы на обслуживание или фрагменты текстов сообщений и переговоров, отсылаемых в ЦП.

В общем случае последовательность срабатываний переходов при обработке входного потока (от i -го канала) имеет вид $\dots \{t_4\}^k, t_6, t_9, t_{11} \dots$, причем на стадии накопления знаков анализатором синтаксически контролируются и выделяются лексемы формального языка оператора $L_{\text{пдо}}^{\text{вв}}$.

Параллельно с канальным вводом производится обработка информации, поступающей в спутник из ЦП через приемник окна $\mu(\text{прм}) = 1$

в виде указаний администратору $\mu(\text{адм}) := 1$ или массива данных, подлежащего выводу на терминал $\mu(\text{выв}_i) := 1$. Для организации позначного вывода в канал используется семафор p_i , который разрешает прохождение перехода t_{2i} , интерпретирующего выборку очередного знака, только после завершения вывода предыдущего. Разметка семафора $\mu(p_i) := 1$ восстанавливается после срабатывания перехода t_{3i} , для преодоления которого требуется выполнение условия ожидания прерывания $\mu(\text{жп}_i) = 1$ и наличие внешнего периферийного сигнала о завершении вывода $\mu(\text{вз}_i) = 1$, интерпретирующего прерывание при окончании операции вывода.

В общем случае, последовательность срабатываний переходов при выводе информации в абонентский канал имеет вид $\dots t_1, \{t_{2i}, t_{3i}\}^v, t_{2i}, t_9, t_{11} \dots$.

Программные таймеры (таймерная служба) в макропозиции $TЭМ_i \in D$ интерпретируются макропозицией $\text{tmr} \in P$, управляемой внешним генератором секундных меток, имитируемых периферийной позицией $\mu(\text{сек}) = 1$. При истечении контрольных сроков формируется служебная посылка $\mu(\text{сп}_r) = 1$ для отправки в ЦП. Реализация прохождения переходов таймерной службы задана итерационной последовательностью $\dots \{t_7\}^w, t_8, t_9, t_{11} \dots$.

Модель анализатора входного потока

Модель анализатора описывает функционирование автомата, распознающего лексемы формального языка оператора $L_{\text{пдо}}^{\text{вв}}$ и потоки содержательных данных (текст). На общий вход РПА из каждого асинхронного абонентского канала $k \in K, K = \{k_1, \dots, k_q\}$ последовательно поступает поток вводимых оператором знаков $x = \text{ввод}(b_r)$ из терминального алфавита X в пятиэлементном коде МТК-2.

Модель макропозиции анализатора входного потока в нотациях E -сети, $E = (P, T, I, O)$, представлена на рис. 5. где:

$P \supset Vx \cup S \cup D \cup \text{СП} \cup \Phi$ — множество позиций;

$Vx = \{\text{ввод}, \text{tmvв}, \text{уст}, \text{сек}\}$ — подмножество входных периферийных позиций;

ввод — входная периферийная позиция, интерпретирующая ввод знака из абонентского канала;

tmvв — входная периферийная позиция, свидетельствующая о поступлении сигнала от таймера, контролирующего максимально допустимую паузу между вводимыми МТК-2 знаками;

уст — входная периферийная позиция, отображающая установление виртуального соединения для прямых переговоров;

В результате последовательности срабатываний $\dots t_1, t_1, t_1, \dots$ автомат по мере поступления каждого входного знака x_h переходит в новое состояние $s_j = \varphi(s_i, x_h); i, j \in \{0, \dots, n\}; h = \overline{1, 32}$.

В общем случае, при распознавании анализатором команды (лексемы) формального языка $lex \in L_{\text{пдо}}^{\text{вв}}$ разметка устанавливается в соответствующей периферийной позиции $\mu(\text{сп}_{\text{lex}}) := 1$, $\text{сп}_{\text{lex}} \in \text{СП}$ для формирования служебной посылки в ЦП и при необходимости производится смена режима функционирования $v = \psi(\text{исх}), \psi: V \rightarrow V$. Так, при распознавании заголовка сообщения $\text{згл}_c \in \text{БК}, \text{БК} \subset L_{\text{пдо}}^{\text{вв}}$ во входном потоке $D_k \subset D$ канала $k_i \in K$ автомат этого канала переходит из исходного состояния в состояние набора текста сообщения $\text{сбщ} = \psi(\text{исх}); \text{сбщ}, \text{исх} \in V$ после чего все поступающие из канала $k_i \in K$ знаки $x \in X$ временно накапливаются в буфере $\mu(\text{тхт}) += 1$. Учет кратности входной позиции буфера $g = \#(\text{тхт}, I(t_2)), g \gg 1$ позволяет моделировать регулярный перенос фиксированного объема фрагмента данных $\mu(\text{фс}) := 1$ в память ЦП по мере их заполнения буфера $\text{тхт} \in D$.

В режиме $\text{сбщ} = v(s_j), v(s_j) \in V$ анализатор постоянно сканирует во входном потоке D_k наличие разделителя конца передачи $\text{кп} \in \text{БК}$, появление которого приводит к установке разметки $\mu(\text{кп}) := 1$, смене режима $\text{исх}_k = \psi(\text{сбщ}_k)$ обслуживания канала $k \in K$ и возврату в исходное состояние $s_{0k} \in S_k$. Последующее срабатывание перехода t_3 интерпретирует выдачу в ЦП остатка текста сообщения из буфера тхт и служебной посылки о завершении ввода сообщения $\mu(\text{сп}_c) := 1$.

При распознавании заголовка переговоров $\text{згл}_n \in \text{БК}$ в канале инициатора $k_n \in K$ автомат переходит в состояние $\mu(s_{\text{уст}}) := 1$, характеризующий режим ожидания установления виртуального соединения с партнером $\text{жус} = \psi(\text{исх}), \text{жус} \in V$. При этом выходная функция РПА $\phi: S_k \times X_k \rightarrow \text{СП}_k$ генерирует разметку $\mu(\text{сп}_{\text{уст}}) := 1$, $\text{сп}_{\text{уст}} \in \text{СП}$ для формирования запроса на установление соединения. Поступление в вызываемый канал партнера $k_n \in K$ этого запроса производит анализ готовности партнера к переговорам в режиме $\text{гтв} = \psi(v); \text{жус}, v \in V$, и при положительном исходе формируется разметка периферийной позиции $\mu(\text{уст}) := 1$, направляемая инициатору.

Появление в инициаторе условий $\mu(\text{уст}) = 1$ и $\mu(s_{\text{уст}}) = 1$ сопровождается срабатыванием перехода t_7 , приводящего к смене состояний $\mu(\text{сп}_{\text{прг}}) := 1, \mu(s_{\text{уст}}) := 0$, установке режима веде-

ния переговоров $\text{впр} = \psi(\text{жус}), \text{впр} \in V$ и к разметке выходной периферийной позиции $\mu(\text{сп}_{\text{прг}}) := 1$, используемой ЦП для обоюдного оповещения партнеров об установлении режима переговоров.

Все поступающие по каналам инициатора и партнера $k_n, k_n \in K$ входные знаки $x \in X$ в режиме переговоров временно буферизируются в позиции $\mu(\text{прг}) += 1$. Периодическое воздействие секундной метки, интерпретируемой разметкой периферийной позиции $\mu(\text{сек}) = 1$, приводит к срабатыванию перехода t_5 и отсылки фрагмента текста переговоров $\mu(\text{фп}) := 1$ в ЦП для немедленной отправки их соответственно в канал $k_n, k_n \in K$.

Переговоры завершаются, когда анализатор инициатора или партнера обнаружит во входном потоке разделитель конца передачи $\text{кп} \in \text{БК}$, приводящий к установке разметки $\mu(\text{кп}) := 1$. Последующее срабатывание перехода t_4 интерпретирует выдачу в ЦП остатка текста переговоров и служебной посылки об окончании переговоров — разрыва виртуального соединения $\mu(\text{сп}_p) := 1$.

При состоянии РПА, отличном от $s_0 \in S$, любой ввод информации с терминала сопровождается контролем по времени, который интерпретируется разметкой периферийной позиции $\mu(\text{тмвв}) = 1$. Очередной ввод каждого знака $\mu(\text{ввод}) = 1$ приводит к перезапуску таймера, контролирующего паузу между вводимыми знаками. Приостановка ввода более чем на две минуты (за исключением режима ведения переговоров, при котором контролируется одновременное отсутствие ввода и вывода) приводит к срабатыванию перехода t_8 , к сбросу РПА в исходное состояние $s_0 \in S$ и формированию служебной посылки аварийного разрыва переговоров $\mu(\text{сп}_{\text{сбр}}) := 1$.

Обобщенная последовательность срабатываний при наборе заголовка в процессе реализации передачи сообщения имеет вид $\{t_1\}^q$. В результате ввода и распознавания правильной цепочки языка $L_{\text{пдо}}^{\text{вв}}$ в последовательности входных символов заголовка изменяется состояние РПА $(\text{исх}, 0), (\text{исх}, i), \dots, (\text{исх}, i + q)$. Набор заголовка заканчивается формированием запроса выдачи квитанции за заголовок сообщения $\text{сп}_{\text{згл}} \in \text{З}$ и переходом РПА в режим ввода сообщения $\text{сбщ} \in V$.

Последующий ввод текста сообщения характеризуется обобщенной последовательностью срабатываний переходов $\{\{t_1\}^g, t_2\}^v, \{t_1\}^w, t_3\}$.

В результате выполнения итерации $\{t_1\}^g$ происходит изменение состояния РПА $(\text{сбщ}, 0), (\text{сбщ}, j), \dots, (\text{сбщ}, j + g)$ с подсчетом введенных знаков $\mu(\text{тхт}) = \overline{1, g}$. Последующее срабатывание перехода t_2 влечет за собой выдачу в ЦП

фрагмента вводимого сообщения $фс \in \Phi$ и возврат в начальное состояние ввода (сбщ, 0). На завершающей стадии вводится последний (частично заполненный символами в количестве w) фрагмент текста, приводящий к срабатыванию последовательности $\{t_1\}^w, t_3$, при этом общий объем введенного текста составляет $g \times v + w$.

Описанная процедура ввода и отсылки фрагментов текста циклически продолжается вплоть до поступления и распознавания во входной последовательности команды $кп \in БК$, вызывающей срабатывание перехода t_3 с выдачей в ЦП служебной посылки $сп_c \in \Phi$ и возврат РПА в исходное состояние $s_0 = (\text{исх}, 0)$. С этой фазы обслуживания ЦП начинает рассылку введенного сообщения по соответствующим адресам получателей, указанным в заголовке сообщения.

Общая схема срабатываний при выполнении переговоров описывается последовательностью $\{t_1\}^q, t_7, \{t_1\}^i, t_5\}^j, t_4$, а при подтверждении принятых сообщений также аналогична ранее описанным процессам $\{t_1\}^q, t_6$, и завершается выдачей в ЦП служебной посылки $сп_{прн} \in \Phi$.

Модель вывода страницы сообщения

Модель вывода страницы сообщения (а также текста переговоров) в нотациях E -сети представлена на рис. 6, где $P \supset Vx \cup \Phi \cup Vyx$ — множество позиций.

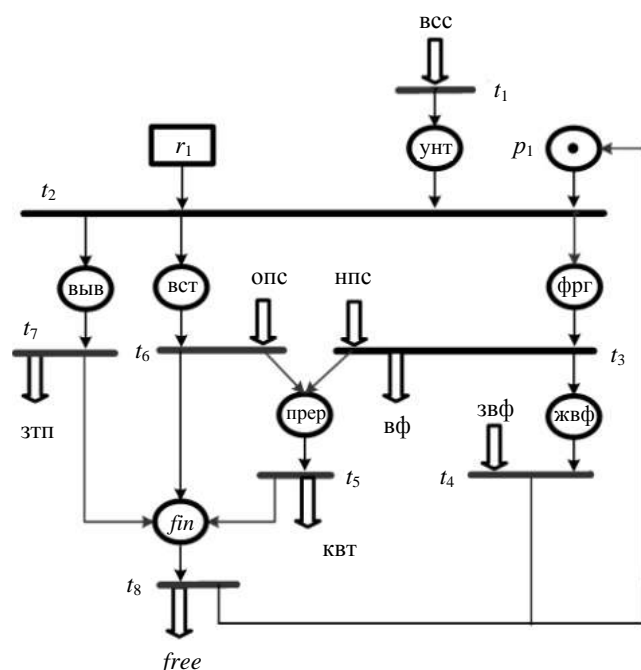


Рис. 6. Вывод страницы сообщения на терминал

$Vx = \{всс, опс, нпс, вфз\}$ — подмножество входных периферийных позиций, интерпретирующих:

всс — поступление запроса на вывод следующей страницы сообщения;

опс — отложенное прерывание сообщения;

нпс — немедленное прерывание сообщения;

звф — завершение вывода фрагмента.

$\Phi = \{\text{унт, выв, вст, фрг, прер, жвф, fin}\}$ — подмножество позиций, интерпретирующих:

унт — учет еще не выведенного текста страницы сообщения;

выв — завершение вывода сообщения;

вст — завершение вывода страницы;

фрг — фрагмент текста сообщения;

прер — формирование прерывания;

жвф — ожидание завершения вывода фрагмента сообщения;

fin — завершение вывода.

$Vyx = \{\text{зтп, вф, квт, free}\}$ — подмножество выходных периферийных позиций, интерпретирующих:

зтп — запрос таймера подтверждения принятого сообщения;

вф — вывод фрагмента текста сообщения;

квт — формирование квитанции о прерывании сообщения;

free — сигнал освобождения семафора для обслуживания следующей страницы сообщения.

$p_1 \in P$ — семафорная позиция, интерпретирующая занятость вывода терминала.

$r_1 \in P$ — решающая позиция.

$T = \{t_1, \dots, t_8\}$ — множество переходов.

$\{t_2, t_3, t_6\} \subset T$ — подмножество макропереходов управляющего типа, интерпретирующих:

t_2 — один из вариантов обслуживания — выборку фрагмента текста сообщения, завершение вывода страницы сообщения или полное завершение вывода текста сообщения;

t_3 — вывод фрагмента текста сообщения с учетом наличия сигнала немедленного прерывания;

t_6 — завершение вывода страницы сообщения.

$\{t_1, t_4, t_5, t_7, t_8\} \subset T$ — подмножество переходов, интерпретирующих:

t_1 — поступление на обслуживание очередной страницы сообщения;

t_4 — восстановление семафора после вывода каждого фрагмента текста;

t_5 — формирование служебной посылки о прерывании;

t_7 — формирование запроса таймеров на подтверждение принятого сообщения при завершении вывода сообщения;

t_8 — формирование запроса и разрешения на вывод следующей страницы сообщения.

При поступлении запроса на вывод страницы сообщения $\mu(\text{всс}) = 1$ срабатывает переход t_1 , фиксирующий в макропозиции унт $\in \Phi$ объем текста страницы $\mu(\text{унт}) := \text{всс}(b_{\text{обм}})$.

Макропереход управляющего типа $t_2 \in T$, при наличии разрешения $\mu(p_1) = 1$, интерпре-

тирует посредством решающей позиции $r_1 \in P$ выделение фрагмента сообщения из остатка еще не до конца выведенного текста $\mu(\text{унт}) > 0$, унт $\in \Phi$ для последующего вывода его на терминал, а при полностью выведенном тексте $\mu(\text{унт}) = 0$ определяет завершение обслуживания страницы или сообщения в целом.

Функционирование макроперехода t_3 определяется процедурой срабатывания, осуществляющей вывод фрагмента текста $\mu(\text{вф}) := 1$ под управлением решающей периферийной позиции $\text{нпс} \in V_x$, интерпретирующей сигнал немедленного прерывания сообщения.

Переход $t_4 \in T$ срабатывает при наличии условия ожидания вывода фрагмента $\mu(\text{жвф}) = 1$ и появлении сигнала его завершения $\mu(\text{звф}) = 1$, при этом восстанавливается исходная разметка семафора $\mu(p_1) := 1$.

Срабатывание макроперехода $t_5 \in T$ приводит к разметке $\mu(\text{квт}) := 1$, формирующей выдачу служебной посылки прерывания, и временному завершению обслуживания текущего сообщения $\mu(\text{фин}) := 1$, а также к преобразованию очереди выводимых сообщений $\text{сооб} \in W$ согласно правилу:

- при прерывании сообщения оно временно переходит в разряд прерванных сообщений $\text{сооб}(\text{абрт}) := \text{сооб}(\text{фlew}_c)$;
- при прерывании переговоров $\text{сооб}(\text{фlew}_n)$ он автоматически завершается.

В очереди выводимых сообщений $\text{сооб} \in W$ прерванное сообщение/переговор замещается новым, более приоритетным сообщением/переговором $\text{сооб}(\text{фlew}) := \text{сооб}(\text{soob})$, после чего производится его вывод аналогично уже рассмотренным правилам.

В соответствии с формальным описанием модели вывод прерванного сообщения автоматически возобновляется с прерванной страницы после окончания вывода приоритетного сообщения/переговора.

Функционирование макроперехода t_6 определяется процедурой срабатывания, осуществляющей завершение вывода страницы текста с учетом разметки решающей периферийной позиции $\text{опс} \in V_x$, интерпретирующей сигнал отложенного прерывания сообщения.

Переход $t_7 \in T$ срабатывает при завершении вывода сообщения/переговора $\mu(\text{выв}) = 1$, при этом устанавливается разметка $\mu(\text{фин}) := 1$ и формируется запрос таймеров подтверждения $\mu(\text{зтп}) := 1$.

Срабатывание перехода $t_8 \in T$ определяет окончание текущей обработки сообщения/переговора. При этом формируются выходной периферийный сигнал освобождения семафора $\mu(\text{free}) := 1$ для возможности начала обслуживания новых данных, вывода прерванных или запрошенных на повтор сообщений, а также восстанавливается исходная разметка семафора вывода фрагмента текста $\mu(p_1) := 1$.

В целом, последовательность вывода n -страничного сообщения описывается обобщенным срабатыванием переходов $\{t_1, \{t_3, t_4\}^v, t_8\}^n, t_7, t_8$.

Организация вычислительных процессов контроллера

Реализация доступа абонентов к услугам АСДО характеризуется высокой степенью спонтанности трафика заявок, присущей классу коммуникационных систем параллельной обработки информации. В качестве теоретической модели реализации параллельных вычислений задач МКК использована модель асинхронной вычислительной сети множества взаимодействующих последовательно-параллельных процессов (ППП-сети) [10, 11]. Неформально, PPP-сеть есть абстракция произвольной вычислительной системы, рассматриваемой как статический или динамический набор асинхронно-взаимодействующих специализированных программных компонент, каждая из которых реализует относительно самостоятельный вычислительный процесс. Связи между компонентами PPP-сети задаются топологией процессной схемы этой сети и отображают информационные зависимости между взаимодействующими процессами. Передача данных по этим межпроцессным связям от некоторого источника к соответствующему приемнику реализуется через программные ПЯ, которые интерпретируются как буферные каналы, функционирующие по принципу FIFO-очереди. Потенциально вход некоторого буфера доступен любому компоненту PPP-сети, в то время как выход буфера индивидуально сопряжен только с соответствующим программным процессом.

Одновременность (или квазиодновременность) реализации вычислений в различных программных компонентах PPP-сети может быть следствием информационной независимости отдельных компонент (например, одновременный ввод и вывод передаваемого и принимаемого сообщений) или организации конвейерной обработки потоков данных последовательно соединенными компонентами (например, транспортировка ранее подготовленного сообщения и одновременная текущая обработка вновь вводимого сообщения).

Компоненты PPP-сети определены как специализированные программные автоматы детерминированного типа (ДПА) и располагают некоторым подмножеством входов и выходов. Текущие состояния ДПА определяются содержанием соответствующих программных информационных структур (дескрипторов, формул и т. п.).

Формально абстрактная модель ДПА есть набор $\langle In, Out, Sost, s_0, f_s, f_{out} \rangle$, где:

In — множество состояний восприятия данных;

Out — множество состояний выдачи данных;

$Sost \in D$ — множество состояний информационной структуры ДПА;

$s_0 \in Sost$ — исходное состояние ПА;

$$f_s : \bigcup_{i=1}^n (In_i \times D_i) \times Sost \rightarrow (In \cup Out \cup Sost) \quad —$$

характеристическая функция переходов, где D_i — множество наборов данных, которые воспринимаются по i -му входу In_i ;

$$f_{out} : (Out \cup Sost) \rightarrow \bigcup_{j=1}^m (Out_j \times D_j) \quad — \text{характеристическая}$$

функция выходов, где D_j — множество наборов данных, которые выдаются по j -му выходу Out_j .

Формализуем представление ППП-сети. Пусть $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ — конечное множество программных процессов, $R = \{r_1, \dots, r_m\}$ — конечное множество ПЯ. Определим ППП-сеть как двудольный орграф $G = (P, R, Y_r)$, в котором связи между процессами множества P и почтовыми ящиками множества R заданы инцидентностью $Y_r \subset P \times R \cup R \times P$, описывающей информационные ассоциации между процессами через программные каналы, образованные посредством ПЯ.

Представление каждого процесса p из множества P формализовано четверкой $p = \langle s_p^*, w_p, d_p, ex_p \rangle$, где:

$s_p^* \in S^*$, $s_p^* = s_{p0} s_{p1} \dots s_{pn}$ — последовательность языковых операторов, реализующих некоторую процедуру, функцию, программу, частичный алгоритм и т. п., где S^* — множество этих программных реализаций;

$w_p \in W$ — рабочее пространство памяти процесса (стек), где W — множество стеков процессов;

$d_p \in Dп$ — дескриптор процесса из множества дескрипторов процессов $Dп$;

$es_p \in Ex, Ex \subset S^* \times T$ — отношение, устанавливающее однозначность исполнения операторов s из $s^* \in S^*$ в момент t из упорядоченного множества времени T .

Без потери общности морфологическую структуру последовательности $s^* \in S^*$, $s^* = s_0 s_1 \dots s_n$ можно представить $s^* = s_n^* \{s_n^*\} s_n^*$, где:

s_n^* — префикс (производит начальные установки в программном процессе;

s_n^* — суффикс (обеспечивает освобождение всех захваченных процессом ресурсов при его завершении);

$\{s_n^*\}$ — инфикс (является основным функциональным циклом). (Здесь $\{\}$ — металингвистическая операция итерации).

В программной нотации инфикс — это последовательность операторов, составляющих тело бесконечного цикла $for(;;)\{s_{n1}s_{n2}\dots s_{nj}\dots s_{nn}\}$, причем среди операторов инфикса присутствуют

некоторые примитивы синхронизации, задающие процессу старт—стопный характер его исполнения.

Для создания и уничтожения процессов в управляющей системе ППП-сети предусмотрены примитивы $d_p = create_process(s_p^*, w_p, param)$ и $delete_process(d_p)$.

Формально модель ПЯ — информационная структура ПЯ = $\langle Op_{пя}, Dom_{пя} \rangle$.

$Op_{пя} = \{send, wait, event, wait_event\}$ — примитивы послать и ждать сообщение, и примитивы событие, ждать события.

$Dom_{пя}$ — информационная структура ПЯ.

Упрощенно будем предполагать, что каждому процессу сопоставлен единственный $\phi : \forall p \in P \rightarrow \exists! r \in R$, по которому процесс получает входную информацию. Интерфейс примитивов ПЯ имеет вид $send(r, d)$ и $wait(r)$, в которых параметр r определяет номер ПЯ, а параметр d — адрес передаваемых данных. Традиционно семантика примитива $send$ такова, что передающий процесс может посылать в ПЯ неограниченное число данных, причем процесс никогда не блокируется при выполнении этого примитива. Назначение примитива $wait$ определено семантикой ожидания входных данных, поступающих в процесс на обработку. При отсутствии данных в ПЯ примитив $wait$ временно блокирует процесс до их появления. При исполнении примитива $wait$ при наличии данных d в ПЯ немедленно запускает процесс.

Заключение

Рассмотренный комплексный подход представления многоканального контроллера абонентской сети передачи данных положен в общую методологическую основу реализаций унифицированной функциональной структуры нескольких поколений МКК. Разработанные на встроенных микропроцессорах терминальные электронные каналные модули нашли широкое применение и находятся в эксплуатации в составе крупномасштабной АСДО, охватывая своими услугами тысячи взаимодействующих абонентов. Многолетняя практика показала, что предложенная организация структуры многофункционального контроллера способствовала рациональному распределению абонентской нагрузки.

Парадигма переноса программ контроллера как унифицированного технологического шаблона в целом благотворно повлияла на сроки проектирования, исключения программных издержек, связанных с потерями эффективности, а также на удобство отладки, сопровождения и модернизации, позволила внести ясность в понимание многофункциональной структуры контроллера, способы организации выполнения процессов, осуществляемых путем инвариантного перевода программ на соответствующие платформы.

В результате проведенных теоретических исследований, практики конструктивного программирования и многолетней эксплуатации МКК можно заключить, что предложенная технология синтеза рассмотренных программ достаточно адекватно отображает реальные процессы и механизмы их создания в классе систем обработки документальных сообщений.

В целях разработки компонент информационной технологии и методологии создания многоканальных контроллеров проведена систематизация задач, возникающих при функциональном обеспечении и обслуживании ТКК. Комплексный подход к совершенствованию всех звеньев технологической цепи операций при разработке средств документального обмена, повышение сервиса контроля и управления позволили обеспечить высокий уровень надежности и своевременной доставки сообщений.

Рассмотренные аспекты использования многоканальных контроллеров в составе ТКК, в том числе их программная реализация, отрабатывали на фрагменте АСДО на испытательном стенде с использованием имитационного оборудования, позволяющего эмулировать асинхронную работу десятков операторов для создания соответствующего трафика в целях оценки достигнутого качества.

Литература

1. Буренин А. Н. О формальном описании и модели автоматизированной системы управления связью: сб. трудов IX Российской НТК "Новые информацион-

ные технологии в системах связи и управления". — Калуга, 2010. С. 135—138.

2. Яровикова О. В. Модель технологического управления транспортной сетью связи специального назначения: сб. трудов IX Российской НТК "Новые информационные технологии в системах связи и управления". — Калуга, 2010. С. 195—197.

3. Соболев В. М. Групповой драйвер телеграфных адаптеров концентраторов каналов // ВРЭ: серия ОВР. 1991. Вып. 18. С. 67—75.

4. Грушецкий Р. И., Мурсаев А. Х., Узрюмов Е. И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 608 с.

5. Советов Б. Я. и др. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации. — М.: Высшая школа. 1987. — 253 с.

6. Коротаев В. Б., Машин В. П., Соболев В. М. Телекоммуникационный комплекс обработки документальных сообщений // Промышленные АСУ и контроллеры. — М.: "НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ", 2021. № 5. С. 40—51.

7. Соболев В. М., Матюхина Е. Н. Об организации межпроцессорного обмена в комплексах АСУ ТП // Промышленные АСУ и контроллеры. — М.: "НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ", 2011. № 5. С. 7—11.

8. Соболев В. М. Элементы теории вычислительных процессов. — М.: МИРЭА, 2009. — 116 с.

9. Соболев В. М. Документальный обмен. Аспекты программной реализации // Монография. — М.: МИРЭА, 2010. — 230 с.

10. Библио П. Н. Описание параллельных и последовательных автоматов на языке VHDL // Информатика. 2005. № 1. С. 68—75.

11. Соболев В. М. Информатические элементы синтеза программ специализированной документальной связи // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — М.: "НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ", 2013. № 10. С. 17—25.

THE MULTI-CHANNEL CONTROLLER OF THE SUBSCRIBER DATA TRANSMISSION NETWORK

V. M. Sobol

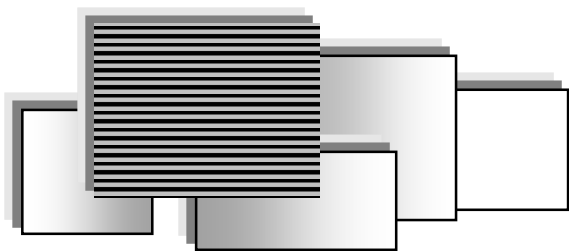
Stock Company "Research Institute for Automated Apparatus
named after academician V. S. Semenikhin", Moscow, Russia

The information support of the multi-channel subscriber controller of the communication complex of the automated document exchange system is considered. It is shown that to decentralize the service and distribute the streaming text load, a software-controlled controller is used, which provides simultaneous execution of a number of applied tasks along with physical and logical pairing at a standardized junction with an external device (remote terminal, printer, automated workplace, etc.). A generalized functional structure and software implementation of channel tasks for recognition and syntactic control of the formal language of the operator of the specialized subscriber service of the automated document exchange system is given. The Notation of Extended Petri Nets presents functional models of the controller, lexical analyzer and page output of the message text. The methodology of organization of sequential-parallel execution of program processes is stated.

Keywords: controller, subscriber channel, telecommunication complex, program structuring, data exchange system, recognition automaton, documentary exchange, parallel processes, Petri networks.

Соболев Вадим Маркович, консультант-программист.
E-mail: sobolvm@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23 июня 2022 г.



ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 681.518.2

DOI: 10.52190/2073-2597_2022_4_40

EDN: GEGJOO

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ В SQL НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. О. Бутко, канд. техн. наук

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

Рассмотрены особенности разработки программных средств для преобразования структур технологических данных в целях получения возможности хранения больших объемов информации по сложным техническим изделиям. Ранее данную задачу решали на основе разных технологий, обеспечивающих разный уровень точности и достоверности. Основной особенностью предлагаемого варианта решения является применение современных сред разработки и СУБД на основе библиотек. Представленный модуль может быть использован в любой проектной и производственной сфере, которая требует хранения больших объемов технологических данных.

Ключевые слова: автоматизация, программирование, интеграция, инженерные расчеты, нормирование, моделирование, структурное моделирование, параметрическое моделирование, базы данных.

В рамках проводимых в Московском авиационном институте (МАИ) научных работ по тематике автоматизации технологического проектирования была поставлена задача преобразования структур данных, хранимых в продуктах от разных поставщиков баз данных (БД). По ходу решения задачи были рассмотрены существующие способы программной реализации интерфейсов работы с реляционными базами данных.

Для решения поставленной задачи потребовалось описать основные алгоритмы модуля, определить функции и построить структуру данных. Сотрудниками МАИ разработан исходный формат БД, и для работы с ней реализована универсальная библиотека *spb2.dll*.

В ходе работ рассмотрены стандартные процедуры передачи данных между различными СУБД, в том числе экспорт—импорт и способы прямого переноса. Для построения модуля формирования технологической БД разработана уникальная технология и формат технологических данных, принадлежащий структурно-параметрическому моделиру (СП-моделиру). На основе этого СП-моделира построена интегрированная система планирования и подготовки производства, включающая возможность

проведения технологических и инженерных расчетов, нормирования, управления проектами. Технологические процессы ориентированы на производство ракетно-космической техники.

Рабочий процесс подразумевал перевод структурно-параметрической базы данных технологического моделирования — СПМ) в соответствующую базу в среде SQL. Для проверки целостности сформированной структуры использовали программу *SQLTPFORM*. Перевод базы был необходим для хранения технологических процессов большого объема. Основные требования по точности переноса структуры в данной работе имели первостепенное значение. Большинство технологий экспорта—импорта имеют высокие показатели по этому параметру, близкие к 100 %, поскольку идет обмен между родственными форматами. В описываемом модуле формирования технологической базы данных используется дополнительный программный функционал, что требует введения проверки целостности базы данных внутри программы. Такое решение в отличие от уже существующих позволяет приводить узкоспециализированный формат технологических данных к формату

Структура данных технологического процесса

Информация по технологическим процессам (ТП), как и по изделию в целом собирается и

хранится в единой базе данных, поддерживаемой средствами *Microsoft SQL Server*. Структура части этой базы, содержащей описания технологических процессов, показана на рис. 2.

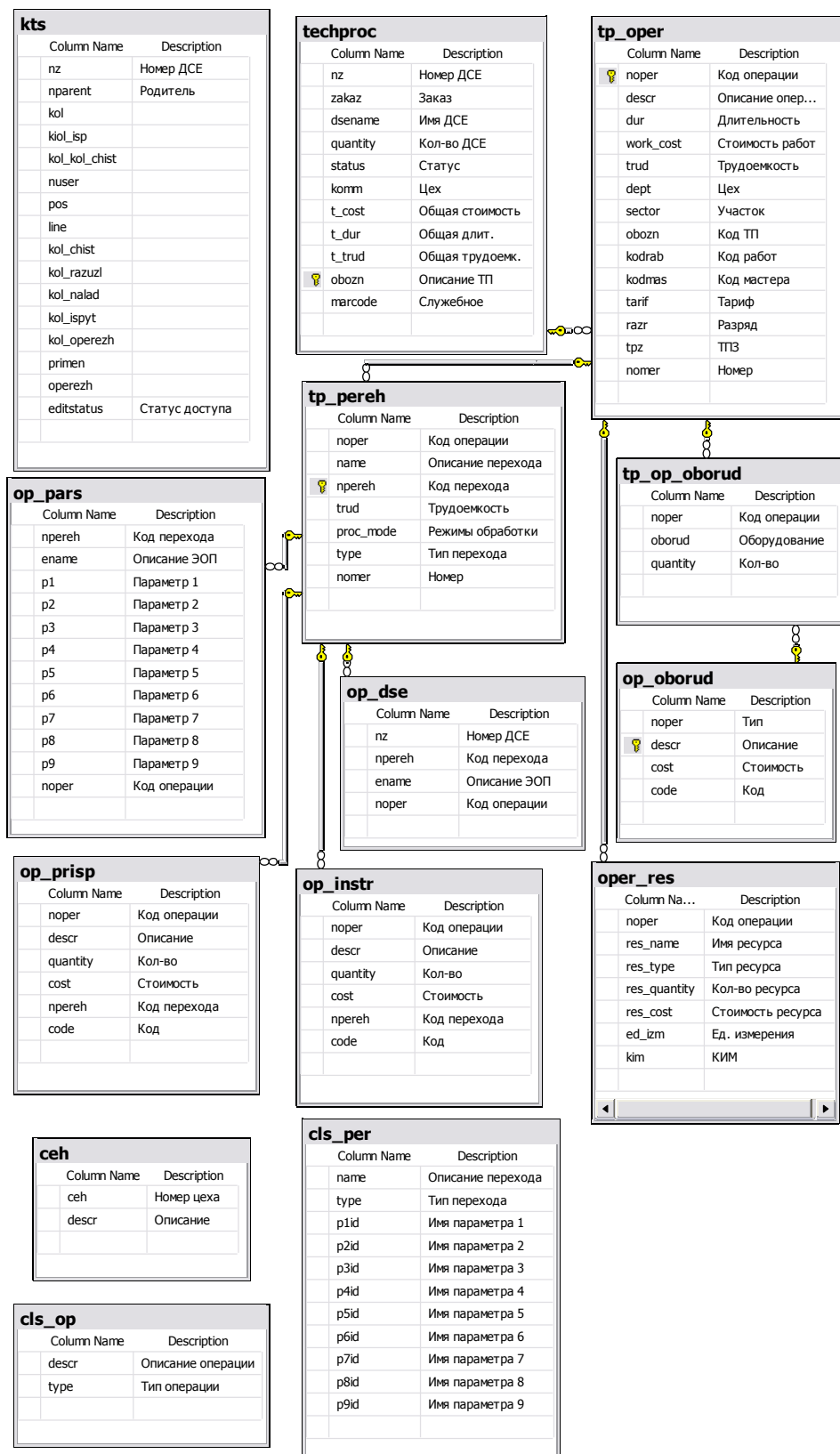


Рис. 2. Структура БД технологических процессов

Для работы модуля необходимо обеспечить размещение базы данных технологических процессов на доступном сервере *SQL*.

Хранилище включает 14 связанных таблиц, отражающих схемы записи параметров всех входящих в ТП элементов.

1. Головная таблица "*kts*" является описанием ДСЕ, то есть представлением одного элемента спецификации на изделие. Каждой ДСЕ может соответствовать несколько маршрутов.

2. Таблица "*techproc*" представляет описание основы технологического процесса — элемент третьего уровня в дереве ТП, к каждому из которых привязано несколько операций.

3. Таблица "*tp_oper*" содержит описание операции — элемент четвертого уровня в дереве ТП. Каждой операции может соответствовать несколько переходов и несколько ресурсов.

4. Таблица "*oper_res*" представляет описание ресурса — элемента, привязанного к операции. Ресурсы могут иметь тип — материальный или трудовой.

5. Таблица "*op_oborud*" содержит информацию об оборудовании (полный перечень, библиотека). Ключевое поле *descr* — описание или имя предмета (символьное значение).

6. В таблице "*tp_op_oborud*" дано описание оборудования для конкретной операции.

7. Таблица "*tp_pereh*" описывает переход — элемент пятого уровня в дереве ТП. Каждому переходу могут соответствовать несколько единиц инструмента и приспособлений, а также дополнительные параметры. Ключевое поле *npereh* — идентификатор или код перехода (цифровая строка).

8. Таблица "*op_prisp*" содержит сведения о приспособлениях. Ключевое поле *descr* — описание или имя предмета (символьное значение).

9. Таблица "*op_instr*" представляет описание инструмента. Ключевое поле *descr* — описание или имя предмета (символьное значение).

10. В таблице "*op_pars*" представлены дополнительные параметры перехода. Параметры могут иметь разные идентификаторы, определяемые по типу перехода из таблицы классификатора.

11. Таблица "*oper_dse*" представляет список обозначений ДСЕ, входящих в сборочные операции.

12. В таблице "*cls_op*" приводится классификатор стандартных описаний операций. Для каждой операции опционально можно указать тип.

13. Таблица "*cls_per*" представляет классификатор типовых описаний переходов. Для каждого перехода опционально можно указать тип.

14. В таблице "*ceh*" дается информация о цехах предприятия. Для каждого цеха указывается номер и описание.

Основные функции и структура модуля

Разработанный модуль служит для автоматизированного формирования технологической базы данных в среде *SQL* на основе структурно-

параметрической модели. Он реализует следующие функции:

- Открывает файлы с расширением *.spb*.
- Загружает техпроцесс из любого выбранного файла через модуль структурно-параметрической базы в программу.
- Отображает элементы техпроцесса, включая сборки.
- Отображает параметры выбранного пользователем элемента.
- Имеет подключение к базе данных с возможностью настройки пользователем.
- Может принимать в качестве входного параметра ДСЕ или вводить пользователем вручную.
- Записывает техпроцесс в базу данных.
- Имеет удобный оконный интерфейс.

Данный программный модуль состоит из двух файлов — *spb2db.exe* и *spb2db.ini*. Для работы программы также необходима библиотека *spb2.dll*.

Структура модуля является стандартной для приложений типа *Windows Forms* на языке C# [1]. Основной модуль программы находится в классе *program.cs*, в нем создается объект класса *MainForm*, который хранится в файле *MainWin.cs*, а интерфейс — в файле *MainWin.Designer.cs*.

Также в программу входит класс *Setting* (файлы *Setting.cs* и *Setting.Designer.cs*), реализующий диалоговую форму с настройками подключения к базе данных (этот класс отвечает за подключение к СУБД *SQL*), класс *RenElem* (файлы *RenElem.cs* и *RenElem.Designer.cs*) и вспомогательный класс для возможности хранения элементов и сборок базы *SpbData* (файл *SpbData.cs*), который предназначен для работы с файлами структурно-параметрической базы данных СП-моделлера.

В модуле реализованы три ключевых алгоритма:

1. Алгоритм выборки данных из базы СПМ, включающий:

- выборку элементов технологического процесса;
- чтение данных разделов с элементами;
- чтение данных разделов с параметрами;
- формирование массива данных для передачи.

2. Алгоритм проверки целостности данных, включающий:

- подсчет количества элементов техпроцесса;
- подсчет количества параметров техпроцесса;
- проверку количества элементов и параметров в выборке;
- проверку произвольных элементов по описанию.

3. Алгоритм формирования БД в *SQL*, включающий:

- выборку данных из массива;
- формирование запросов;

- выполнение транзакций;
- проверку целостности по количеству параметров и элементов.

Описание интерфейса и порядок работы с модулем

Модуль разработан для автоматизации ввода описаний технологических процессов, сформированных в файлы структурно-параметрической базы, в базу данных ТП в среде *SQL*. Программа реализована в виде диалогового приложения, созданного в среде разработки *Microsoft Visual Studio*. Поддержка БД осуществляется средствами *Microsoft SQL Server* [2].

Графический интерфейс разработан в соответствии с основными принципами разработки интерфейсов, является интуитивно понятным, прост при работе и позволяет пользователю настраивать рабочую среду под себя за счет изменяемости размеров графических элементов [3]. Модуль позволяет автоматизировать процесс ввода информации, объединять все данные в одной базе. Также за счет автоматизации сокращаются временные затраты [4].

Модуль может запускаться программой *spb2db.exe*, при этом возможно указать в качестве входного параметра код ДСЕ. Возможен

запуск модуля с передачей кода ДСЕ через модуль формирования и редактирования базы технологических процессов (*TPEDIT*).

Центральную часть главного окна программы *spb2db* (рис. 3) разделяют между собой окно дерева (для отображения структуры сборок и технологических процессов) и окно списка (отображает параметры и их значения для выбранного элемента в окне дерева). Размеры главного окна, а также дерево и список могут быть изменены.

Перенос данных осуществляется путем использования собственных функций (включены в состав модулей комплекса СПИМ) для выборки информации из структурно-параметрической базы. С их помощью выполняется чтение разделов с элементами и их параметрами, выборка осуществляется по внутреннему признаку принадлежности к техпроцессу. Модуль получает извлеченные данные и составляет соответствующие запросы для формирования базы данных в *SQL*, при этом структура данных формируется предварительно стандартной процедурой в СУБД.

Исходные данные для модуля формируются в файле *spb* сборки. Выходными данными являются элементы технологического процесса и их параметры, записанные в БД технологических процессов.

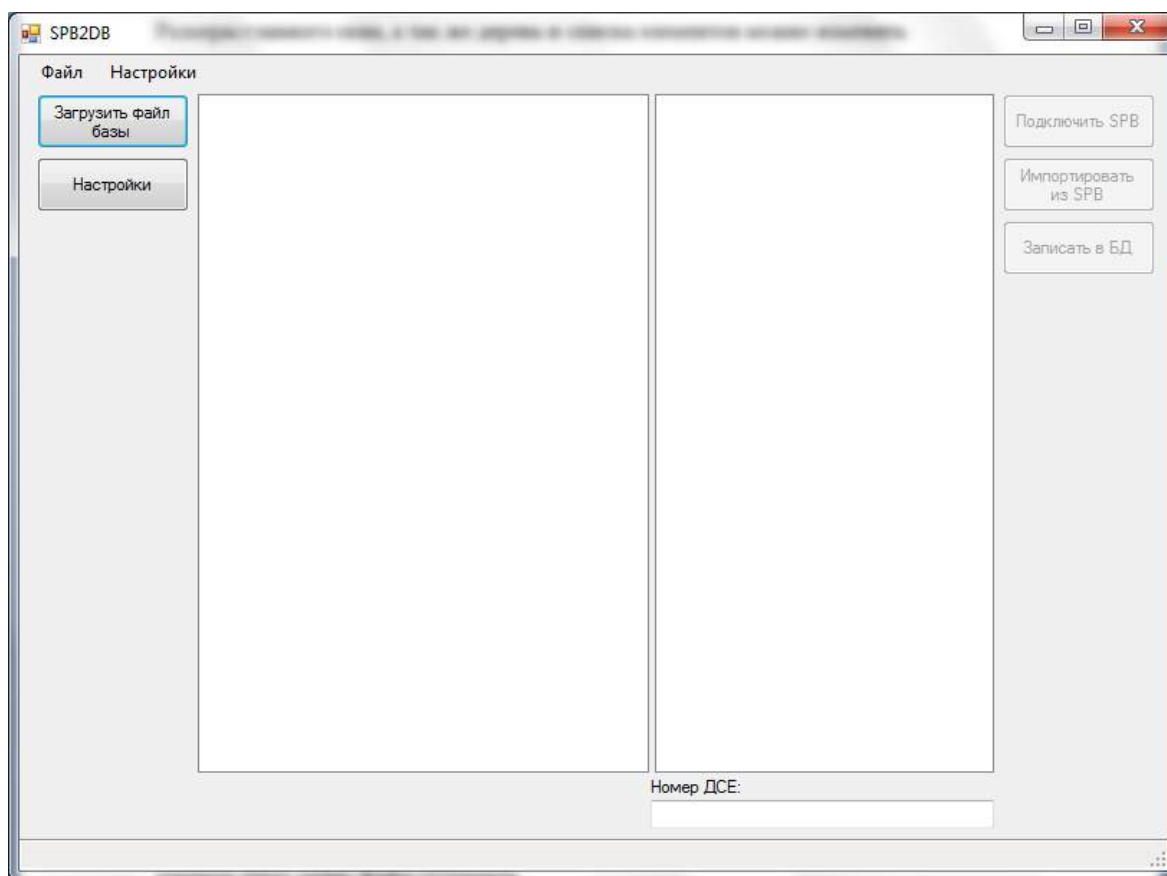


Рис 3. Главное окно программы *spb2db*

Для записи сборки в БД необходимо осуществить следующие действия:

- открыть файл *spb* и загрузить из него данные в программу;
- настроить подключение к БД технологических процессов, если это необходимо;
- записать сборку в базу данных.

Необходимо упомянуть, что перед записью данных в БД пользователь обязан самостоятельно убедиться в том, что файл *spb* является файлом, содержащим именно сборку, так как программа не способна отличить файл сборки от любого другого файла структурно-параметрической базы, кроме как по глубине структуры. Не допускается запись файлов, которые содержат более четырех уровней в глубину.

После запуска модуля отобразится окно (см. рис. 3). Чтобы загрузить сборку или технологический процесс в программу, необходимо нажать на кнопку "Загрузить файл базы данных", отвечающую за открытие диалогового окна, с помощью которого пользователь выбирает нужный ему файл *spb*, также это окно можно открыть через меню Файл -> Открыть.

Кнопка "Настройки" вызывает диалоговое окно настроек подключения к базе технологических процессов (рис. 4). Это окно также можно вызвать через меню: Настройки->Подключение.

Строка подключения загружается из файла *spb2db.ini*, который можно редактировать самостоятельно через любой текстовый редактор.

Если этот файл отсутствует в директории программы, то строка подключения задается по умолчанию и записывается в создаваемый файл *spb2db.ini*. В этом окне пользователь может задавать необходимые настройки подключения и выбирать способ задания строки подключения. После нажатия кнопки "ОК" программа проверяет установленные пользователем настройки и пытается выполнить подключение к базе данных.

Если подключение настроено правильно, программа записывает текущие настройки в файл *spb2db.ini*. Если же пользователем не заполнены необходимые поля, выдается предупреждающее сообщение.

В случае невозможности подключения к базе данных или возникновения ошибки, выдается сообщение с описанием кода ошибки.

После открытия выбранного пользователем файла и нажатия кнопки "Подключить SPB" производится подключение к структурно-параметрической базе, кнопка меняет текст на "Отключить SPB" и становится активной кнопка "Импортировать из SPB", а кнопка загрузить файл базы становится неактивна. При нажатии "Импортировать из SPB" происходит загрузка сборки из выбранного файла и появляется информационное сообщение о количестве прочитанных элементов базы (рис. 5). Это важно для контроля целостности передаваемых данных, чтобы избежать потери информации по разным причинам непредвиденного характера.

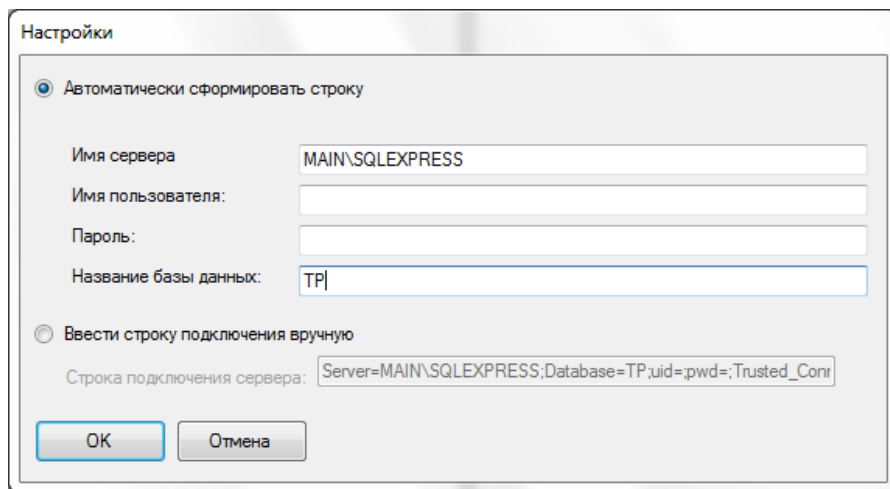


Рис. 4. Диалоговое окно настройки подключения к базе данных

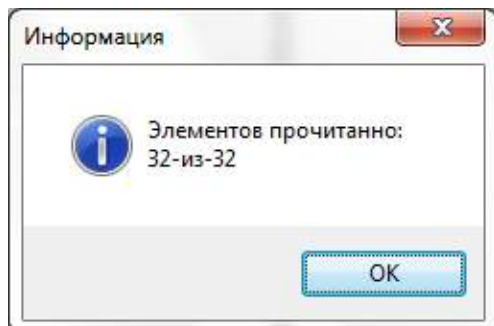


Рис. 5. Информационное сообщение о количестве прочитанных элементов

На дерево элементов выводятся все элементы с сохранением структуры, и при выборе любого элемента в дереве справа отображается список параметров выбранного элемента (рис. 6).

Все загруженные данные во время работы модуля находятся в памяти, поэтому можно отключить базу *spb*, нажав кнопку "Отключить SPB", и продолжать работать с данными, в это

время другие приложения смогут продолжить обращение и работу с файлом базы [5].

Для записи загруженной структуры в базу данных необходимо ввести код ДСЕ в поле в нижней части окна (рис. 7). Это поле можно заполнить вручную, либо, как описано ранее, получить автоматически с помощью входного параметра.

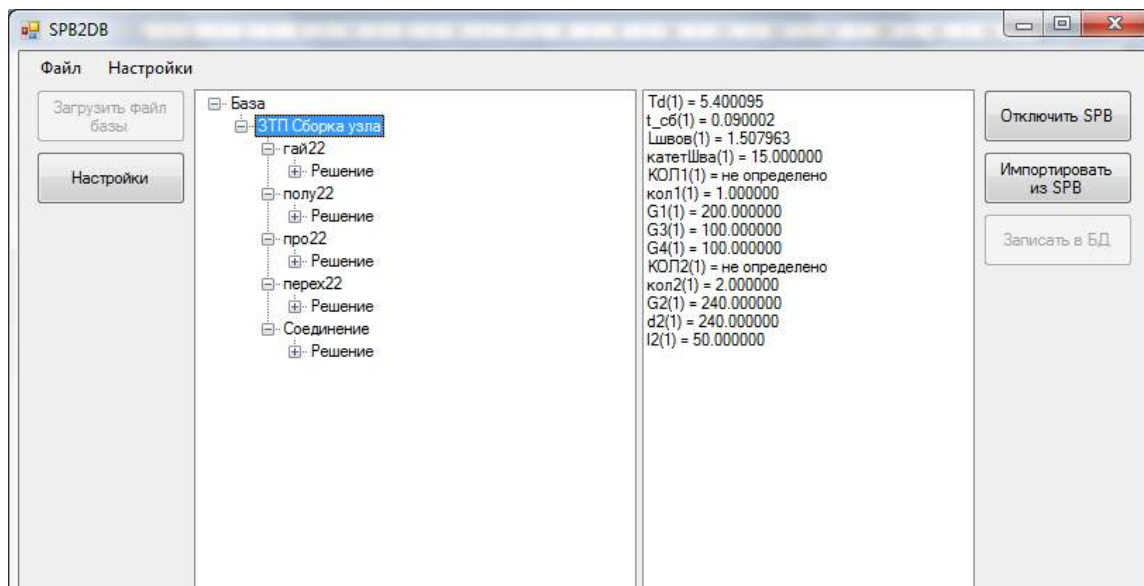


Рис. 6. Отображение структурно-параметрической базы в программе

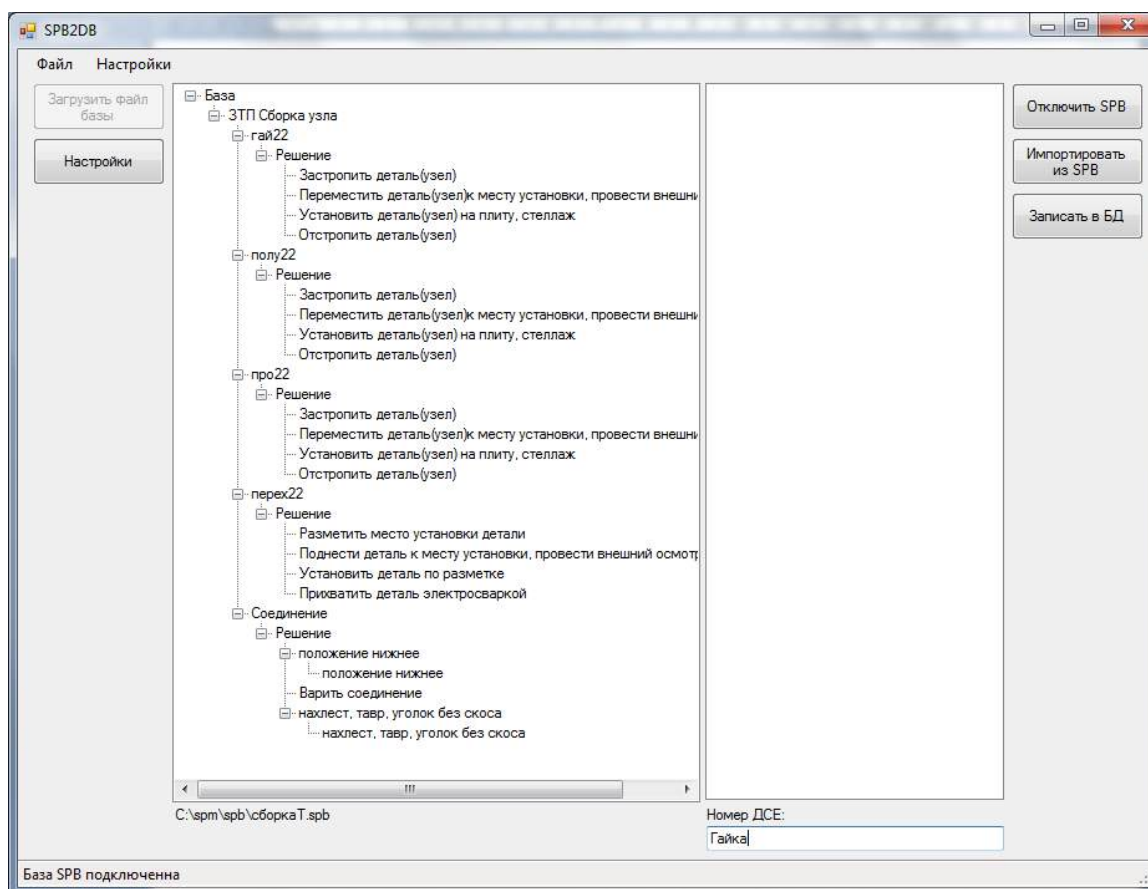


Рис. 7. Окно программы с введенным номером ДСЕ

После ввода любого значения в строку становится доступна функция записи в базу данных. После нажатия кнопки "Записать в БД" производится проверка существования номера ДСЕ в базе данных и наличия текущей сборки в выбранном номере ДСЕ. В случае, если такая сборка уже существует, появляется окно (рис. 8), которое позволяет задать другое описание ТП.

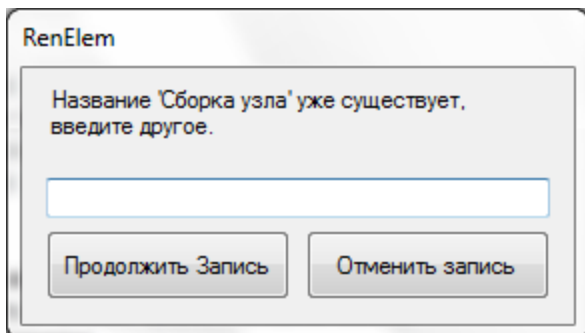


Рис. 8. Диалоговое окно

После произведения записи программа выдает информационно сообщение о количестве записанных элементов (рис. 9).

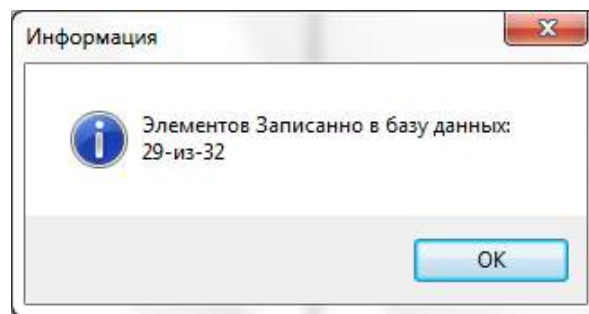


Рис. 9. Информационное сообщение о количестве записанных элементов

Отметим, что количество записанных элементов не соответствует общему количеству элементов. Это связано с тем, что некоторые элементы из-за особенностей структуры модели не содержат параметров и являются сборками, поэтому не могут быть записаны. Записываются входящие в них технологические процессы, в то время как приложение считает только те элементы, которые были записаны в базу данных.

Примеры фрагментов данных до записи элементов и в результате работы программы представлены на рис. 10—12.

noper	name	nperh	trud	proc_mode	type	nomer
111.111-19-015	Перенести д...	111.111-19-015-2	1	mode5	4	2
111.111-19-020	Сверлить отве...	111.111-19-020-1	1	mode0	10	1
111.111-19-025...	маркировать за...	111.111-19-025...	1	XXXX	ИМП	025-0186-1
111.111-19-025	Подрезать тор...	111.111-19-025-1	1	mode0	10	1
111.111-19-030...	КОНТРОЛЬ ПАР...	111.111-19-030...	1	XXXX	ИМП	030-0206-1
111.111-19-035...	контролирует...	111.111-19-035...	1	XXXX	ИМП	035-0203-1

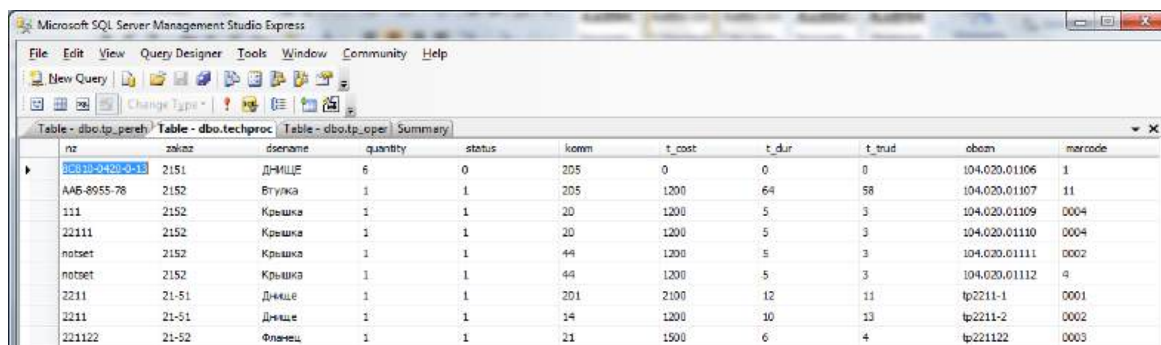
а

noper	name	nperh	trud	proc_mode	type	nomer
111.111-19-055	Расточить пове...	111.111-19-055-1	1	mode0	10	1
111.111-19-060	Подрезать тор...	111.111-19-060-1	1	mode0	10	1
111.111-19-065...	маркировать за...	111.111-19-065...	1	XXXX	ИМП	065-0186-1
111.111-19-065	Подрезать тор...	111.111-19-065-1	1	mode0	10	1
111.111-19-070...	КОНТРОЛЬ ПАР...	111.111-19-070...	1	XXXX	ИМП	070-0206-1
111.111-19-070	Точить поверх...	111.111-19-070-1	1	mode0	10	1
111.111-19-075...	контролирует...	111.111-19-075...	1	XXXX	ИМП	075-0203-1
111.111-19-075	Расточить пове...	111.111-19-075-1	1	mode0	10	1
111.111-19-080	Взять деталь (...)	111.111-19-080-1	1	mode0	5	1
111.111-19-080	Перенести д...	111.111-19-080-2	1	mode5	4	2
111.111-19-080	Установить де...	111.111-19-080-3	1	mode2	3	3
111.111-19-085	Точить поверх...	111.111-19-085-1	1	mode0	10	1
111.111-19-090	Подрезать тор...	111.111-19-090-1	1	mode0	10	1
111.111-19-095	Подрезать тор...	111.111-19-095-1	1	mode0	10	1
111	perh111-1	111-1	1	mode3	4	1
15	Застрачить де...	15-1	1	NULL	NULL	NULL
15	Перенести д...	15-2	1	NULL	NULL	NULL

б

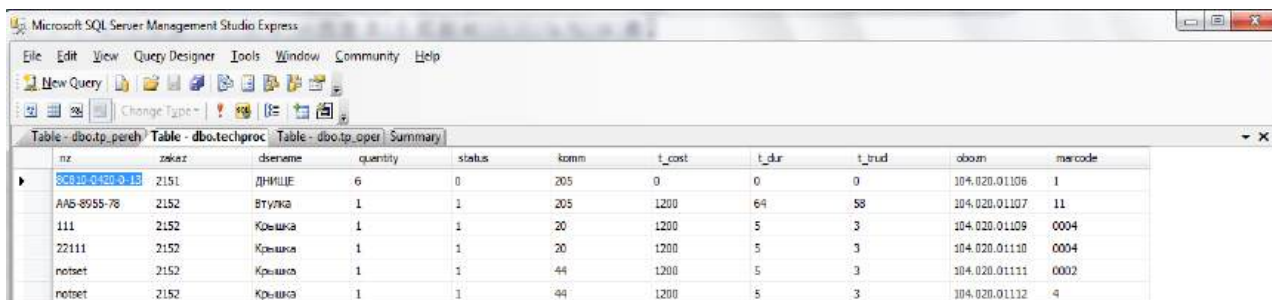
Рис. 10. Фрагмент таблицы "tp_perh":

а — до записи данных; б — в результате работы программы



nz	zakaz	dsername	quantity	status	komm	t_cost	t_dur	t_trud	obozn	marcode
SC010-0420-0-13	2151	ДНИЩЕ	6	0	205	0	0	0	104.020.01106	1
AAB-8955-78	2152	Втулка	1	1	205	1200	64	58	104.020.01107	11
111	2152	Крышка	1	1	20	1200	5	3	104.020.01109	0004
22111	2152	Крышка	1	1	20	1200	5	3	104.020.01110	0004
notset	2152	Крышка	1	1	44	1200	5	3	104.020.01111	0002
notset	2152	Крышка	1	1	44	1200	5	3	104.020.01112	4
2211	21-51	Дняще	1	1	201	2100	12	11	tp2211-1	0001
2211	21-51	Дняще	1	1	14	1200	10	13	tp2211-2	0002
221122	21-52	Фланец	1	1	21	1500	6	4	tp221122	0003

а




nz	zakaz	dsername	quantity	status	komm	t_cost	t_dur	t_trud	obozn	marcode
SC010-0420-0-13	2151	ДНИЩЕ	6	0	205	0	0	0	104.020.01106	1
AAB-8955-78	2152	Втулка	1	1	205	1200	64	58	104.020.01107	11
111	2152	Крышка	1	1	20	1200	5	3	104.020.01109	0004
22111	2152	Крышка	1	1	20	1200	5	3	104.020.01110	0004
notset	2152	Крышка	1	1	44	1200	5	3	104.020.01111	0002
notset	2152	Крышка	1	1	44	1200	5	3	104.020.01112	4

б

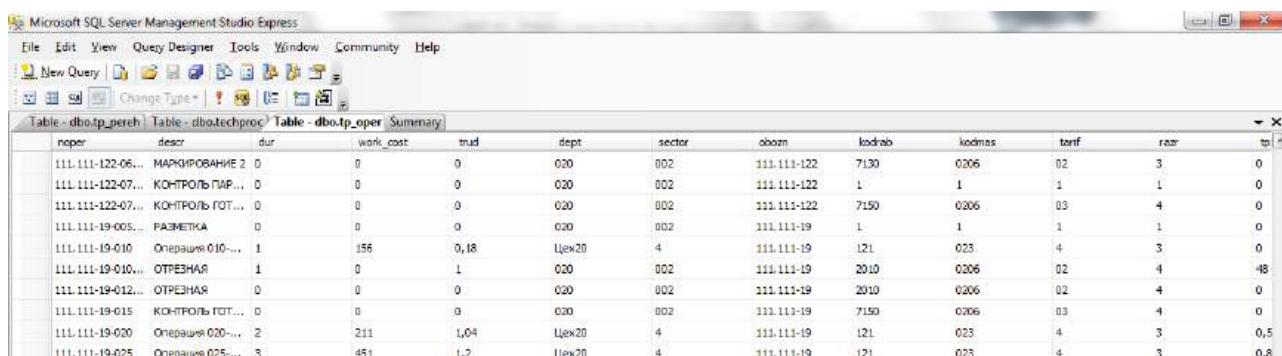
Рис. 11. Фрагмент таблицы "techproc":

а — до записи данных; б — в результате работы программы



nz	desor	dur	work_cost	trud	dept	sector	obozn	kodrab	kodmas	tarif	razr	tp
111.111-122-03...	КОНТРОЛЬ ГОТ...	0	0	0	020	002	111.111-122	7150	0206	03	4	0
111.111-122-04...	РАЗМЕТКА 2	0	0	0	020	002	111.111-122	1	1	1	1	0
111.111-122-05...	ОТРЕЗНАЯ 2	0	0	0	020	002	111.111-122	2010	0206	02	4	48
111.111-122-05...	ОТРЕЗНАЯ 2	0	0	0	020	002	111.111-122	2010	0206	02	4	0
111.111-122-06...	МАРКИРОВАНИЕ 2	0	0	0	020	002	111.111-122	7130	0206	02	3	0
111.111-122-07...	КОНТРОЛЬ ПАР...	0	0	0	020	002	111.111-122	1	1	1	1	0
111.111-122-07...	КОНТРОЛЬ ГОТ...	0	0	0	020	002	111.111-122	7150	0206	03	4	0
111.111-19-005...	РАЗМЕТКА	0	0	0	020	002	111.111-19	1	1	1	1	0
111.111-19-010	Операция 010...	1	156	0,18	Цех20	4	111.111-19	121	023	4	3	0
111.111-19-010...	ОТРЕЗНАЯ	1	0	1	020	002	111.111-19	2010	0206	02	4	48

а



nz	desor	dur	work_cost	trud	dept	sector	obozn	kodrab	kodmas	tarif	razr	tp
111.111-122-06...	МАРКИРОВАНИЕ 2	0	0	0	020	002	111.111-122	7130	0206	02	3	0
111.111-122-07...	КОНТРОЛЬ ПАР...	0	0	0	020	002	111.111-122	1	1	1	1	0
111.111-122-07...	КОНТРОЛЬ ГОТ...	0	0	0	020	002	111.111-122	7150	0206	03	4	0
111.111-19-005...	РАЗМЕТКА	0	0	0	020	002	111.111-19	1	1	1	1	0
111.111-19-010	Операция 010...	1	156	0,18	Цех20	4	111.111-19	121	023	4	3	0
111.111-19-010...	ОТРЕЗНАЯ	1	0	1	020	002	111.111-19	2010	0206	02	4	48
111.111-19-012...	ОТРЕЗНАЯ	0	0	0	020	002	111.111-19	2010	0206	02	4	0
111.111-19-015	КОНТРОЛЬ ГОТ...	0	0	0	020	002	111.111-19	7150	0206	03	4	0
111.111-19-020	Операция 020...	2	211	1,04	Цех20	4	111.111-19	121	023	4	3	0,5
111.111-19-025	Операция 025...	3	451	1,2	Цех20	4	111.111-19	121	023	4	3	0,8

б

Рис. 12. Фрагмент таблицы "tp_oper":

а — до записи данных; б — в результате работы программы

Загруженную в технологическую базу информацию можно просмотреть с помощью программы *TPEDIT* (рис. 13). Программа полно-

стью сохраняет структуру сборки, что позволяет разработанному модулю осуществлять взаимодействия с другими модулями.

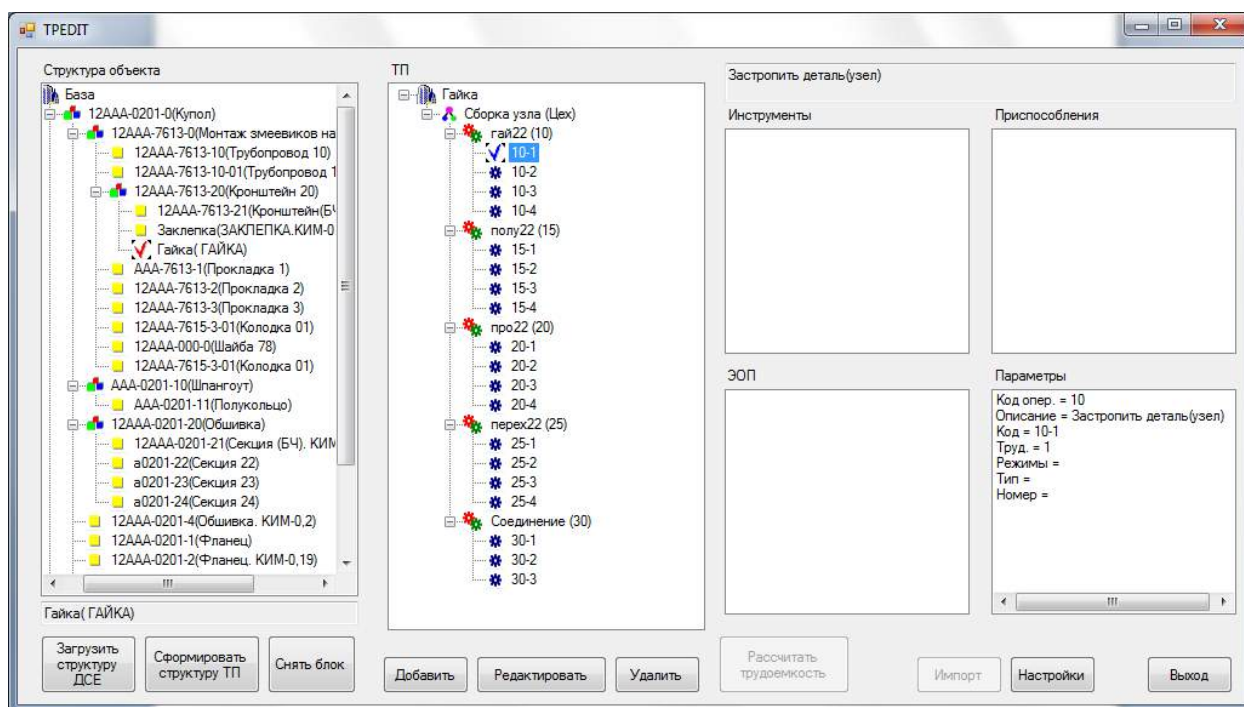


Рис. 13. Отображение загруженной информации с помощью программы TPEDIT

Закключение

Программный модуль формирования технологической базы данных автоматизирует процесс переноса технологических процессов в базу данных в среде SQL, что позволяет создать общую систематизированную технологическую базу, в которой могут храниться данные по большому количеству изделий. Программа предоставляет удобный интерфейс для работы пользователей, учитывающий основные принципы разработки интерфейсов, и упрощает работу, что позволяет избежать ошибок при ручном вводе параметров. Аprobация модуля проведена в рамках НИР в ГКНПЦ им. Хруничева.

Литература

1. Кариев Ч. А. Разработка Windows-приложений на основе Visual C#: учебное пособие. — М: Интернет-Ун-т информ. технологий: Бином. Лаб. знаний, 2007. — 767 с.
2. Кригель А., Трухнов Б. SQL. Библия пользователя, 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2010. — 752 с.: ил. — Парал. тит. англ.
3. Тидвелл Д. Разработка пользовательских интерфейсов. — СПб.: Питер, 2008. — 416 с.
4. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для ВУЗов. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 — 336 с.
5. Левитин А. В. Алгоритмы — введение в разработку и анализ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. — 576 с.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR THE FORMATION OF A TECHNOLOGICAL DATABASE IN SQL BASED ON SPM

A. O. Butko

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

The article discusses the features of the development of software tools for the transformation of technological data structures in order to obtain the possibility of storing large amounts of information on complex technical products. Previously, this problem was solved on the basis of different technologies that provide different levels of accuracy and reliability. The main feature of the proposed solution is the use of modern development environments and DBMS based on libraries. The presented module can be used in any design and production area that requires the storage of large amounts of technological data.

Keywords: automation, programming, integration, engineering calculations, normalization, modeling, structural modeling, parametric modeling, databases.

Бутко Антон Олегович, доцент.
E-mail: mati-tias@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 5 мая 2022 г.

УДК 004.896

DOI: 10.52190/2073-2597_2022_4_50

EDN: GJOQZA

СОЗДАНИЕ МОДУЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ТЕКСТОВ ТРЕБОВАНИЙ

О. В. Жданова

Акционерное общество «Прорыв», Москва, Россия

О. Н. Столяров

Акционерное общество «Атомэнергoproject», Москва, Россия

Представлено первое промышленное применение метода TF-IDF в России для проектной инженерной деятельности. Описан разработанный авторами модуль интеллектуального сравнения текстов, которое АО "Прорыв" использует в своей повседневной деятельности при работе с требованиями. Для понимания того, как работает данный модуль и почему выбор был сделан в пользу одного из способов сравнения текстов, приведен обзор и сделан анализ методов сравнения текстов.

Ключевые слова: система управления требованиями, метод сравнения текстов, интеллектуальный поиск похожих требований.

Процесс управления требованиями с каждым годом становится все более востребованным. Связано это с развитием техники и технологий, а также с усложнением инженерных объектов и повышением требований к ним с точки зрения промышленной и экологической безопасности. Чем сложнее объект, тем больше требований технических заданий (ТЗ) и нормативно-технических документов (НТД) к нему предъявляется. ТЗ и НТД являются источниками требований, которые контролируются в информационных системах управления требованиями (ИСУТ). Из всех НТД в ИСУТ загружаются требования тех нормативных документов, которые влияют на получение лицензий и других видов разрешений регуляторов, этому требуют подтверждения их выполнения в проектной и конструкторской документации. В качестве подтверждения актуальности темы управления требованиями можно привести выход в 2020 г. ГОСТ Р 59194-2020 "Управление требованиями. Основные положения".

Крупные проекты содержат десятки тысяч требований и многоуровневую иерархию ТЗ, поэтому для учёта требований используются специализированные ИТ-системы. Одной из задач, которую надо решать при работе с требованиями, является дублирование или различные варианты изложения одной и той же идеи среди большого разнообразия требований для сотрудников разных инженерных специальностей, участвующих в реализации ТЗ. Еще одной задачей является устранение практики копирования требований из разных документов, включая нормативные, с последующим включением в состав разрабатываемых технических заданий. Данные задачи невозможно решить путем привлечения экспертов, поскольку требования имеют большой объем и сложность, поэтому необходим автоматизированный интеллектуальный анализ.

В поддержку ГОСТ Р 59194-2020 и инженерной деятельности для решения указанных задач в АО "Прорыв" был разработан импортонезависимый модуль интеллектуального сравнения текстов требований, основанный на методе TF-IDF, впервые примененный в инженерной практике.

Обзор методов автоматизированной обработки текстов

Для решения задачи по разработке модуля интеллектуального сравнения текстов требований необходимо было выбрать метод автоматизированной обработки текстов. Каждый из методов создавали для решения конкретных задач, поэтому имеет свои особенности, изучение которых позволило сделать выбор в пользу одного из них.

Задача автоматизированной аналитической обработки больших объёмов текстовой информации является очень востребованной. Для работы с текстами применяются различные методы, среди которых:

- *Bag of words* (мешок слов);
- *Character n-grams* (схожие словосочетания);
- *Deep IR* (с использованием искусственного интеллекта);
- *TF-IDF* (частота использования).

Метод Bag of words

Bag-of-words — это самый простой и доступный способ, основанный на сравнении текстов как набора неупорядоченных слов.

Bag-of-words представляет текст как набор слов без учета их взаимного расположения и взаимных связей. При использовании этого метода семантическая близость двух текстов (двух наборов слов) оценивается по количеству совпа-

дающих слов. Это означает, что два текста, в которых мало общих слов или вообще нет, считаются семантически и тематически разными. Игнорирование семантических связей между словами — главный недостаток метода *Bag-of-words*. Другой важный недостаток метода в том, что тексты как наборы слов проецируются в пространство высокой размерности и высокой разреженности, что обусловлено объемом используемого словаря [1].

Метод Character n-grams

N-грамма — это последовательность из *n* элементов (звуков, слогов, слов или символов), идущих в тексте подряд [1]. По своей сути это может быть последовательность чего-угодно, но на практике чаще встречаются *N*-граммы как последовательности слов.

Преимуществами алгоритмов, построенных на модели *N*-граммы, являются их простота и масштабируемость. *N*-граммы часто используются в следующих задачах: выявление авторства и плагиата; выдача подсказок следующего слова (например в поисковой строке); поиск и коррекция ошибок [1].

Эффективность использования *N*-грамм для установления авторства доказана в статье [2]. Авторы отмечают языковую независимость *N*-грамм, что позволяет применять их к любому языку без дополнительных усилий.

В целях выявления плагиата метод *N*-грамм используют для обнаружения упорядоченной последовательности из двух и более слов [3]. Если разделить текст на несколько небольших фрагментов, представленных *N*-граммами, их легко сравнить друг с другом и таким образом получить степень сходства анализируемых документов.

Для предугадывания слова используют модели расчета вероятности последнего слова *N*-граммы, если известны все предыдущие. При использовании этого подхода для моделирования языка предполагается, что появление каждого слова зависит только от предыдущих слов [3].

N-граммы часто успешно используются для категоризации текста и языка. Кроме того, их можно использовать для создания функций, которые позволяют получать знания из текстовых данных [3].

Метод Deep IR

Deep IR — набор алгоритмов, которые облегчают соответствие отображаемых документов искомым запросам, т. е. метод работает для сортировки и ранжирования документов на основе запросов пользователя [4]. Недостатком этого метода является необходимость обучения на больших объемах данных. Кроме того, сформированный в итоге обучения алгоритм являет-

ся "черным ящиком" с непредсказуемым результатом (понятие предложено У. Р. Эшби [5]).

На данный момент все существующие формы искусственного интеллекта являются ограниченными, т. е. способны решать исключительно конкретные, практические задачи и не могут соревноваться с человеческим разумом в универсальности [6].

Метод TF-IDF

TF-IDF — статистический метод количественной оценки слов в наборе документов. При обработке текста используют оценку важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов. Вес каждого слова пропорционален частоте употребления этого слова в документе и обратно пропорционален частоте употребления слова во всех документах коллекции [7].

В литературе отмечается, что метод *TF-IDF* часто используется в задачах анализа текстов и информационного поиска, например как один из критериев релевантности документа поисковому запросу и при расчете меры близости документов при кластеризации. Такой метод даёт возможность сопоставить тексты путем сравнения векторов в какой-либо метрике и задавать степень сходства.

Из всех приведенных выше методов *TF-IDF* является наиболее точным для решения задач, стоящих перед организацией в процессе управления требованиями. И это не теоретическое рассуждение. В ходе разработки модуля интеллектуального сравнения текстов требований были выполнены тестовые испытания указанных методов, и наиболее точные результаты были получены с использованием метода *TF-IDF*, именно поэтому он и вошел в конечную реализацию модуля для ИСУТ. В АО "Прорыв" данный метод впервые применен для проектной инженерной деятельности.

Особенности работы с модулем интеллектуального сравнения текстов требований

Модуль интеллектуального сравнения текстов требований разработан для контроля идентичности требований, выявления скопированных текстов НТД и ТЗ. Модуль не является отдельным программным обеспечением, он разработан под конкретную архитектуру и базу данных ИСУТ, является дополнительной сервисной функцией информационных систем управления требованиями.

Модуль сравнения текстов требований используется участниками проекта каждый раз, когда разрабатывается новое техническое задание и перед его утверждением по аналогии с проверкой текстов статей. Например, статью на антиплагиат проверяют до того, как ее опубликуют. Так и текст нового ТЗ проходит сравне-

ние с текстами ранее утвержденных ТЗ и размещенных в ИСУТ, при этом модуль проверяют текст нового ТЗ на отсутствие противоречий и повторов уже выдвинутых требований в ранее утвержденных ТЗ, а также проверяют отсутствие скопированных из НТД требований. Там, где это необходимо, ТЗ могут содержать ссылки на пункты НТД, но не сами фрагменты текста. Таким образом, еще до утверждения ТЗ исключается лишнее дублирование, противоречия и прямое цитирование нормативных документов. Окончательный вывод по результатам автоматизированного сравнения текстов требований делает эксперт. Результаты проверки позволяют еще на стадии разработки документа обеспечить требуемое качество ТЗ. Если указанные проблемы возникнут в ходе исполнения ТЗ, то это приведет к увеличению сроков работ, так как до прояснения ситуации с требованиями часть работ будет приостановлена. Кроме того, процесс внесения изменений в ТЗ является сложной и длительной бюрократической процедурой. Таким образом, использование модуля ИСУТ непосредственно влияет на качество технических заданий и обеспечивает согласованность требований во всех ТЗ по проекту.

Модуль позволяет сравнивать тексты двумя способами. Первый способ — целиком по требованию. Из названия метода понятно, что минимальным фрагментом текста является весь текст исходного требования, т. е. сравнению подвергаются полные тексты требований анализируемых документов. Второй способ сравнения — по предложениям. В этом варианте требования исходного документа разбиваются на предложения и сравниваются с каждым предложением в каждом требовании анализируемых документов. Первый способ сравнения рекомендуется использовать для документов, созданных из общего шаблона или разных версий одного документа. То есть в тех случаях, когда разметка текста на требования выполнена одинаково. Для таких документов можно решать и обратную задачу — поиска различий в требованиях. Второй способ сравнения более ресурсозатратный и требует

большого компьютерного времени. Его рекомендуется использовать для документов разных структур и с разными подходами по разметке текстов на требования.

Модуль сравнения текстов разработан таким образом, что позволяет повысить скорость обработки текстов за счет опции исключения из анализа текстов заголовков, параграфов и других элементов структуры документа. При этом та часть классификации фрагментов ТЗ, которая относится к содержательной части документа, не может быть исключена из анализа. Это сделано специально для того, чтобы избежать ситуации с ошибками классификации, когда схожие тексты в одном документе классифицированы как требование, а в другом — как пояснительный текст. Сравнение текстов требования характеризуется параметром "степень сходства", который может варьироваться от 1 % до 100 %, а в модуле задается через десятичную дробь в диапазоне от 0 до 1. Если требуется найти совпадения текстов, то, как правило, выбирается условие: БОЛЕЕ 0,8 (значение параметра 0,8 говорит, что степень совпадения должна быть 80 % или более).

Таким образом, для поиска совпадающих текстов задается нижняя граница сходства. Каждый раз при запуске модуля сравнения текстов специалист задает нужную ему в текущий момент степень сходства. Если степень сходства не указана, то используется минимальная степень — 80 %, заданная в модуле по умолчанию.

Необходимо отметить, что оптимальная степень совпадения была установлена опытным путем, при тестировании модуля задавались различные значения, что позволило сравнить и оценить полученные результаты. В итоге установлено, что оптимальный параметр схожести текстов равен 0,8.

На стартовой странице модуля пользователь задает исходные данные и запускает функцию сравнения текстов (рис. 1).

По окончании выполнения функции сравнения пользователь автоматически перенаправляется на страницу результата (рис. 2).

Рис. 1. Страница "Сравнения текстов"

Сравнение текстов		
Результат сравнения текстов		
Результат одним файлом: скачать		Новый запрос
Метод сравнения: sentence		
Степень схожести: 0.8		
Игнорирование заголовков: True		
Таблица результатов сравнения		
Код	Текст	Степень схожести
NEW.7.0010-6.1-0070-R	Для промплощадки АЭС должны быть предусмотрены системы пожаротушения: система общестанционного противопожарного водоснабжения; система водяного пожаротушения для вспомогательных зданий и сооружений; система автоматических установок водяного пожаротушения для основных зданий и сооружений энергоблока	1
BRST.3.0010-4.2.9.6.1-0010-R	Для промплощадки АЭС должны быть предусмотрены следующие системы пожаротушения: система общестанционного противопожарного водоснабжения - SGA; система автоматических установок водяного пожаротушения для вспомогательных зданий и сооружений - SGC; система автоматических установок водяного пожаротушения для основных зданий и сооружений энергоблока - SGD; система автоматических установок газового пожаротушения - SGE; системы пожаротушения тонкораспыленной водой - SGB.	0.85
-	-	-
NEW.7.0010-6.1-0070-R	Системы пожаротушения должны проектироваться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов Российской Федерации.	1
BRST.3.0010-4.2.9.6.1-0020-R	Системы пожаротушения должны проектироваться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.	0.867
-	-	-
NEW.7.0010-6.1-0070-R	Системы пожаротушения при ложном срабатывании не должны вызывать повреждения других систем, оказывать вредное воздействие на защищаемое оборудование и персонал станции.	1
BRST.3.0010-4.2.9.6.1-0030-R	Системы пожаротушения при ложном срабатывании не должны вызывать повреждения других систем, оказывать вредное воздействие на защищаемое оборудование и персонал станции.	1
-	-	-

Рис. 2. Страница результата выполнения функции "Сравнения текстов"

Результатом работы модуля является отчет о сравнении текстов, который выводится в табличном виде. В отчет попадают только те результаты сравнения, которые соответствуют заданным условиям сходства. Первым в отчете отражается исследуемый фрагмент идентифицированного текста с его уникальным кодом, под ним все найденные схожие тексты с их уникальными номерами, в третьем столбце указана степень сходства текущего текста с исходным. Сравнение закачивается строкой с прочерком. Далее идет следующее сравнение. Сортировка записей в отчете выполняется по порядку изложения исследуемого текста.

Страница с результатами сравнения содержит также две ссылки: ссылку для сохранения результатов сравнения на локальный компьютер пользователя и ссылку для запуска нового сравнения.

Заключение

Мировая тенденция к цифровой трансформации и реализация сложных уникальных проектов требуют не просто наличия актуальной базы проектных требований, но и обеспечения качества, достоверности, актуальности данных.

Проект "Прорыв" — единственный проект, где информационная система управления требованиями дополнена модулем интеллектуального сравнения текстов требований. Важно иметь такой инструмент для системы управления требованиями, так как он позволяет не только

обеспечить их хранение в системе данных и оперативно отслеживать изменения, но и проводить более сложный интеллектуальный анализ. В целом, все эти усилия снижают трудоемкость процессов, сокращают количество ошибок и повышают качество проектирования.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта № Н.40.24 1.19.21.1097 от 26.04.2021 при поддержке Российской Федерации, от имени которой выступает Госкорпорация "Росатом".

Литература

1. Что такое N-граммы и с чем их едят? [Электронный ресурс] URL: <https://sysblok.ru/knowhow/chto-takoe-n-grammy-i-s-chem-ih-edjat/> (дата обращения: 20.10.2022).
2. Kruczek Jakub, Kruczek Paulina, Kuta Marcin. Are n-gram Categories Helpful in Text Classification? // Computational Science — ICCS 2020, 20th International Conference, Amsterdam, The Netherlands, June 3–5, 2020, Proceedings. Part II. P. 524–537.
3. Pooja Ahuja, Pratima Sharma. Deep Information Retrieval Using N-Gram (Query Interface) // International J. Engineering and Management Research. 2014. V. 4. Is. 3. P. 279–283.
4. Rohit Sharma. Information Retrieval System Explained: Types, Comparison & Components [Электронный ресурс]. URL: <https://www.upgrad.com/blog/information-retrieval-system-explained/> (дата обращения: 20.10.20).

5. *Ashby W. Ross*. An introduction to cybernetics [Электронный ресурс]. Chaman&Hall LTD, London, 1957. URL: <https://towardsdatascience.com/tf-idf-for-document-ranking-from-scratch-in-python-on-real-world-dataset-796d339a4089> (дата обращения: 20.10.2022).

6. *Семенов А.* Как искусственный интеллект повлиял на поисковые системы [Электронный ресурс].

URL: <https://www.uplab.ru/blog/artificial-intelligence/> (дата обращения: 20.10.2022).

7. *Scott William*. TF-IDF from scratch in python on a real-world dataset [Электронный ресурс]. URL: <https://towardsdatascience.com/tf-idf-for-document-ranking-from-scratch-in-python-on-real-world-dataset-796d339a4089> (дата обращения: 20.10.2022).

SIMILAR REQUIREMENTS INTELLIGENT SMART SEARCH MODULE

O. V. Zhdanova

"Proryv" Joint Stock Company, Moscow Russia

O. N. Stolyarov

"Atomenergoproekt" Joint Stock Company, Moscow Russia

The article presents the first industrial application of the TF-IDF method in Russia for design engineering activities. The module of intelligent text comparison developed by the authors, which Proryv JCS applies daily for requirement management, is described. To understand how this module works and why the decision has been done on behalf of certain one among the existing plurality an overview of text comparison methods is specified in the article for reference only.

Keywords: requirements management system, text comparison method, intelligent smart search.

Жданова Оксана Валерьевна, начальник отдела развития информационной модели и системы управления требованиями ЗЯТЦ.

E-mail: zhdov@proryv2020.ru

Столяров Олег Николаевич, начальник управления научно-технологического обеспечения проектирования АЭС.

E-mail: Stolyarov_ON@aep.ru

Статья поступила в редакцию 22 сентября 2022 г.

УДК 65.011.56

DOI: 10.52190/2073-2597_2022_4_55

EDN: GUJTCS

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ВЕДОМОСТИ МАТЕРИАЛОВ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В 1С:PLM

Е. С. Кузнецова; И. А. Орлов; П. Е. Чукин
АО «НИИ «Субмикрон», Москва, Зеленоград, Россия

Рассмотрена возможность автоматизации учета материалов для изготовления изделий специальной техники. Разработан алгоритм формирования данных для учета материалов. Представлен вариант автоматизации создания ведомости материалов из технологической электронной структуры изделия в 1С:PLM. Отмечены преимущества использования разработанного решения.

Ключевые слова: ведомость материалов, технологические отчеты, 1С:PLM, автоматизация создания технологической документации.

При разработке и подготовке производства изделий спецтехники важную роль играет не только правильно разработанная конструкторская документация (КД), но и технологическая документация (ТД). С появлением возможности использования электронной КД по ГОСТ 2.051-2013 [1], возникла потребность в электронной ТД, стандарты на которую не изменялись в части электронной документации с 2011 г.

Цель работы — показать как можно уменьшить число ошибок при выборе и учёте материалов на изделие. Для достижения поставленной задачи необходимо автоматизировать процесс разработки ведомости материалов. В сфере автоматизации разработки КД существует множество решений от отечественных разработчиков программ, таких как 1С:PLM, ЛОЦМАН:PLM, T-FLEX PLM, ИНТЕРМЕХ PLM, Союз-PLM и др.

Рассмотрим автоматизацию процесса создания ведомости материалов изделий специальной техники на базе системы 1С:PLM. Выбор этой автоматизированной системы обусловлен экономической целесообразностью и сложившимся информационным ландшафтом субъекта исследования — АО «НИИ «Субмикрон». В организации внедрены пять систем на платформе 1С:Предприятие 8.3: 1С:PLM, 1С:УПП, 1С:Документооборот, 1С:Зарплата и управление персоналом, 1С:Бухгалтерия. Система 1С:PLM имеет обширный функционал для интеграции с другими информационными системами (ИС) 1С:Предприятие 8.3, в то время как стоимость проекта внедрения продуктов-аналогов можеткратно увеличить расходы бюджета ИТ департамента.

В информационных системах есть возможность создавать электронную структуру изделия (ЭСИ) и формировать из нее конструкторские отчеты в соответствии с требованиями ГОСТ 2.053-2013 [2], позволяющим использовать конструктивную ЭСИ в качестве основного кон-

структорского документа [3]. Однако при автоматизации разработки ТД возникают проблемы, в том числе в части стандартизации.

Особенно важной является проблема создания ТД сложных изделий специальной техники. При традиционной разработке ТД не предусмотрено ее автоматическое взаимодействие с КД, планирование материалов осуществляется вручную с использованием данных, полученных из маршрутной карты, спецификации и сборочного чертежа изделия. При таком планировании получаются дополнительные риски возникновения ошибок, связанные с влиянием человеческого фактора при разработке технической документации и усложнением учета в ней изменений, проводимых в конструкторской документации [4].

Планирование учета материалов

Рассмотрим учет материалов на примере ведомости материалов (ВМ), разрабатываемой по ГОСТ 3.1123-84 [5]. В соответствии с требованиями стандарта [5], ВМ может быть разработана как на составные части изделия, так и на всё изделие целиком.

При выпуске ВМ на изделие в целом, необходимо учесть все используемые материалы при его изготовлении. Материалы, указанные в КД, учитываются в конструктивных ЭСИ, где в соответствии с ГОСТ 2.503-2013 [6] также отражается информация об изменениях при выпуске извещений об изменении (ИИ). Остальные материалы, используемые в изготовлении изделия, учитываются на основании маршрутных карт изделия и сборочных чертежей.

Например, на изделие, состоящее из 10 составных частей и 74 сборочных единиц, может быть разработано более 10 маршрутных карт только на его составные части. Технологические документы могут быть разработаны и для каж-

дой сборочной единицы. В соответствии с ГОСТ 3.1118-82 [7], маршрутные карты можно объединить в ведомость технологических документов. При выпуске извещения об изменении на КД, изменения в маршрутных картах сборочных единиц необходимо отслеживать вручную или с использованием электронных таблиц, что повышает риск возникновения ошибок в ведомости материалов на изделие.

Разработка ЭСИ-Т в 1С:PLM

Существующий процесс создания технологической документации заключается в том, что сначала ТД передается в архив организации, а потом из нее формируется производственно-технологическая ЭСИ (ЭСИ-Т). Любое изменение технологической документации отражается в ИС организации в последнюю очередь. При этом высока вероятность возникновения ошибок в ТД из-за влияния человеческого фактора, что существенно увеличивает общее время применения изменений, ухудшает качество ТД и не позволяет использовать доступные возможности ЭСИ-Т в маршруте проектирования.

В ГОСТ 2.053-2013 описана возможность создания ЭСИ-Т, но ее состав и содержание не регламентированы. Стандарты на ЭСИ содержат недостаточное количество данных для использования этого инструмента при разработке изделий. Особая сложность в интеграции технологий в производственный процесс заключается в том, что стандарты обновляются реже, чем появляются новые технические решения. Это усложняет процесс перехода к новым технологиям, особенно при производстве изделий под контролем государственного заказчика. Задержка при внедрении современных технологий

в производственный процесс влечет за собой увеличение расходов на этапе производства.

Рассмотрим возможность формирования производственно-технологической ЭСИ с помощью автоматизированной системы на примере планирования материалов при изготовлении изделий. Предлагается изменить процесс создания технологической документации и перенести работу технолога в 1С:PLM (рис. 1). Маршрут изготовления изделия создается из нормативно-справочной информации (НСИ) и ЭСИ, в которой учтены извещения об изменении (их необходимо также проводить внутри ИС). ЭСИ-Т формируется из автоматически созданных маршрутов, справочника технологических операций (ТО), инструментов, материалов и конструктивных ЭСИ. Из ЭСИ-Т возможно генерировать технологические отчеты. По результатам согласования они становятся технологической документацией, в состав которой входит ведомость материалов. ТД соответствует нормативным документам и может быть заложена в архив организации. Благодаря формированию ТД на изделия в 1С:PLM, повышается актуальность и информативность ЭСИ-Т.

Сформированная в системе ВМ используется для дальнейшего обеспечения материалами процесса изготовления изделия. При автоматизированном создании ведомости материалов, в ее составе автоматически учитывается вся информация из всех ЭСИ-Т на изделие.

При выпуске извещения об изменении на любую составную часть изделия, информация об изменениях отражается в ЭСИ-Т, и есть возможность создания актуальной ведомости материалов в виде технологического отчета без ручной коррекции количества материалов, т. е. ВМ создается с минимальным участием разработчика.

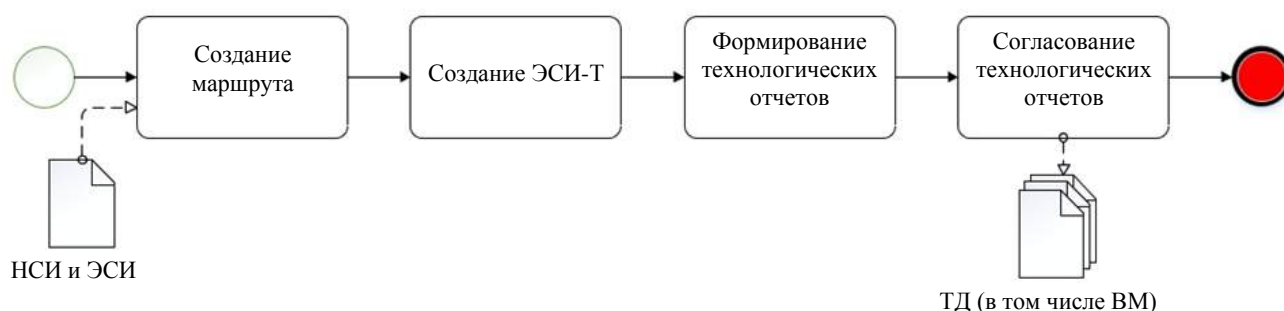


Рис. 1. Процесс формирование ТД на изделия в 1С:PLM

Создание конструкторско-технологического справочника

При работе с любой ИС важна качественная нормативно-справочная информация. В частности, для создания ТД в 1С:PLM необходим справочник технологических операций и конструкторско-технологический справочник (КТС), информация в котором должна отображать оборудование, инструменты и материалы, используемые при изготовлении изделия (рис. 2).

Процедура пополнения КТС и ТО в 1С:PLM формализована, разработан регламент работы с ними. Администратор ИС осуществляет введение баз данных КТС и ТО, актуализацию информации и контроль за ее правильностью. В соответствии с регламентом, заявки на внесе-

ние информации поступают напрямую администратору, который обрабатывает их в установленный регламентом срок. Администрирование баз данных КТС и ТО позволяет унифицировать отображение информации и избежать дублирования и неправильной записи, так как важно, чтобы информация в конструкторско-технологическом справочнике и справочнике технологических операций соответствовала требованиям нормативных документов.

Процесс создания маршрутов также унифицирован за счет их построения из элементов КТС и справочника ТО. Разработку маршрутов и ЭСИ-Т осуществляют технологи. Пример фрагмента маршрута изготовления изделия, созданного из справочников, представлен на рис. 3.

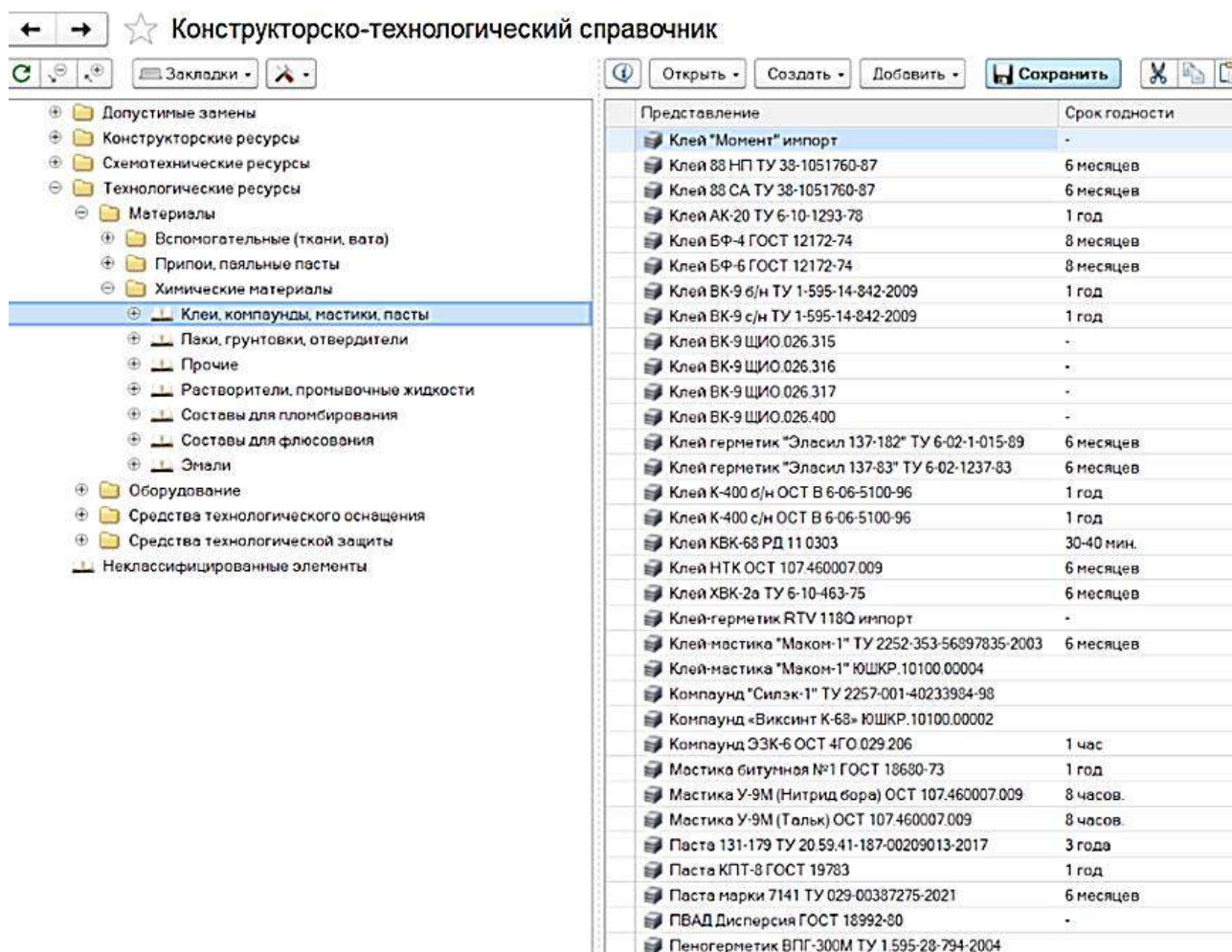


Рис. 2. Пример структуры КТС в 1С:PLM

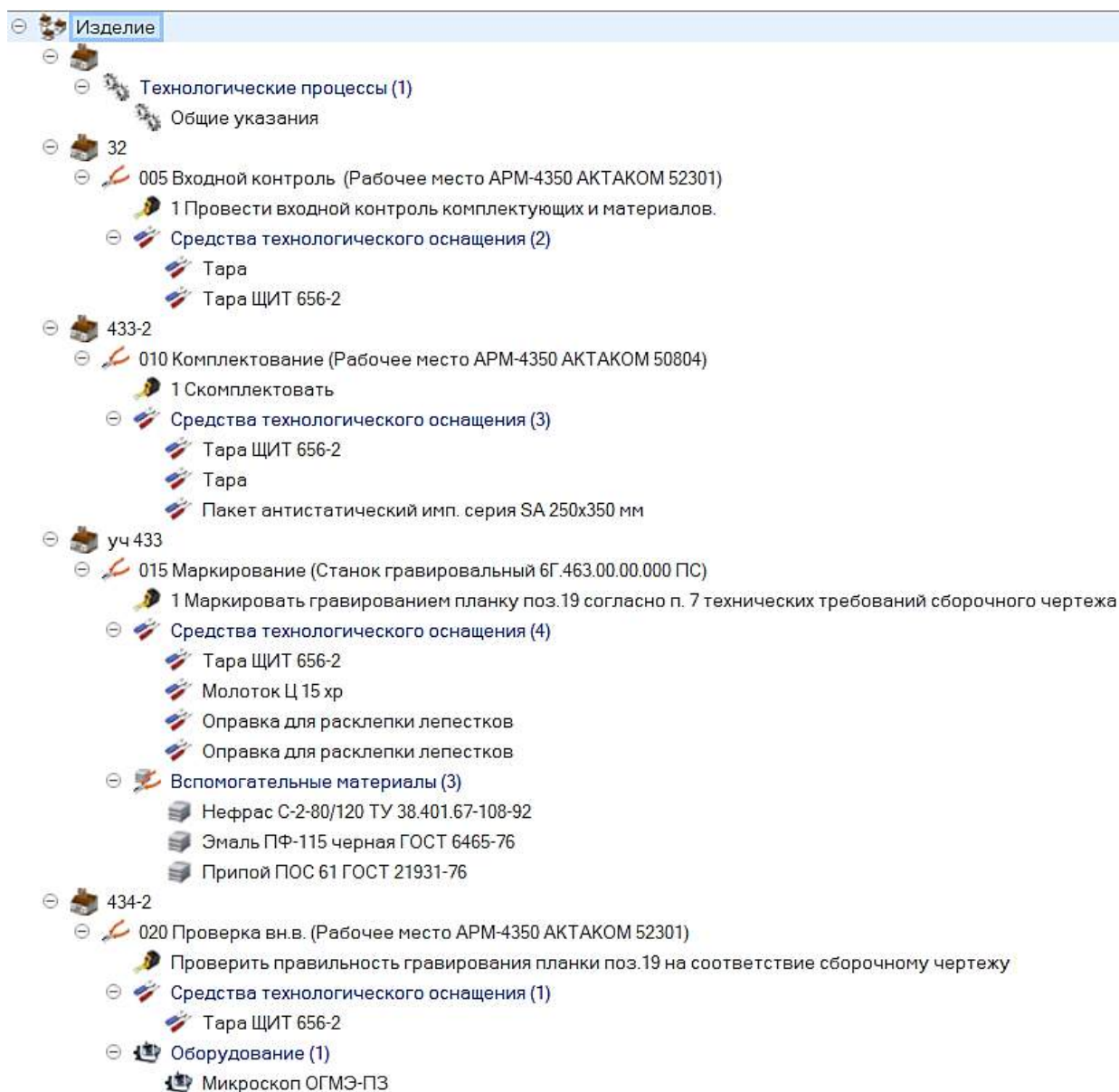


Рис. 3. Пример фрагмента маршрута изделия в системе 1С:PLM

Заключение

Предложенное решение позволяет автоматически формировать плановое количество материалов, необходимых для изготовления изделия. Уменьшается риск возникновения ошибок. Ведомость материалов, созданная в автоматизированной системе 1С:PLM, удовлетворяет требованиям нормативной документации, а данные, полученные и объединенные в ЭСИ-Т, подходят для их использования в системах ERP-класса на следующих этапах жизненного цикла изготовления изделий.

Литература

1. ГОСТ 2.051-2013 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие

положения [Электронный ресурс]. URL: <http://eskd.ru/> (дата обращения: 21.07.22).

2. ГОСТ 2.053-2013 Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения [Электронный ресурс]. URL: <http://eskd.ru/> (дата обращения: 21.07.22).

3. Кузнецова Е. С., Орлов И. А., Чукин П. Е., Хасанов Р. Ш. Автоматизация контроля конструкторской документации методом перехода к электронной структуре изделия: мат. науч.-практ. конф. "Стандартизация оборонной продукции". 2021. С. 110—114.

4. Яблочников Е. И., Молочник В. И., Фомина Ю. Н. Рейнжиниринг бизнес-процессов проектирования и производства: учебн. пос. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.

5. ГОСТ 3.1123-84 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления технологических документов, применяемых при нормировании расходов материалов [Электронный ресурс]. URL: <http://eskd.ru/> (дата обращения: 21.07.22).

6. ГОСТ 3.1118-82 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт [Электронный ресурс]. URL: <http://eskd.ru/> (дата обращения: 21.07.22).

7. ГОСТ 2.503-2013 Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений [Электронный ресурс]. URL: <http://eskd.ru/> (дата обращения: 21.07.22).

AUTOMATION OF CREATING A BILL OF MATERIALS FOR SPECIAL EQUIPMENT PRODUCTS IN 1C:PLM

E. S. Kuznetsova, I. A. Orlov, P. E. Chukin
JSC "Research Institute "Submicron", Moscow, Zelenograd, Russia

The article presents the possibility to automatize the accounting of materials for the manufacture of special equipment products. For this purpose, an algorithm for generating data has been developed. The study offers a way to automatize the creation of a bill of materials from the technological electronic structure of the product in 1C:PLM. Particular attention is given to the advantages of using the developed solution.

Keywords: bill of materials, technology reports, 1C:PLM, technology documents automation.

Кузнецова Елена Станиславовна, ведущий инженер-конструктор.

E-mail: e.s.kuznetsova@inbox.ru

Орлов Игорь Алексеевич, начальник отдела информационных технологий.

E-mail: iaorlov@se.zgrad.ru

Чукин Петр Евгеньевич, инженер 2 категории.

E-mail: Pe-chukin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12 сентября 2022 г.

БЛАНК-ЗАКАЗ НА ПОДПИСКУ 2023 г.
на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

Наименование издания	Индекс издания (количество выпусков в год)	Цена 1 экз., руб.	Кол-во выпусков в год	Общая сумма, руб.
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России	4	1600,00		
Конструкции из композиционных материалов	4	1750,00		
Экология промышленного производства	4	1600,00		
Информационные технологии в проектировании и производстве	4	1800,00		
Вопросы защиты информации	4	1800,00		
В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.				

Поставка журналов подписчикам через издательство осуществляется почтовыми бандеролями с приложением всех необходимых бухгалтерских документов.

Наши реквизиты:

Полное наименование организации: _____

Сокращенное наименование организации: _____

ИНН/КПП _____

ОКПО _____

Расчётный счёт № _____ в _____

к/с _____ БИК _____

Юридический адрес: _____

Почтовый адрес: _____

Контактное лицо _____ тел. _____

E-mail: _____

(Для оформления счёта и бухгалтерских документов просьба заполнить все строчки).

Справочно:

Заполненный бланк-заказ просьба отправить по факсу: 8(495) 491-44-80 или

E-mail: secretariat@ntckompas.ru

Более подробную информацию об изданиях и подписке можно получить по телефону:

8 (495) 491-43-17

E-mail: ivleva@ntckompas.ru

Адрес редакции: 125424, Москва, Волоколамское шоссе, д.77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».