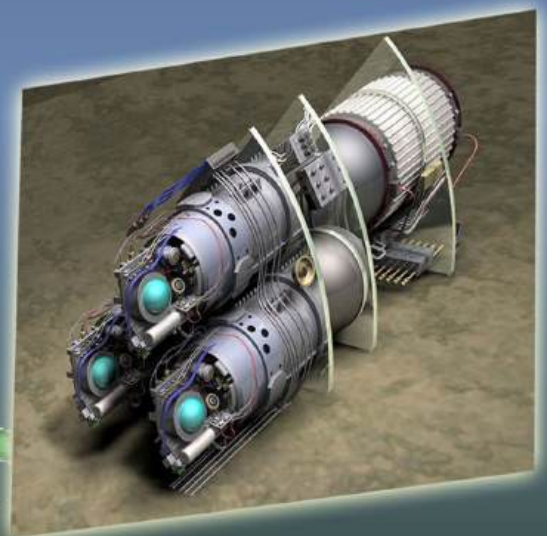
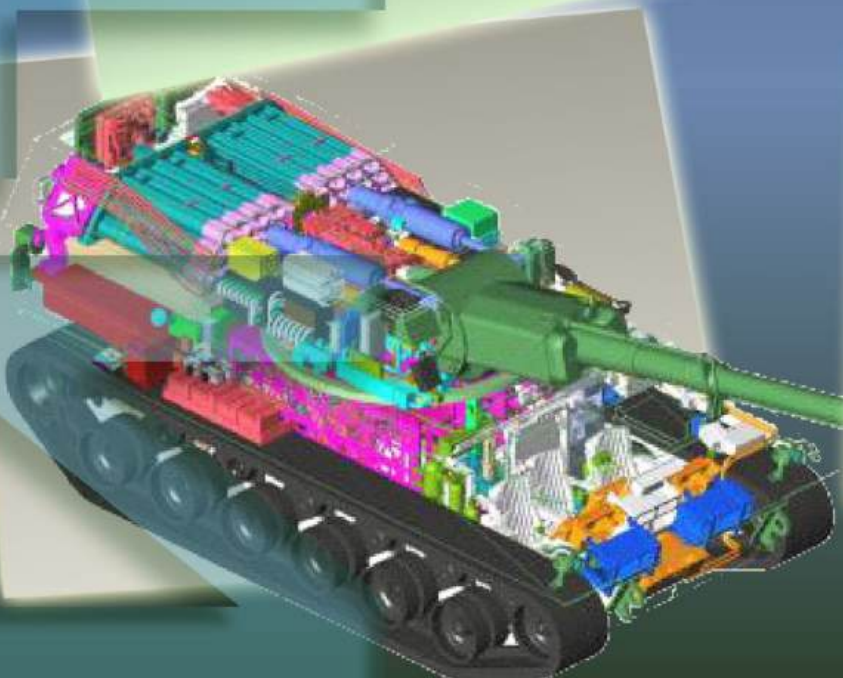
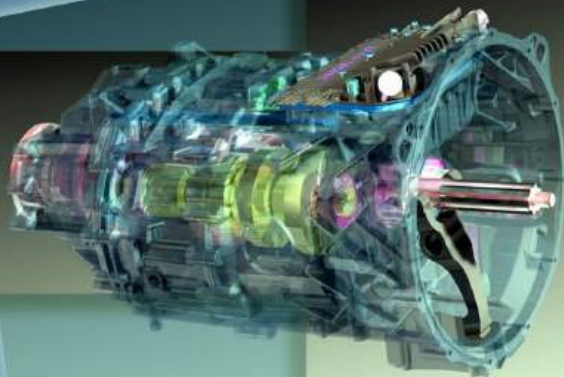
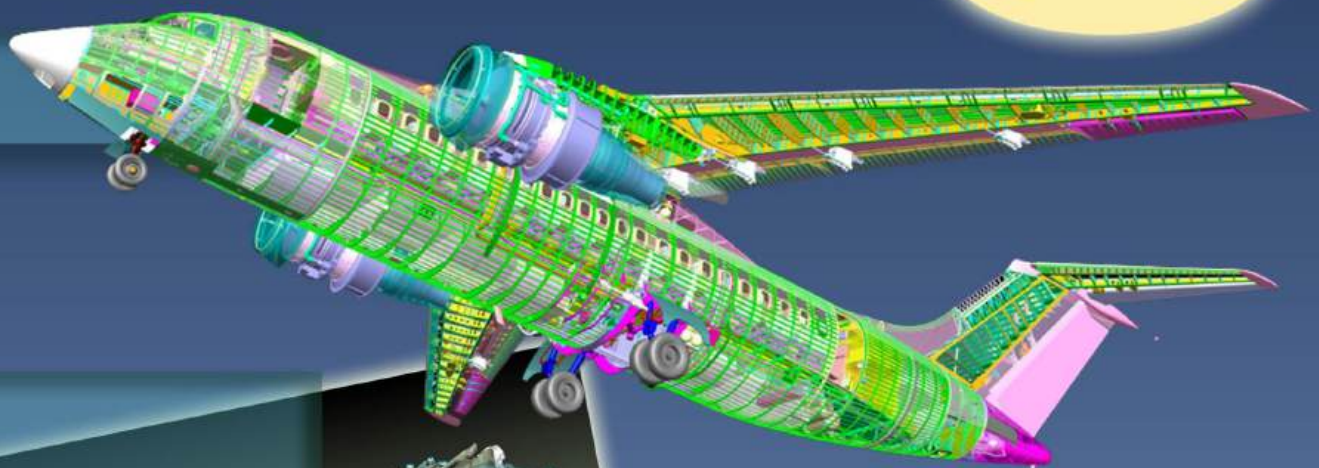


# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

в проектировании и производстве

№ 2' 2021





## 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](mailto:izdanie@ntckompas.ru)



# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

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

## № 2 (182) 2021

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1976 г.

### Главный редактор

И. А. Шеремет, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по научной работе

### Заместитель главного редактора

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

### Ответственный секретарь

Г. П. Глотова, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

### Редакционная коллегия:

В. В. Бордюже, д-р техн. наук, проф., Координационный совет по информационным технологиям предприятий ОПК РФ; А. И. Громов, канд. хим. наук, НИУ «Высшая школа экономики»; 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 «НИИАА»; 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., Вычислительный центр им. А. А. Дородницына; П. О. Скобелев, д-р техн. наук, НАО «Группа компаний «Генезис знаний», СамГТУ; В. В. Соколин, 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 CALS-технологий «Прикладная логистика»; А. В. Цырклов, 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. Баумана; Е. И. Шульгин, д-р техн. наук, НИЦ при президиуме АИИ им. А. М. Прохорова

☎ редакции (495) 491-43-17  
E-mail: izdanie@ntckompas.ru  
http://ntckompas.ru

### Информационные технологии

в проектировании и производстве:

Науч.-техн. журн./ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2021.  
№ 2 (182). С. 1—56.

Редактор О. А. Константинова  
Компьютерная верстка: Н. В. Ильина,  
К. В. Трыкина

Подписано в печать 14.05.2021.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 6,5. Уч.-изд. л. 6,7.

Заказ 1970. Тираж 250 экз.

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

Отпечатано: 101000, Москва,

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

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 79378. 9 страниц.

Статьи рецензируются.

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

### Инновационные технологии решения задач проектирования, моделирования и производства

- Бутко А. О. Особенности процессов моделирования в современных комплексных системах..... 3
- Долганов А. Е., Гавров К. Е., Сумароков С. В., Новосельский Ф. О. Применение технологий обработки больших данных при моделировании работы обслуживания АЭС ..... 10
- Колошкина И. Е. Оптимизация режимов контурного фрезерования при программировании для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) в САМ-системе ..... 15
- Коган Ю. Г., Пителинский К. В., Щербина А. А. Взаимодействие систем классов ERP, APS и MES в управлении производством: применение модифицированных раскрашенных сетей Петри для решения проблем в организации обмена данными ..... 20
- Сумароков С. В., Гусев М. В., Кечков А. А., Новосельский Ф. О., Грошев Т. А., Комиссаров К. В., Белокрылов П. Ю., Повереннов Е. Ю. Визуализация результатов вычислений в онлайн-режиме в системе "Урания" ..... 25
- Сергеев А. И., Кондусова В. Б., Кондусов Д. В., Цыркаев А. А. Автоматизация проектирования карты наладки режущего инструмента средствами прикладного программного интерфейса NX OPEN ..... 30

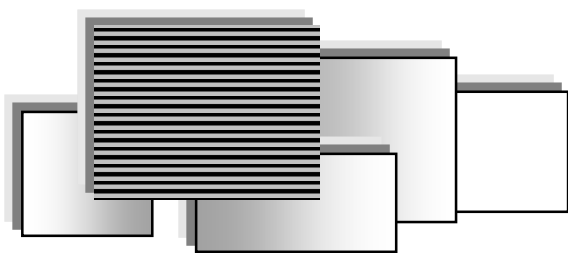
### Прикладные задачи применения информационных технологий

- Кондратьев С. Е., Ульянин О. В., Абакумов Е. М. Применение методов компьютерного зрения и машинного обучения для распознавания технических требований на 2D-чертежах..... 35
- Захарова А. С., Корчагин А. И., Фатхудинов Т. М., Журавлева Л. В. Формализация информации по прототипам эскизно-конструкторской документации изделий электронной техники для сборки электронной аппаратуры..... 44
- Кавандин Д. Е., Прудников В. А. Сравнительный анализ популярных инструментов для разработки SPA веб-приложений и использование фреймов в корпоративной информационной системе ..... 49

# **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 РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

УДК 681.518.2

DOI: 10.52190/2073-2597\_2021\_2\_3

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ

А. О. Бутко, канд. техн. наук

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

*Рассматриваются и сравниваются особенности моделирования технических автоматизированных изделий с использованием современных систем автоматического проектирования (САПР), в одной из которых реализован расширенный функционал моделирования технологии в инвариантной среде моделирования с применением программных средств, позволяющих выполнять нормирование и формировать предварительные проекты производства в системах управления проектами в автоматическом режиме. В основу положена упрощенная модель объекта, разрабатываемая в лингвистической среде моделирования. Комплекс представленных программ может быть использован в любой проектной работе, которая требует решения задач нормирования, планирования в рамках системы.*

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

Проведено сравнение процессов моделирования в комплексных системах Siemens NX, Teamcenter (классические системы) и системы собственной разработки — программно-методический комплекс структурно-параметрического моделирования (ПМК СПМ) [1], в которой упор сделан на технологическое моделирование, планирование и интеграцию, для оценки возможности использования этих продуктов в единой среде проектирования, максимально адаптированной под отечественное производство РКТ. Отработка процессов моделирования в данных системах проходила в рамках НИР и дипломного проектирования студентов магистратуры, обучающихся по программам, связанным с САПР.

Для сравнения процессов моделирования взято изделие "Коллектор", входящее в состав

пневмогидравлической системы, применяемой в РКТ [2].

Описание работ по процессу моделирования изделия в СПМ и Siemens NX можно разделить на этапы и представить в общей таблице (таблица).

В ходе работы была составлена контекстная диаграмма моделирования изделия, включающая краткое описание процесса. Базовый блок 1-го уровня, отражающий основной процесс (моделирование), разбит на этапы, характеризующиеся конкретными видами моделирования, формирования проектов, отчетов и других документов на изделие. Определены наиболее важные компоненты, влияющие на весь процесс в целом, и используемые инструментальные средства, реализующие необходимые функции и механизмы.

## Этапы моделирования

Название	Описание	
Анализ исходных данных	Исходными данными являются: <ul style="list-style-type: none"> <li>• сборочные чертежи, описание процесса сборки;</li> <li>• производственная спецификация;</li> <li>• технологические характеристики и описание изделия</li> </ul>	
Изучение структуры изделия	Изучение деталей, входящих в состав изделия, а также поиск необходимой информации (ГОСТы, ОСТы и т. д.) для них	
Моделирование деталей	СПМ	Siemens NX
	Модели деталей создают лингвистическими средствами и примитивами из базы или посредством описания контура с последующими операциями над ним	Построение изделия в NX возможно на основе эскиза и последующего его использования в различных операциях. Второй вариант — моделирование только готовыми примитивами и применение к ним операции преобразования. Третий вариант — построение тел произвольной формы и листовых объектов
Сборка изделия	Осуществляется с помощью специального блока, позволяющего расположить детали относительно базы или друг друга. Создается сборочный объект, в который по очереди добавляют модели ранее созданных элементов. Затем с помощью специальных директив каждому элементу задают положение в пространстве относительно другого элемента	Осуществляется с помощью элементов привязки — сопряжений. Создается сборочная модель, в которую по очереди добавляют ранее созданные элементы. Параллельно производят привязку элементов друг к другу. Возможно создание массивов элементов
Параметризация изделия	Производится выбор параметров деталей, изменение которых меняет важные характеристики всего изделия (например, функционал). Числовому значению размера присваивается именованный параметр (переменная), который указывается в сборочной модели, после чего изменение значения этого параметра служит базой для изменения размеров всего изделия по соответствующим формулам	Для большинства конструктивных элементов изделия создается семейство деталей согласно стандарту. Для некоторых выбираются параметры, изменение которых может полностью изменить характеристики для конкретного случая (для труб, например, это длина и диаметр). Затем появляется возможность полностью менять конфигурацию сборки. Все параметры хранятся в единой базе данных (БД). Там же задаются формулы и значения констант
Обработка модели	Выбирается БД модели сборки, выполняется ее трансляция. Проведение этой процедуры позволяет перевести структурно-параметрическую модель из внешнего лингвистического представления в машинно-ориентированное, информационно-упорядоченное представление структурно-параметрической базы (СПБ)	При изменении параметров или структуры сборки происходит регенерация визуализации с измененными геометрическими размерами
Моделирование технологий	В СПМ описание технологического процесса осуществляется с помощью моделиера <i>Pr_Tech</i> . Создаются три объекта для создания главной БД на изделие; создается модель задачи; формируется техпроцесс обработки изделия (технологическая модель с элементарнообработываемыми поверхностями). Трансляция основного объекта формирует готовое технологическое решение. На основе данных технологического процесса определяют трудоемкости, виды работ и основные операции для изготовления. Расчет технологии осуществляется на основе базы заранее подготовленных моделей технологических систем (МТС)	Изготовление изделий со сложной геометрией внешних обводов требует соответствующего инструментального обеспечения для расчёта управляющей программы для станка с ЧПУ. В зависимости от сложности детали применяют токарную обработку, фрезерную обработку на станках с тремя-пятью управляемыми осями, токарно-фрезерную, электроэрозионную обработку проволокой. Система NX CAM обладает всеми возможностями для формирования траекторий инструмента для соответствующих типов обработки [3]
Формирование проекта в MS Project	С помощью модуля SPMtoMSP реализуется функция передачи структурно-параметрической базы сборки и библиотеки ресурсов в систему управления проектами MS Project	Возможна работа с системой Teamcenter
PDM-функции	Интеграция в СПМ внешних объектов и документов на изделие в различных форматах (требуется средство просмотра)	
Нормирование	Производится расчет нормы времени каждого из этапов техпроцесса при производстве изделия. Данные обрабатывают и хранят непосредственно в СПМ или в СУБД типа Oracle или SQL	
Анализ полученных результатов и формирование отчетов	Результат представляется диаграммами в MS Project, технологическими картами, графическими изображениями и таблицами	В NX производят формирование отчетов в виде наглядных диаграмм прочностного анализа, картинок или текстового документа

Базовый блок "Моделировать изделие" можно представить в виде шести блоков: A1 (анализировать исходные данные и структуру изделия); A2 (создать параметризованную сборку изделия); A3 (моделировать технологию изготовления изделия); A4 (формировать проект в MS Project); A5 (производить нормирование); A6 (анализировать результаты и формировать отчеты).

Состав исходных данных:

- сборочный чертеж со спецификацией;
- нормативная документация;
- описание устройства и назначение изделия.

Состав результата работы:

- геометрическая модель изделия;

- технологическая модель изделия;
- проект на изготовление партии изделий;
- расчет норм времени.

Укрупненная схема процесса, отражающая структуру функциональной модели, представлена на рис. 1.

В качестве тестового объекта взята документация на изделие "Коллектор" из ПГС РН (рис. 2).

Изделие состоит из основы трубопроводов: тройника, двух труб и переходной втулки, на концах которых приварены два штуцера и ниппель с накидной гайкой, необходимые для соединения с сопряженными деталями общего трубопровода с данной сборкой.



Рис. 1. Укрупненная схема процесса

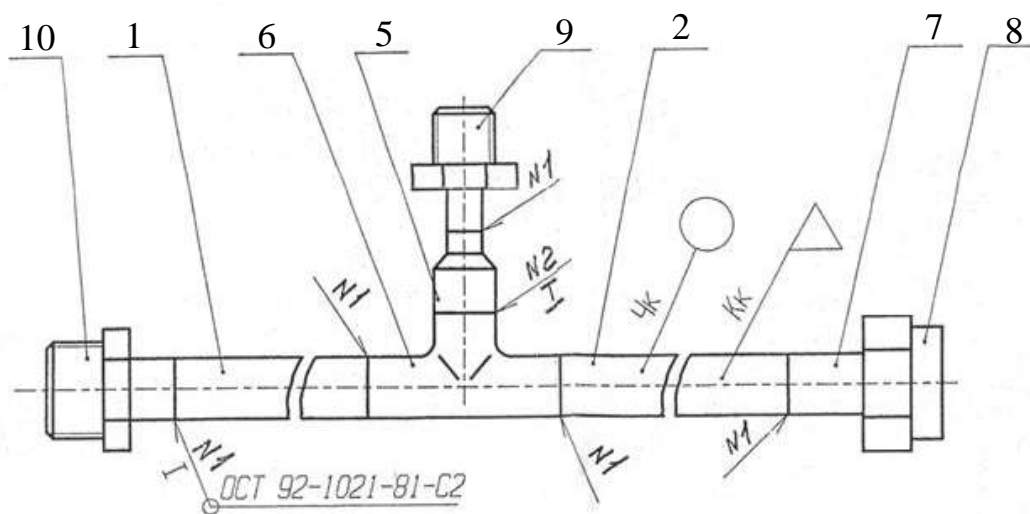


Рис. 2. Коллектор. Общая схема

На основании таблиц по нормированию (рис. 3) создается МТС, которое используется для расчета норм времени на подгонку под сборку одного стыка механически обработанных деталей с трубами и двух механически обработанных деталей между собой.

```
+ОБЪЕКТ;
КОД=подг_под_св; ТИП=Р;
ИМЯ=Подгонка под сборку одного стыка
мех.обработанных деталей с трубами и двух
мех.обработанных деталей между собой;

d1(+до 500)=(Длина,1,500);
d2(+до 2000)=(Длина,501,2000);
d3(+до 4000)=(Длина,2001,4000);
d4(+до 6000)=(Длина,4001,6000);
d5(+до 8000)=(Длина,6001,8000);
d6(+до 10000)=(Длина,8001,10000);
d7(+без трубы — 0)=(Длина,0,0);
ГРУППА(Длина трубы.пар)=d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7;

k1(+алюминиевые сплавы)=;
k2(+нержавеющие стали)=1;
ГРУППА(материал)=k1,k2;

t1(+подгонка под сварку деталей с трубами)=;
t2(+подгонка под сварку деталей между собой)=1;
ГРУППА(вид работ)=t1,t2;

МОДЕЛЬ=ТАМК;

+ЭЛЕМЕНТЫ;
ЭЛЕМЕНТ=о1; КОД=Ор; ИМЯ=Подгонка под сварку ме-
ханически-обработанных деталей с трубами; СВОЙСТВА=t1;
ЭЛЕМЕНТ=о2; КОД=Ор; ИМЯ=Подгонка под сварку ме-
ханически-обрабатываемых двух деталей между собой;
СВОЙСТВА=t2;

ЭЛЕМЕНТ=t10; КОД=tab; имяТАБЛ='tab1';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d1'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k1,d1,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t11; КОД=tab; имяТАБЛ='tab1';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d2'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k1,d2,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t12; КОД=tab; имяТАБЛ='tab1';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d3'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k1,d3,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t13; КОД=tab; имяТАБЛ='tab1';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d4'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k1,d4,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t14; КОД=tab; имяТАБЛ='tab1';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d5'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k1,d5,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t15; КОД=tab; имяТАБЛ='tab1';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d6'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k1,d6,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t16; КОД=tab; имяТАБЛ='tab1';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d7'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k1,d7,t2;

ЭЛЕМЕНТ=t20; КОД=tab; имяТАБЛ='tab2';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d1'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k2,d1,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t21; КОД=tab; имяТАБЛ='tab2';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d2'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k2,d2,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t22; КОД=tab; имяТАБЛ='tab2';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d3'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k2,d3,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t23; КОД=tab; имяТАБЛ='tab2';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d4'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k2,d4,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t24; КОД=tab; имяТАБЛ='tab2';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d5'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k2,d5,t1;
ЭЛЕМЕНТ=t25; КОД=tab; имяТАБЛ='tab2';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d6'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k2,d6,t1;
```

```
ЭЛЕМЕНТ=t26; КОД=tab; имяТАБЛ='tab2';
входИД='Диам'; вход=Диам; выходИД='d7'; выход=tшт;
СВОЙСТВА=k2,d7,t2;
```

```
ЭЛЕМЕНТ=t91; КОД=tab; имяТАБЛ='tab3';
входИД='вид'; вход=вид; выходИД='i1'; выход=исп;
СВОЙСТВА=d1,d2,d7;
ЭЛЕМЕНТ=t92; КОД=tab; имяТАБЛ='tab3';
входИД='вид'; вход=вид; выходИД='i2'; выход=исп;
СВОЙСТВА=d3,d4,d5,d6;
```

```
+ПАРАМЕТРЫ;
tшт=;
tпз=10.5;
кол(+кол-во)=1;
Т=;
Диам(+диаметр)=24;
Длина(+длина трубы)=0;
коэф=;
исп=;
вид=1;
+ФОРМУЛЫ;
Т=кол*tшт+tпз;
```

```
+ТАБЛИЦА; ИМЯ=tab1; СТОЛБЦОВ=8;
ШАПКА=:Диам: d1 : d2: d3: d4: d5: d6: d7::
СТРОКА=6 6.7 7.7 8.5 9.3 10.3 10.8 3.1;
СТРОКА=6 6.7 7.7 8.5 9.3 10.3 10.8 3.1;
СТРОКА=10 7.2 7.8 9.8 10.3 10.8 3.2;
СТРОКА=14 7.9 8.9 9.7 10.7 11.8 12.5 3.4;
СТРОКА=20 8.6 9.4 10.6 11.5 12.5 13.6 3.6;
СТРОКА=26 9.6 10.6 11.9 12.9 13.9 14.8 3.9;
СТРОКА=34 11.3 12.7 14.1 15.4 16.3 16.5 4.7;
СТРОКА=38 12.4 13.4 14.4 15.5 16.5 17.5 5.1;
СТРОКА=42 13.5 14.4 15.5 16.5 17.5 18.9 5.4;
СТРОКА=46 14.4 15.5 16.5 17.5 19.20 5.7;
СТРОКА=50 15.5 16.5 17.5 19.20 21 6;
СТРОКА=55 16.5 17.5 19.20 21 22 6.3;
СТРОКА=60 17.5 19.20 21 22 24 6.7;
СТРОКА=65 19.20 21 22 23 25 7.1;
СТРОКА=70 20 21 22 23 25 27 7.4;
СТРОКА=75 21 22 23 24 26 28 7.8;
СТРОКА=82 23 24 25 26 28 29 8.5;
```

```
+ТАБЛИЦА; ИМЯ=tab2; СТОЛБЦОВ=8;
ШАПКА=:Диам: d1 : d2: d3: d4: d5: d6: d7::
СТРОКА=6 6.3 7 7.8 8.6 9.1 9.6 3.9;
СТРОКА=6 6.3 7 7.8 8.6 9.1 9.6 3.9;
СТРОКА=10 6.3 7 7.8 8.6 9.1 9.6 3.9;
СТРОКА=14 7.2 7.8 8.8 9.6 10.1 10.7 4.4;
СТРОКА=20 8.1 9.1 9.7 10.6 11.2 11.9 5.1;
СТРОКА=26 9.1 10 11.1 12.2 12.9 13.6 5.6;
СТРОКА=34 10.2 11.3 12.7 13.8 14.6 15.5 6.2;
СТРОКА=38 11.3 12.4 13.3 14.4 15.5 16.5 6.8;
СТРОКА=42 12.3 13.4 14.4 15.5 16.5 17.5 7.2;
СТРОКА=46 13.4 14.4 15.5 16.5 17.5 19 7.7;
СТРОКА=50 14.4 15.5 16.5 17.5 19 20 8.2;
СТРОКА=55 15.5 16.5 17.5 19 20 21 8.7;
СТРОКА=60 16.5 17.5 19 20 21 22 9.2;
СТРОКА=65 17.5 19 20 21 22 24 9.7;
СТРОКА=70 19 20 21 22 23 25 10.2;
СТРОКА=75 20 21 22 23 25 26 10.7;
СТРОКА=82 22 23 24 25 26 28 11.3;
```

```
+ТАБЛИЦА; ИМЯ=tab3; СТОЛБЦОВ=3;
ШАПКА=:вид: i1 : i2 ::
СТРОКА=1 1 2;
СТРОКА=1 1 2;
```

```
+ПОЛОЖЕНИЕ;
СВЯЗЬ=о1-о2;
```

Для расчета трудоемкости/нормирования проекта по изготовлению изделия "Коллектор" с помощью надстройки редактора СПМ (SPM EDITOR) в структуру операций по изготовлению трубопроводов переданы параметры деталей, входящих в сборку. Программа по данным параметрам нашла подходящие реше-



ния и посчитала для каждого исполнителя трудоемкость работ и суммарную трудоемкость всего проекта (рис. 4).

При моделировании технологии в СПМ (аналог САМ-модулей) создается технологическая модель с операциями и ресурсами, необходимыми для производства. Существует возможность вывода на печать технологических карт, а также передачи данных в Microsoft Project [4] для создания проекта на производство изделия. В свою очередь, в модуле NX SAM технологическая модель представляет собой программу для станка с ЧПУ для обработки изделия и пост-процессинга.

В ПМК СПМ реализована возможность интеграции информационных средств, представляющих описания или иную информацию, входящую в состав конструкторско-технологической документации по данному изделию. Единственное условие для работы системы — наличие зарегистрированной программы для открытия соответствующего файла с документацией. Таким образом, имеющаяся документация в виде набора файлов может быть полностью использована внутри среды моделирования. Все файлы подключаются через специальные параметры в тексте СПМ, которые необходимо описывать в блоке "Параметры".

Содержание работы							
Обрабатываемый материал	Нормативный диаметр трубы, мм	Подгонка под сборку механически обработанных деталей с трубами					
		Длина трубы, мм. до:					
		500	2000	4000	6000	8000	10000
Необрабатываемые стали $\sigma_B = 55 \pm 85 \text{ кг/мм}^2$	Штучное время в минутах на один стык						
	6	6,7	7,7	8,5	9,3	10,3	10,8
	10	7,2	7,8	9,0	9,8	10,3	10,8
	14	7,9	8,9	9,7	10,7	11,8	12,5
	20	8,6	9,4	10,6	11,5	12,5	13,6
	26	9,6	10,6	11,9	12,9	13,9	14,8
	34	11,3	12,7	14,1	15,4	16,3	16,5
	38	12,4	13,4	14,4	15,5	16,5	17,5
	42	13,5	14,4	15,5	16,5	17,5	18,9
	46	14,4	15,5	16,5	17,5	19	20
	50	15,5	16,5	17,5	19	20	21
	55	16,5	17,5	19	20	21	22
	60	17,5	19	20	21	22	24
	65	19	20	21	22	23	25
	70	20	21	22	23	25	27
	75	21	22	23	24	26	28
	82	23	24	25	26	28	29

Рис. 3. Таблица по нормированию на подгонку под сборку одного стыка механически обработанных деталей с трубами и двух механически обработанных деталей между собой

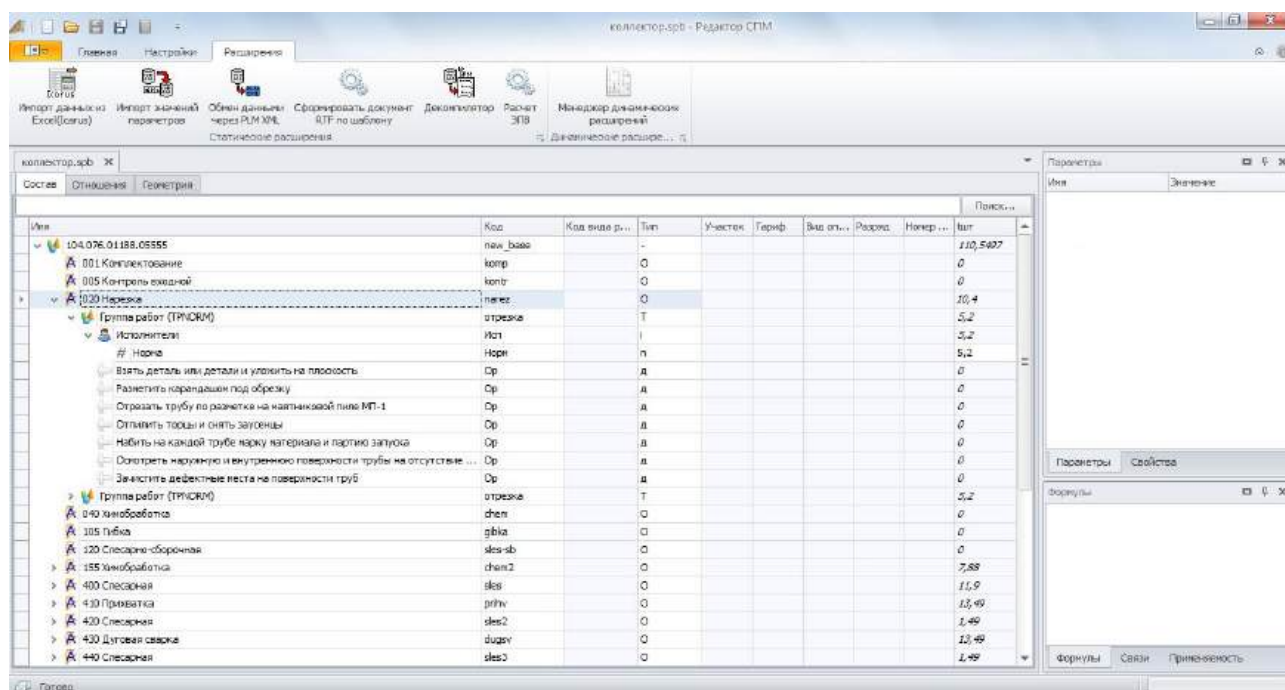


Рис. 4. Интерфейс редактора в ходе расчета трудоемкости работ (параметр  $t_{шт}$ )

На рис. 5 показано окно со списками параметров (диалог свойств элемента) и списком специальных параметров, носящих название "параметры-файлы" (они показаны в правом нижнем углу диалога свойств элемента). Эти параметры и описывают все подключаемые к модели файлы документации. Такое разделение достаточно удобно и позволяет инженеру выделить данные объекты из всех элементов комплексной модели.

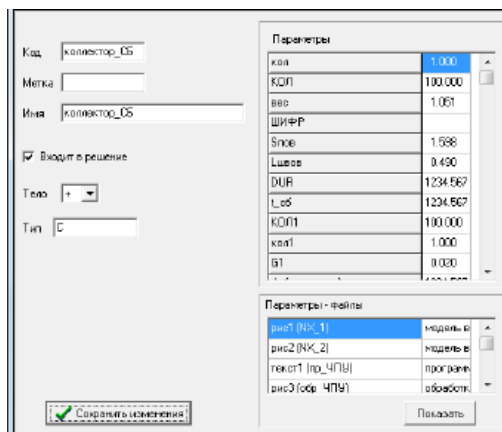


Рис. 5. Окно свойств элемента

В объект сборки изделия интегрированы следующие документы:

- изображения модели в NX с разными параметрами;
- фрагмент программы для станка с ЧПУ;
- визуализация процесса обработки станка с ЧПУ;
- технологическая карта обработки детали;
- диаграммы в MS Project;
- сборочный чертеж изделия.

Описания параметров-файлов в лингвистической модели следующие:

```
+ПАРАМЕТРЫ;
рис1(Ф: NX_1)=модель в NX.tif;
рис2(Ф: NX_2)=модель в NX 2.tif;
текст1(Ф: пр_ЧПУ)=программа ЧПУ.txt;
рис3(Ф: обр_ЧПУ)=обработка ЧПУ.tif;
текст2(Ф: тех_карта)=технологическая карта.doc;
текст3(Ф: проект_1)=коллектор.mpp;
текст4(Ф: проект_2)=коллектор 2.mpp;
рис4(Ф: чертеж)=коллектор.tif;
```

Проиллюстрируем первый вариант интеграции. На рис. 6 показана модель изделия "Коллектор" (открыта БД модели в визуализаторе ShowSPB) с открытой в дополнительных окнах документацией: в левом верхнем окне — сборочный чертеж, в левом нижнем — технологическая карта обработки детали, в правом верхнем — модель изделия, выполненная в системе NX, в правом нижнем — проект изготовления партии изделий в Microsoft Project.

Проиллюстрируем второй вариант интеграции. На рис. 7 показана модель изделия с модифицированными параметрами и загруженной документацией: модель с модифицированными параметрами в системе NX с проставленными габаритными размерами; проект изготовления партии изделий с модифицированными параметрами в Microsoft Project; визуализация токарной обработки на станке с ЧПУ; фрагмент программы для станка с ЧПУ.

Описанная возможность интеграции позволяет объединять модель изделия и документацию к нему в единое целое, что обеспечивает удобство, наглядность и быстрый доступ ко всем компонентам, представляющим конкретное изделие.

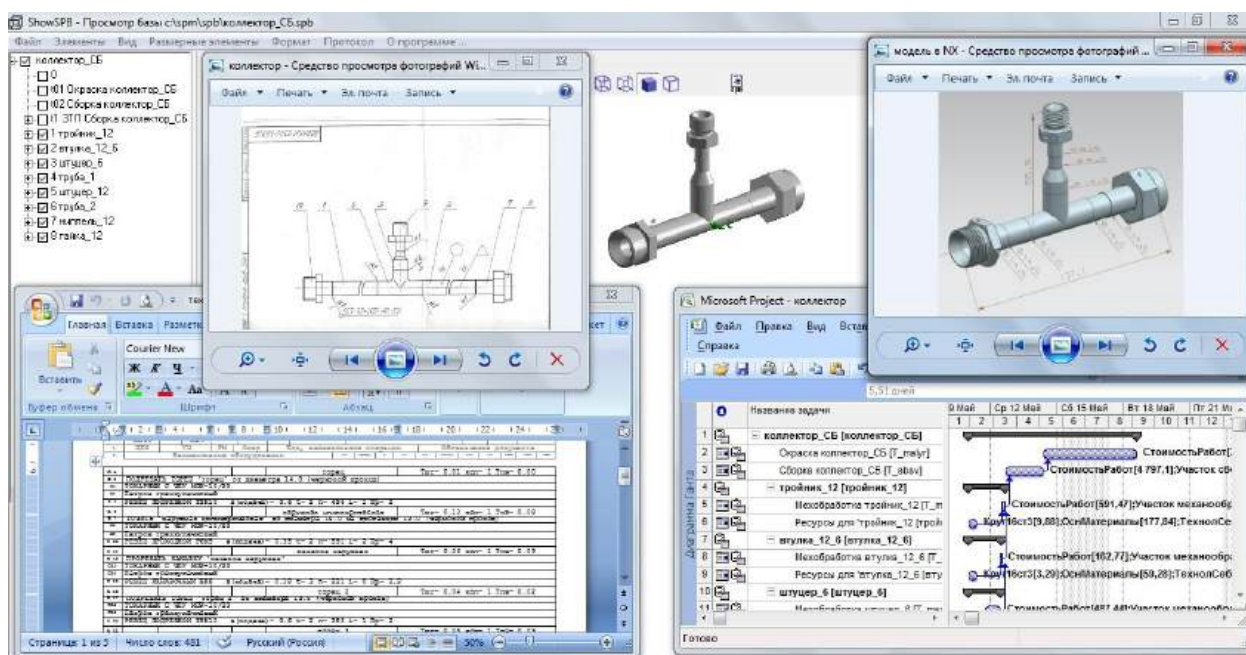


Рис. 6. Модель изделия с дополнительной документацией

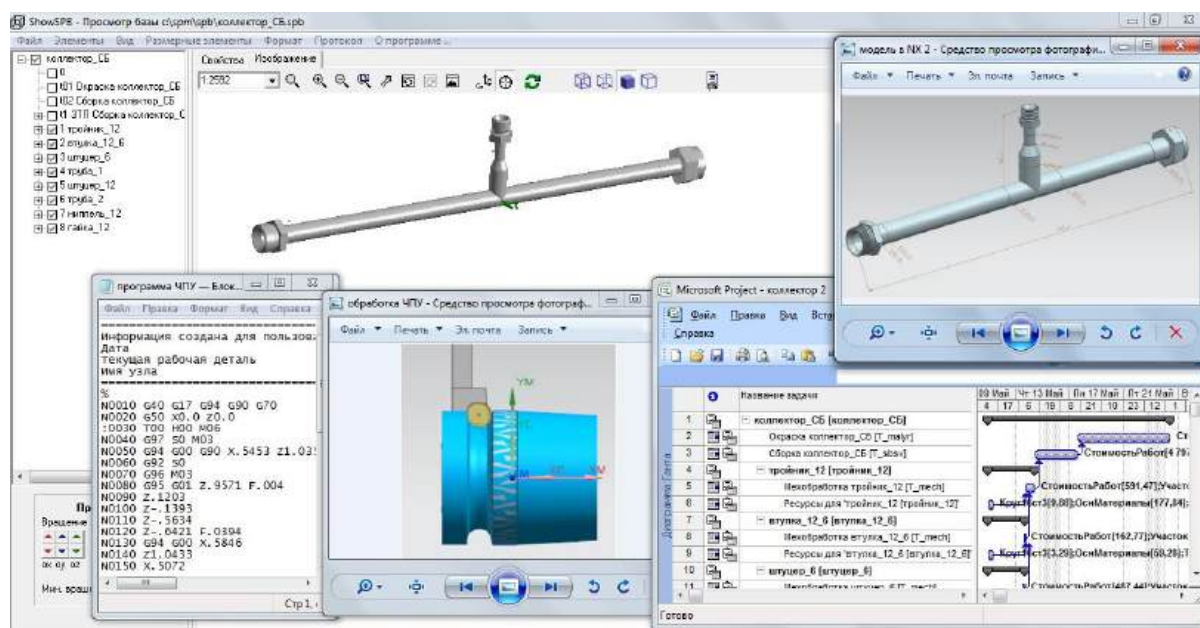


Рис. 7. Модель изделия с модифицированными параметрами с дополнительной документацией

### Заключение

Сравнение моделирования технологии в NX CAM и СПМ показало, что эти процессы в данных системах проектирования основаны на схожих принципах и подходах к созданию технологии в САМ-модулях, однако их результаты заметно различаются. Если в СПМ главной задачей является расчет решений и трудоемкости техпроцесса для производства изделия, а также получение необходимой документации для предприятия в стандартном виде, то в NX акцент делается на автоматизацию настройки станков с числовым программным управлением для обработки детали.

По результатам анализа делаем вывод, что наиболее полный результат проектирования РКТ может быть достигнут при использовании нескольких систем, которые дополняют друг дру-

га и осуществляют обмен данными на разных уровнях. Таким образом, реализуется функционал комплексного решения, позволяющего консолидировать максимальный объем информации и документации по изделию.

### Литература

1. Цыркoв А. В. Методология проектирования в мультиплексной информационной среде. — М.: ВИМИ, 1998. — 281 с.
2. Челомей В. Н. Пневмогидравлические системы двигателейных установок с жидкостными ракетными двигателями. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.
3. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование Siemens NX. — М.: ДМК-пресс, 2011. — 332 с.
4. Дитхелм Г. Управление проектами. В 2 т. — СПб: Бизнес-пресса, 2004.

## SPECIFICS COCF MODELING PROCESSES IN MODERN COMPLEX SYSTEMS

A. O. Butko

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

*The article discusses and compares the features of modeling technical products using modern CAD systems, one of which implements the advanced functionality of technology modeling in an invariant modeling environment with the use of software tools that allow you to perform normalization and form preliminary production projects in project management systems in automatic mode. It is based on a simplified object model developed in a linguistic modeling environment. The complex of the presented programs can be used in any design work that requires solving the problems of normalization, planning within an automated system.*

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

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

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2021 г.



## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

А. Е. Долганов; К. Е. Гавров; С. В. Сумароков;

Ф. О. Новосельский, канд. эконом. наук

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), Москва, Россия

*Приводится описание результатов разработки и испытаний макета модуля обработки больших данных, получаемых из математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 проектного направления "Прорыв".*

**Ключевые слова:** большие данные, оборудование, нештатное поведение, отказ, предиктивная аналитика.

Современные технологии позволяют в реальном времени получать поток данных о функционировании оборудования промышленного объекта (от датчиков реальных объектов либо от математических моделей, симулирующих работу этих объектов) и проводить его анализ. Результатом такого анализа может быть обнаружение отклонений и нештатного поведения в работе оборудования объекта, что позволяет вовремя выявлять отказы, а также оптимизировать объект и процессы его эксплуатации. В качестве инструментария для анализа данных все чаще выбирают технологии обработки больших данных (от англ. *big data*), т. е. данных очень больших объемов, к которым можно отнести изменения характеристик промышленных объектов в реальном времени и корреляции между этими характеристиками (до сотен тысяч обрабатываемых параметров в секунду).

Большие данные используют в различных отраслях промышленности для решения ряда задач, таких, как:

- повышение стабильности технологических процессов за счет своевременного выявления и устранения потерь в этих процессах;
- оптимизация расхода энергии;
- оптимизация сетевого планирования;
- оптимизация технического обслуживания и ремонта оборудования;
- прогнозирование отказов оборудования (предиктивная аналитика).

Наблюдается рост числа предприятий, в том числе в атомной отрасли, стремящихся извлечь пользу из уже накопившихся и генерируемых данных и использовать их для повышения эффективности производства.

Приводится описание результатов разработки и испытаний макета модуля обработки больших данных (МБД), получаемых из математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 проектного направления (ПН) "Прорыв" [1]. Цель создания макета МБД — оценка полезности и целесообразности применения методов об-

работки больших данных для использования в качестве аналитического инструмента при определении нештатного поведения оборудования и его отказов при моделировании, а также освоение и отработка технологий больших данных для последующего применения на реальных промышленных объектах ПН "Прорыв".

### Постановка задачи и определение требований

В ПН "Прорыв" для моделирования работы энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 и энергоблока с РУ БР-1200 разрабатывают и используют соответствующие интегральные расчётные математические модели (ИРММ). Основной задачей ИРММ служит выявление коллизий в проектных данных и в частных математических моделях, входящих в состав ИРММ. Включение в состав ИРММ модуля обработки больших данных позволит оснастить ИРММ дополнительным диагностическим инструментом, способным собирать данные о паттернах (шаблонах) штатного и аномального поведения моделируемого оборудования [2, 3] для последующего использования при эксплуатации реальных объектов, а также оперативно получать информацию о соответствии поведения основных контролируемых параметров оборудования ранее выявленным закономерностям. На основании информации об отклонениях от закономерностей возможно выявление нештатного поведения в работе оборудования и диагностирование появления отказов.

Для проверки применимости и отработки технологий обработки больших данных, а также для обеспечения интеграции с ИРММ принято решение начать с разработки макета МБД, который должен продемонстрировать жизнеспособность данного подхода на ограниченном наборе моделируемых аномалий (отказов, нештатных ситуаций) и показать свою полезность для решения основной задачи ИРММ по выявлению коллизий в проектных данных и в отдельных математических моделях.

Основными задачами, решаемыми с помощью макета МБД, определены:

- диагностирование в режиме онлайн отказов оборудования и определение возможных причин их возникновения;

- определение характерных паттернов изменения параметров при штатной работе оборудования и обнаружение в режиме онлайн отклонений от штатного поведения, способных привести к отказу оборудования [4].

После изучения мирового и отечественного опыта использования технологий обработки больших данных в промышленности сформированы требования, в соответствии с которыми макет МБД должен обладать следующей функциональностью:

- создание и обучение предиктивных моделей на основе архивных данных частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 о результатах моделирования определенного набора режимов с фиксацией отказов, выходов значений параметров за уставки и предшествующих им событий (должна отслеживаться динамика изменений параметров, приводящая к отказам, и должны формироваться паттерны закономерностей в изменениях параметров, по которым эти отказы можно спрогнозировать в будущем);

- автоматическая загрузка данных в режиме онлайн из частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300;

- предварительная обработка (препроцессинг) поступающих данных;

- применение разработанных и обученных предиктивных моделей к поступающим из частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 в режиме онлайн данным о параметрах оборудования в моделируемых режимах эксплуатации и выявление в этих данных закономерностей для определения нештатных ситуаций и отказов;

- визуальный (графический) анализ информации об обнаруженном нештатном поведении контролируемых параметров с возможностью отслеживания графиков их изменения.

### Проектирование и разработка макета МБД

В результате проектирования в структуру макета МБД включены следующие основные элементы (рис. 1):

- программная платформа МБД, реализующая функциональность по сбору, обработке и анализу данных ИРММ;

- интеграционный интерфейс между ИРММ и программной платформой МБД.



Рис. 1. Общая структура макета МБД

Интеграционный интерфейс в структуре макета МБД обеспечивает связь с данными частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 и предназначен для автоматизации загрузки данных из расчётной модели программного комплекса SimInTech, являющегося программной платформой ИРММ в части указанной математической модели, в режиме онлайн в программную платформу макета МБД.

Программная платформа макета МБД реализует основной функционал по хранению и предварительной обработке данных, созданию и запуску предиктивных моделей, визуализации и анализу данных, а также настройке отдельных подсистем и предиктивных моделей и поддержанию функционирования макета МБД.

С учетом требований к функциональности для реализации программной платформы выбран вариант использования коммерческого программного обеспечения (ПО). В результате анализа представленного на рынке ПО соответствующего класса выбрана отечественная система — аналитическая платформа Loginom, которая наиболее полно удовлетворяет требованиям решаемых задач и имеет необходимый инструментарий [5]:

- извлечение данных из файлов, баз данных, веб-сервисов и бизнес-приложений;
- очистка, предобработка, связывание, систематизация и консолидация данных, отсечение "информационного мусора";
- отбор факторов, машинное обучение, прогнозирование, сложные расчёты;
- визуализация, многомерный анализ, интерпретация результатов;
- загрузка результатов обработки в базы данных, отдельные файлы, учетные системы, социальные сети, веб-сервисы.



Для отработки подхода посредством этого инструментария на основе архивных данных математической модели разработаны следующие модели обработки данных:

- определяющая отказ типа "Течь из главного парового коллектора" (ГПК), работа которой строится на гипотезе, что при наступлении отказа статистические показатели параметров процесса существенно отличаются от таковых при штатном режиме работы. Для построения модели отказа использовали аппарат линейной регрессии, в качестве зависимой переменной — разметку: "нормальный режим", "аномальный режим", в качестве объясняющих параметров — рассчитанные статистики значимых параметров и было, получено правило определения отказа (рис. 2);

Если LBQ70CP001;P пара во 2-м отборе;  
 МПа (AVG) \* (-2.315121593)  
 + LBQ70CP001;P пара во 2-м отборе;  
 МПа (STDDEV)\* (-0.1612738778)  
 + LCP21CP002;P на напоре LCP21AP001;  
 МПа (AVG) \* 10.86300081  
 + LCP21CP002;P на напоре LCP21AP001;  
 МПа (STDDEV) \* (-12.10166664)  
 + LCP23CP001;P в НК насосов основной подпитки;  
 МПа (AVG) \* (143.5583104)  
 + LCP23CP001;P в НК насосов основной подпитки;  
 МПа (STDDEV) \* (936.2800655)  
 + MAX10CL501;Уровень в маслобаке СРТ;  
 мм (AVG) \* (4.420498018)  
 + MAX10CL501;Уровень в маслобаке СРТ;  
 мм (STDDEV)\* (816.5463956)  
 - 30655.70597 > 0.5329, то имеет место отказ "Течь из ГПК".

Рис. 2. Правило определения отказа

- определяющая нештатное поведение параметра "Давление пара во 2-м отборе", работа которой строится на гипотезе, что состояние процесса в штатном режиме работы зависит от прошлого состояния процесса и при наступлении отказа состояние процесса должно существенно отличаться от такового в нормальном режиме работы. Для построения модели определения нештатного поведения параметра также использовали аппарат линейной регрессии, в качестве зависимой переменной — текущее значение указанного параметра, а в качестве объясняющих параметров — 60 предыдущих его значений на временном интервале.

Входными данными для макета МБД являются архивные данные частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 или данные, получаемые в режиме онлайн из этой частной математической модели. Результатами работы являются отчеты, представляемые в виде графиков и поясняющих таблиц, а также

уведомления пользователям макета МБД о найденных отказах и нештатном поведении математической модели в заданном режиме.

Принципиальная схема работы макета МБД показана на рис. 3.

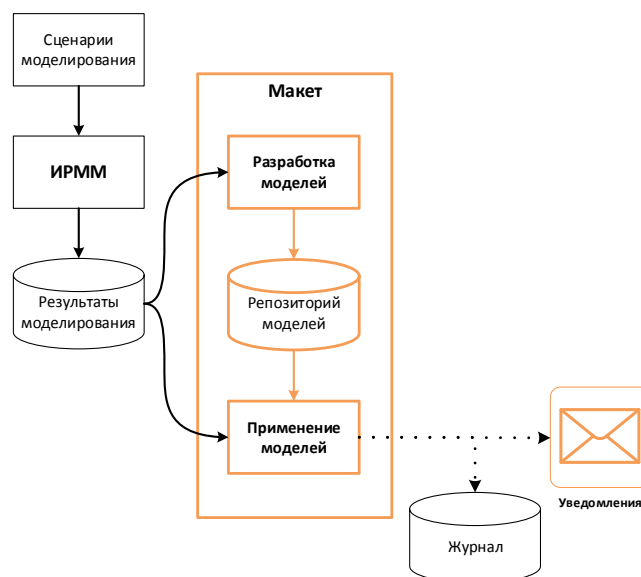


Рис. 3. Принципиальная схема работы макета МБД

### Испытания макета МБД

Для начала испытаний были подготовлены исходные данные, необходимые для запуска расчётов и обработки значений параметров:

- набор файлов (в формате пакета SimInTech) частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 для генерации в режиме онлайн значений параметров;
- модели (в формате исполняемого пакета программной платформы макета МБД), созданные на этапе разработки макета для отработки подхода, которые предназначены для обработки поступающих в режиме онлайн значений параметров из частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300.

Испытания проводили в следующем порядке:

- запуск программной платформы ИРММ — программного комплекса SimInTech;
- запуск интеграционного интерфейса из пользовательского интерфейса программного комплекса SimInTech;
- настройка параметров подключения и запуск посредством интеграционного интерфейса на выполнение в программном комплексе SimInTech частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 (соответствующего ей набора файлов) и одновременно с этим запуск на выполнение исполняемого пакета программной платформы макета МБД для обработки данных, поступающих из частной математической модели;

- ввод отказа "Течь из ГПК", а также условий для отклонения параметра "Давление пара во 2-м отборе" от штатного поведения с помощью инструментов математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с РУ БРЕСТ-ОД-300 во время ее выполнения. Ввод отказа "Течь из ГПК", а также сопутствующих ему условий для отклонения параметра "Давление пара во 2-м отборе" проводили двумя различными методами, в явном и неявном виде:

- ввод отказа "Течь из ГПК" в явном виде с разной степенью жесткости отказа (5, 15, 25, 50 и 100 %, где 100 % — это максимально тяжелый сценарий развития данного отказа, а 5 % соответствуют слабому течению отказа) производили путем ввода соответствующего сигнала в базе данных сигналов модели SimInTech;

- ввод отказа "Течь из ГПК" в неявном виде производили путем открытия предохранительного клапана LBA22AA401 подсистемы предохранительных клапанов модели SimInTech;

- фиксирование результатов обработки данных, загружаемых в программную платформу макета, в виде диагностических сообщений об обнаружении отказа и нештатного поведения параметра;

- остановка выполнения частной математической модели паротурбинной установки и систем второго контура энергоблока с

РУ БРЕСТ-ОД-300, а также остановка выполнения исполняемого пакета программной платформы макета МБД.

В результате проведенных испытаний макета МБД на различных стационарных режимах работы РУ (при значениях тепловой мощности реактора 300, 500 и 700 МВт) и наборах жесткостей диагностируемого отказа (100, 50, 25, 15 и 5 %) определено, что разработанные модели обработки данных макета МБД диагностировали наступления отказа и нештатного поведения контролируемого параметра в течение 1—4 с после начала отказа и/или нештатного поведения контролируемого параметра. В пользовательском интерфейсе появлялись соответствующие диагностические сообщения (рис. 4) с возможностью получения графиков для просмотра детальной информации (рис. 5).

Также отмечено, что при вводе отказов других типов модель, определяющая отказ типа "Течь из ГПК", не реагирует на них. В то же время выявлено несколько случаев ложного срабатывания обнаружения нештатного поведения параметра при попытке проведения испытаний на переходных режимах эксплуатации РУ, а также во время штатных всплесков изменений контролируемого параметра. Для устранения такого рода ложных срабатываний требуются доработка и дообучение созданных моделей на большем количестве исходных данных в соответствующих режимах работы РУ.

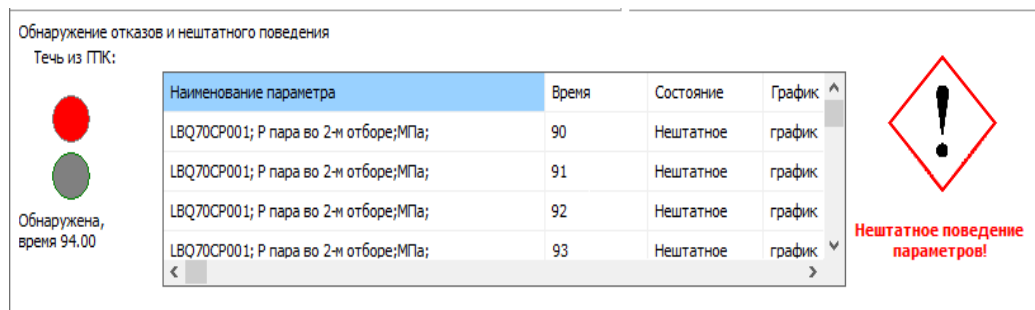


Рис. 4. Диагностические сообщения о нештатном поведении параметра

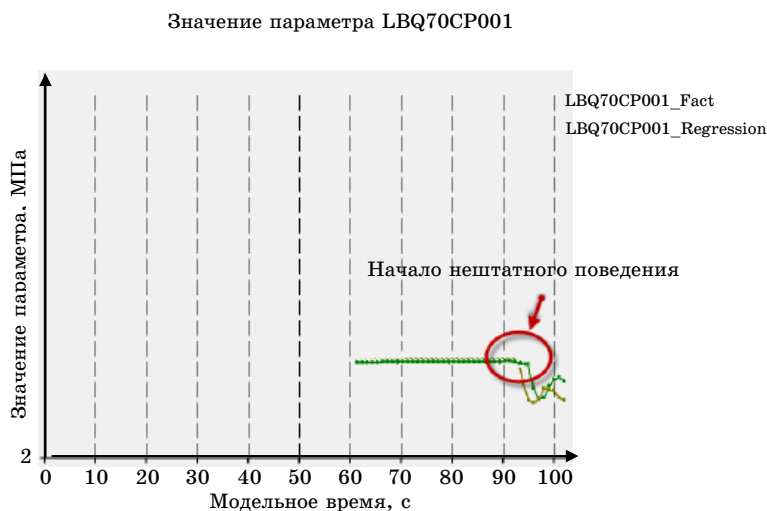


Рис. 5. График для анализа отклонений

### Заключение

Проведенные испытания показали корректность технических решений, принятых при проектировании и разработке макета МБД, и подтвердили оправданность использования технологии обработки больших данных для определения нештатного поведения контролируемых параметров и отказов, на которые произведено обучение соответствующих моделей. Полученные результаты позволяют судить о жизнеспособности и целесообразности применения технологии обработки больших данных в ПН "Прорыв" для анализа данных, получаемых как из математических моделей, так и, в перспективе, — с оборудования реальных промышленных объектов.

Понятны и пути дальнейшего развития модуля обработки больших данных, к которым можно отнести отработку технологии на больших данных с реальных объектов, наработку паттернов поведения на базе ИРММ, расчётных кодов и других релевантных математических моделей, а затем и на реальных данных, совершенствование и усложнение предиктивных моделей, построенных на основе машинного обу-

чения и нейронных сетей. Функциональность программной платформы МБД все это позволяет. Тесное сотрудничество конструкторов, технологов, физиков, математиков и технических специалистов позволит получить перспективный инструмент для предиктивной аналитики на основе поступающей с датчиков реальных объектов информации (рекомендации оператору, ТОиР по состоянию и т. д.).

### Литература

1. Большов Л. А., Мосунова Н. А., Стрижов В. Ф., Шмидт О. В. // Расчётные коды нового поколения для новой технологической платформы ядерной энергетики // Атомная энергия. 2016. Т. 120. № 6. С. 132—137.
2. Duda R., Hart P., Stork D. Pattern classification. — John Wiley & Sons Inc., 2001.
3. Bishop C. M. Neural networks for pattern recognition. — N. Y.: Oxford University Press Inc., 1995.
4. Shalizi C. R., Shalizi K. L., Crutchfield J. P. An algorithm for pattern discovery in time series // SFI Working Paper. 2002. V. 02. № 10. P. 060.
5. О платформе Loginom [Электронный ресурс]. URL: <https://loginom.ru/platform> (дата обращения: 21.08.2020).

## APPLYING BIG DATA PROCESSING TECHNOLOGIES TO NUCLEAR PLANT EQUIPMENT MODEL

A. E. Dolganov, K. E. Gavrov, S. V. Sumarokov, F. O. Novoselsky  
Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Safe Development  
of Nuclear Power Industry of the RAS, Moscow, Russia

*The article describes the results of the development and testing of the prototype of the big data processing module, which obtains data from the mathematical model of the steam turbine installation and systems of the second round of the BREST-OD-300 nuclear power unit of the "Proryv" project.*

**Keywords:** big data, equipment, anomaly, failure, predictive analytics.

Долганов Алексей Евгеньевич, ведущий инженер.

E-mail: [dae@ibrae.ac.ru](mailto:dae@ibrae.ac.ru)

Гавров Константин Евгеньевич, ведущий инженер.

E-mail: [kgavrov@ibrae.ac.ru](mailto:kgavrov@ibrae.ac.ru)

Сумароков Сергей Вячеславович, заведующий отделом.

E-mail: [sumarokov@ibrae.ac.ru](mailto:sumarokov@ibrae.ac.ru)

Новосельский Филипп Олегович, заместитель заведующего отделом.

E-mail: [pn@ibrae.ac.ru](mailto:pn@ibrae.ac.ru)

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2021 г.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ (ЧПУ) В САМ-СИСТЕМЕ

И. Е. Колошкина

Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

*Приведены сведения о реализации сервиса оптимизации режимов контурного фрезерования с переменным припуском при постоянстве оптимального значения толщины стружки при программировании для станков с ЧПУ в САМ-системе. Определена математическая зависимость параметров качества поверхности от условий фрезерования. Подготовлены алгоритмы автоматизированного расчета. Разработана методология проектирования указанных операций.*

**Ключевые слова:** контурное фрезерование на станках с ЧПУ, программирование для станков с ЧПУ, САМ-системы программирования для станков с ЧПУ.

Исследования, способствующие повышению производительности труда, особенно актуальны в соответствии с положениями Национального проекта "Производительность труда и поддержка занятости" [1]. Один из способов повышения производительности труда при обработке на станках с ЧПУ, рассмотренных в данном исследовании, это использование возможностей САМ-систем для повышения эффективности контурного фрезерования изделий с переменным припуском. При разработке управляющей программы в САМ-системе есть возможность программировать величину подачи, обеспечивающую постоянство толщины стружки при переменной толщине снимаемого слоя [2, 3]. Оптимальное значение толщины стружки при программировании в САМ-системе заносится в диалоговое табло (рис. 1).

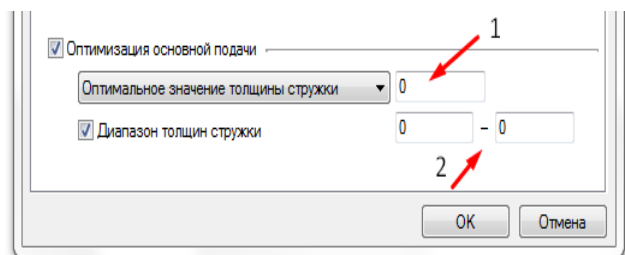


Рис. 1. Диалоговое табло модуля САМ-системы АДЕМ, в которое заносят оптимальное значение толщины стружки (1) и диапазон толщин (2)

Определим эффективность процесса поддержки постоянства толщины стружки при контурном фрезеровании с переменным припуском. Одним из показателей этого процесса является подача на зуб фрезы  $S_z$ , значение которой через скорость резания, число оборотов и число зубьев фрезы пересчитывается в минутную скорость подачи в мм/мин, что и записывается в программу. При переменной толщине снимаемого слоя при постоянной линейной подаче

изменяется толщина стружки  $a_{\max}$ . Обеспечив постоянное и оптимальное значение толщины стружки, можно стабилизировать силовые нагрузки при обработке. Также при малых съемах металла можно увеличить линейную подачу в 1,5—2 раза. Схема изменения величины линейной подачи при фрезерной обработке с постоянной толщиной срезаемой стружки показана на рис. 2.

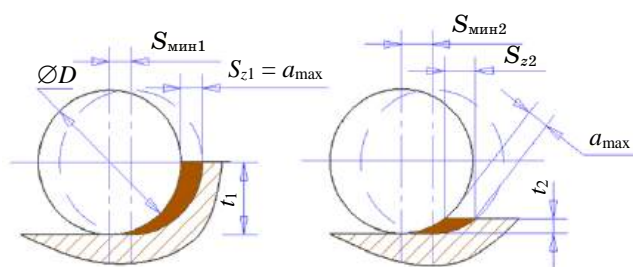


Рис. 2. Соотношение глубины резания  $t$  и подачи на зуб  $S_z$  при постоянной толщине стружки  $a_{\max}$ :  
 $D$  — диаметр фрезы;  $t_1$  и  $t_2$  — глубина резания;  
 $S_{\min 1}$  и  $S_{\min 2}$  — минутная подача

На основании анализа расчетной схемы определена зависимость влияния факторов на перечисленные показатели:

$$S_z = 0,5 a_{\max} D / \sqrt{tD - t^2}, \text{ мм/зуб}; \quad (1)$$

$$a = 2S_z \sqrt{\frac{t}{D} - \left(\frac{t}{D}\right)^2}, \text{ мм}. \quad (2)$$

Проведем сравнительные расчеты значения линейной подачи при съеме слоя разной толщины: в два и четыре мм. Исходные данные: оптимальное значение толщины стружки  $a_{\max} = 0,04$  мм; диаметр фрезы  $D = 20$  мм; число зубьев фрезы  $z = 5$ ; скорость резания  $V = 80$  м/мин. Результаты расчетов приведены в таблице.

Сравнительный расчет величины линейной подачи в зависимости от величины припуска

Расчет числа оборотов: $n = V \cdot 10^3 / (\pi D) = 80 \cdot 10^3 / (3,14 \cdot 20) = 1273$ об/мин	
Оптимальное значение толщины стружки $a_{\max} = 0,04$ мм	
Припуск $t_1 = 4$ мм	Припуск $t_2 = 2$ мм
Величина подачи на зуб фрезы $S_z = 0,5 a_{\max} D / \sqrt{tD - t^2}$ , мм/зуб	
$S_{z1} = 0,5 \cdot 0,04 \cdot 20 / \sqrt{4 \cdot 20 - 4^2} = 0,050$ мм/зуб	$S_{z2} = 0,5 \cdot 0,04 \cdot 20 / \sqrt{2 \cdot 20 - 2^2} = 0,066$ мм/зуб
Расчет минутной подачи $S_{\min} = S_z z N$ , мм/мин	
$S_{\min 1} = 0,050 \cdot 5 \cdot 1273 = 318$ мм/мин	$S_{\min 2} = 0,066 \cdot 5 \cdot 1273 = 420$ мм/мин
Увеличение скорости линейной подачи при уменьшении съема слоя составляет 132 %	

Приведенный расчет показывает, что использование этого сервиса при программировании в САМ-системе позволяет существенно повысить производительность контурного фрезерования заготовок с переменным припуском. Для практической реализации такого расчета необходимо разработать методику выбора оптимального значения толщины стружки в зависимости от требований к качеству обрабатываемой поверхности.

#### Методика определения оптимального значения толщины стружки в зависимости от требований к качеству обрабатываемой поверхности

При назначении оптимального значения толщины стружки при максимальной производительности необходимо исходить из обеспечения качества поверхности и состояния изделия (жесткость, легкодеформируемые материалы при закреплении детали), а также возможности оборудования (мощность, максимальные и минимальные значения минутной подачи), параметров фрезы (диаметр, количество зубьев) и установленной скорости резания. Эти сведения являются исходными данными для дальнейшего расчета.

В начале расчета определяется число оборотов фрезы  $n$  в зависимости от определенной ранее скорости резания  $V$  и диаметра фрезы  $D$  по формуле

$$n = (V \cdot 10^3) / (\pi \cdot D), \text{ об/мин.} \quad (3)$$

Основным критерием для определения следующего параметра — величины подачи на зуб  $S_z$  является обеспечение высоких параметров шероховатости. Контур геометрии поверхности после фрезерования представляет собой остаточные следы перемещения фрезы и состоит из цепи неровностей ("гребешков") [4]. Основными параметрами, описывающими "гребешок", являются высота  $h_{\text{гр}}$ , длина основания, равная  $S_z$  (рис. 3). В соответствии с ГОСТом на шероховатость поверхности, высота "гребешка"  $h_{\text{гр}}$  численно равна наибольшей высоте профиля  $R_z$ , а длина основания "гребешка"  $S_z$  — среднему шагу неровностей  $S_m$ . При этом высота "гребешка" для дальнейших расчетов

численно равна  $h_{\text{гр}} = R_z$  мкм или  $h_{\text{гр}} = 4R_a$  мкм при  $R_a \geq 12,5$  мкм и  $h_{\text{гр}} = 5R_a$  мкм при  $R_a \leq 12,5$  мкм.

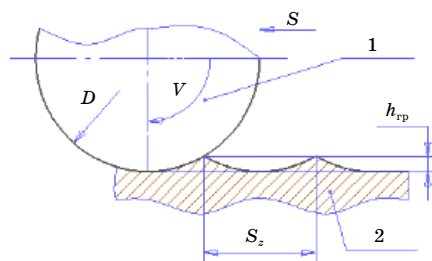


Рис. 3 Параметры поверхности при контурном фрезеровании изделия концевой фрезой диаметром  $D$ : 1 — фреза; 2 — обрабатываемое изделие

На основании изложенного и из анализа расчетной схемы на рис. 2 определим формулу для расчета величины подачи на зуб  $S_z$  в зависимости от высотных параметров шероховатости:

$$S_z = 2\sqrt{D h_{\text{гр}} / 10^3}, \text{ мм/зуб.} \quad (4)$$

Вычисление толщины стружки  $a_{\max}$  по значению  $S_z$ , определенному по формуле (4), выполняют по формуле (2). Для получения оптимального значения  $a_{\max}$ , гарантирующего получение заданной шероховатости во всем диапазоне изменения  $S_z$ , для расчета принимаем, что максимальное значение  $S_z$ , определяющее максимальную высоту неровности  $h_{\text{гр}}$ , реализуется при постоянной толщине стружки в процессе фрезерования минимального припуска. В расчете толщины стружки используем значение  $t_{\min}$ , подставив его в формулу (2). В результате получим

$$a_{\max} = 2S_z \sqrt{\frac{t_{\min}}{D} - \left(\frac{t_{\min}}{D}\right)^2}, \text{ мм.}$$

При фрезеровании максимального припуска при вычисленной постоянной толщине стружки величина  $S_z$  будет минимальной, что гарантирует высокие значения шероховатости и на этом участке в пределах требований чертежа.



Максимальное значение подачи сопоставим с возможностями станка. Для этого выполним расчет максимальной минутной подачи при фрезеровании. Максимальное значение подачи на зуб фрезы  $S_{z \max}$  определим по формуле (1). Подставив значение  $t_{\min}$ , выполним расчет максимального значения минутной подачи  $S_{\max}$ , мин, при выполнении операции и сравним с максимально возможной минутной подачей станка  $S_{\min(\text{ст})\max}$ :

$$S_{\min \max} = S_{z \max} z n < S_{\min(\text{ст})\max}. \quad (5)$$

При превышении выбранного значения подачи  $S_{\min \max}$  уменьшаем толщину стружки  $a_{\max}$  через уменьшение  $S_z$ . Аналогичные действия производим для минимального значения минутной подачи при фрезеровании с максимальным припуском  $S_{\min \min}$ , сравнивая его с минимально возможной минутной подачей станка  $S_{\min(\text{ст})\min}$ :

$$S_{\min \min} = S_{z \min} z n > S_{\min(\text{ст})\min}. \quad (6)$$

При черновой обработке с большими припусками и значительными усилиями необходимо проверить выбранные условия фрезерования по мощности резания  $N_{\text{рез}}$  и сравнить с возможностями станка  $N_{\text{ст}}$ . Мощность резания при фрезеровании зависит от величины припуска  $t_{\max}$ , высоты фрезеруемого контура  $h$ , скорости резания  $V$  и удельной силы резания  $k_c$ :

$$N_{\text{рез}} = (t_{\max} h V k_c) / (60 \cdot 10^6) < N_{\text{ст}} \eta. \quad (7)$$

На операциях чистового фрезерования эту часть расчета можно не производить, т. к. потребляемая мощность при таком резании с малыми припусками и небольшими подачами, как правило, не сопоставима с мощностью применяемого оборудования.

#### Автоматизация расчета оптимальной величины толщины стружки

Для автоматизации расчета оптимального значения толщины стружки при черновом контурном фрезеровании с переменным припуском с обеспечением шероховатости поверхности по показателю  $R_z$  разработан алгоритм с последующей его реализацией на вычислительной платформе (рис. 4). В блок данных 1 заносят исходные данные для расчета (показатели шероховатости обрабатываемого контура, величины припуска, высоту фрезеруемого контура, параметры фрезы и скорость резания, характеристики станка с ЧПУ). В блоке процесса 2 выполняют расчет числа оборотов фрезы, используемого в дальнейших расчетах. В блоке процесса 3 определяют максимальное значение  $S_z$ , обеспечивающее заданные параметры шероховатости  $R_z$ . Так как максимальная шероховатость будет иметь место при максимальном значении  $S_z$ , что происходит при фрезеровании с

минимальным припуском, расчет оптимального значения толщины стружки в блоке процесса 4 выполняют с использованием значения  $t_{\min}$ . Расчеты максимальных подач на зуб фрезы и минутной выполняют в блоках процесса 5 и 6. В блоке принятия решения по максимальной минутной подаче 7 полученное при расчете значение подачи сравнивается с возможностями станка. При положительном решении расчет продолжается в блоке 9, при отрицательном в блоке 8 выполняется перерасчет значения подачи и на полученное значение  $S_z$  корректируется значение  $a_{\max}$  в блоке 4. Аналогичные действия выполняются при расчете минимальной минутной подачи в блоках 10–12. В блоках процесса 13 и 14 выполняется расчет потребляемой мощности при фрезеровании и фактической мощности станка. В блоке принятия решения 15 проводится сравнительный анализ полученных значений. При положительном значении расчет завершается выводом результатов расчета в блоке 17, при отрицательном значении вносятся коррективы в величины исходных данных, доступных для вариативных решений (например,  $h$ ,  $V$  или  $t$ ). В дальнейшем расчет повторяют с измененными данными до достижения нужного результата.

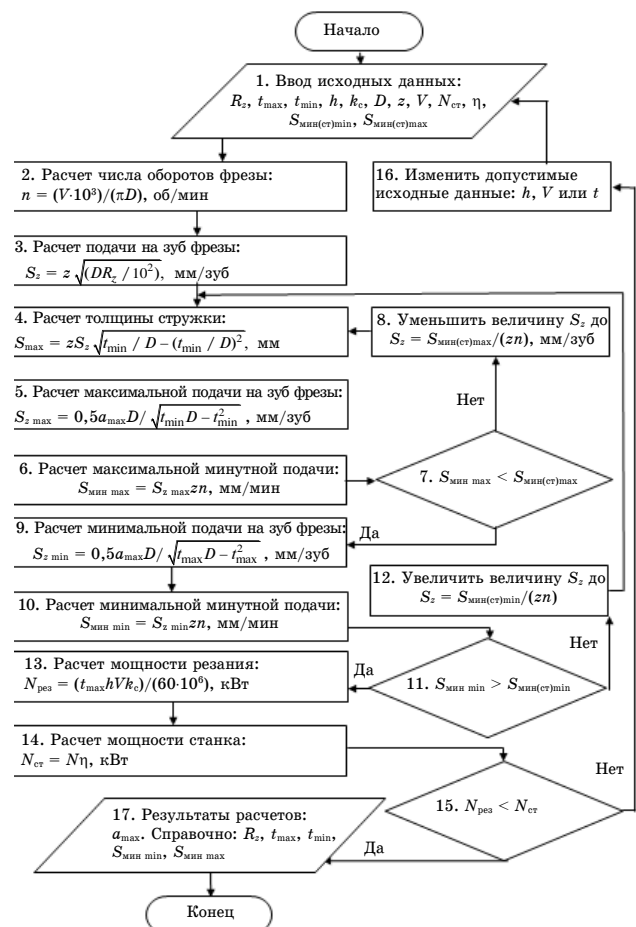


Рис. 4 Блок-схема алгоритма расчета оптимальной толщины стружки для чернового контурного фрезерования

Аналогичные действия выполняют при расчете оптимальной толщины стружки для чистового контурного фрезерования. В качестве критерия используют значение  $R_a$ , обозначенное на чертеже, относящееся к обрабатываемой поверхности. В отличие от предыдущего расчета проверка по мощности не производится ввиду незначительных сил при малых припусках при чистовом фрезеровании. Блок-схема расчета показана на рис. 5.

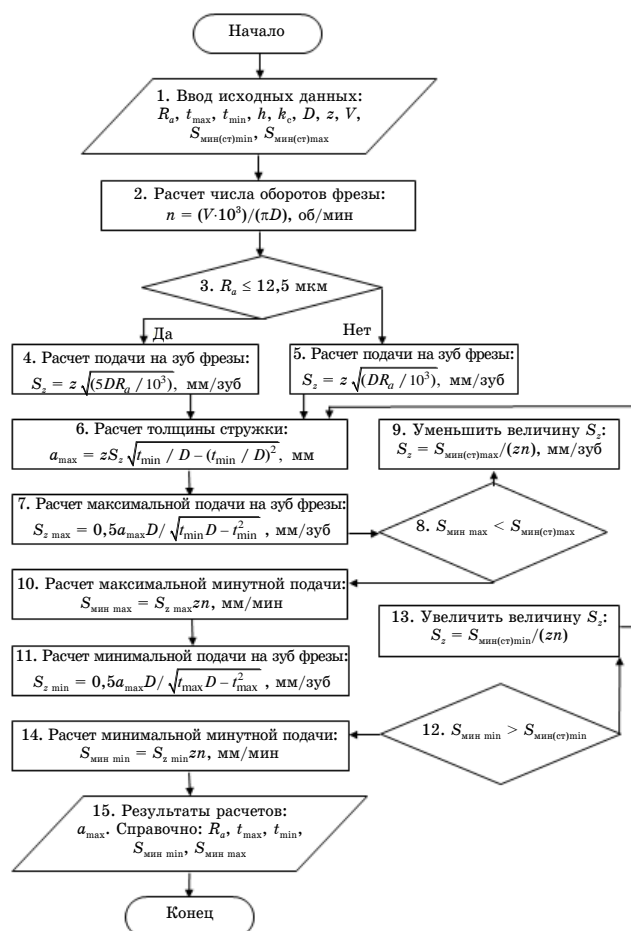


Рис. 5. Блок-схема алгоритма расчета оптимальной толщины стружки для чистового контурного фрезерования

### Методология определения оптимального значения толщины стружки при контурном фрезеровании на станках с ЧПУ

В качестве рекомендаций по подготовке специалистов разработана методология расчета оптимального значения толщины стружки при контурном фрезеровании с переменным припуском на станках с ЧПУ для дальнейшего программирования в САМ-системе [5]:

- Анализ технологичности деталей с учетом возможности контурного фрезерования на станке с ЧПУ.

- Разработка с применением САД-системы электронных моделей изделия и заготовки, необходимых для создания управляющей программы для станка с ЧПУ. Определение минимального и максимального значений снимаемого припуска.

- Расчет оптимального значения толщины стружки по приведенным алгоритмам.

- Определение возможности обеспечения качества поверхности при заданном расчетном значении толщины стружки.

- Определение экономичности применения контурного фрезерования изделия с переменным припуском при программировании обработки с постоянной величиной толщины стружки на станке с ЧПУ.

- Формирование и внесение в САМ-систему исходной информации (расчетное значение толщины стружки, системы координат, нулевые точки детали и режущего инструмента, рабочие плоскости, плоскости интерполяции, таблицы коррекции инструментов, защищенные зоны станка) [6].

- Выбор в модулях САМ и САРР режущего инструмента и уточненный расчет режимов фрезерования.

- Программирование в САМ-системе технологических и вспомогательных переходов операции фрезерования на станке с ЧПУ [6].

- Верификация управляющей программы и моделирование процесса обработки.

- Адаптация управляющей программы с помощью постпроцессора к конкретному станку с ЧПУ.

- Оформление с применением модулей САД и САРР технологической документации на разработанную фрезерную операцию [7].

### Результаты исследований и выводы

В процессе проведенных исследований получены следующие результаты:

- разработана математическая модель, позволяющая определить оптимальную толщину стружки в зависимости от качества обрабатываемой поверхности;

- подготовлены алгоритмы для автоматизированного расчета условий контурного фрезерования с переменным припуском;

- выполнена проверка адекватности предложенных теоретических разработок компьютерным плоским и объемным моделированием;

- в помощь технологу-программисту предложена поэтапная методология проектирования операций контурного фрезерования с переменным припуском на станках с ЧПУ с использованием сервиса постоянства толщины стружки с применением разработанных математических зависимостей.

По результатам проведенных исследований сформулированы следующие выводы.

- Определена эффективность применения сервиса САМ-системы постоянства оптимального значения толщины стружки при контурном фрезеровании с переменным припуском;
- Разработанные математические зависимости и подготовленные алгоритмы расчета обеспечивают определение эффективных условий контурного фрезерования с переменным припуском;
- Предложенная поэтапная методология разработки контурного фрезерования с переменным припуском с применением разработанных математических расчетов позволяет обеспечить подготовку специалистов по этому вопросу и систематизировать проектную деятельность технолога-программиста.
- Полученные результаты гарантируют реализацию сервиса постоянства толщины стружки при программировании в САМ-системе.

#### Литература

1. Национальный проект "Производительность труда и поддержка занятости" [Электронный ресурс].

Режим доступа: [https://национальные\\_проекты.рф](https://национальные_проекты.рф) (дата обращения: 28.07.2020).

2. Быков А. В., Силин В. В., Семенников В. В., Феоктистов В. Ю. ADEM CAD/CAM/TDM Черчение, моделирование, механообработка. — СПб.: БХВ—Петербург, 2003. — 320 с.

3. Зинченко Д. Особенности и преимущества системы ADEM в области создания управляющих программ для станков с ЧПУ // САПР и графика. 2017. № 7. С. 31—41.

4. Кузьмин Ю. П., Помпеев К. П., Целищев А. А. Использование фрезерного станка с ЧПУ для нанесения регулярного микрорельефа на поверхности заготовки // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58. № 4. С. 273—277.

5. Селезнев В. А. Интегрированные компьютерные конструкторско-технологические CAD/CAM системы в подготовке квалифицированных рабочих // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 2. С. 36—40.

6. Аверченков А. В., Колошкина И. Е., Шентунов С. А. Научное обоснование технологии обработки заготовок на станках с ЧПУ и программирование в САМ-системе // Научное обоснование технологии в машиностроении. 2019. № 4(94). С. 31—39.

7. Колошкина И. Е. Автоматизация разработки технологической документации // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 1(173). С. 56—62.

## OPTIMIZATION OF CONTOUR MILLING MODES IN PROGRAMMING FOR NUMERICAL CONTROL (CNC) MACHINES IN THE CAM-SYSTEM

I. E. Koloshkina

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

*The article provides information about the implementation of the service for optimizing the modes of contour milling with a variable allowance, with a constant optimal value of chip thickness, when programming for CNC machines in the CAM-system. Mathematical dependences of surface quality parameters on milling conditions are determined. Algorithms of automated calculation are presented, and a methodology for designing such operations is developed.*

**Keywords:** contour milling on CNC machines, programming for CNC machines, CAM-programming systems for CNC machines.

---

Колошкина Инна Евгеньевна, аспирант.  
E-mail: [inna.koloshkina@yandex.ru](mailto:inna.koloshkina@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 4 февраля 2021 г.

УДК 51-7:519.174: 519.245:658.512.1  
DOI: 10.52190/2073-2597\_2021\_2\_20

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ КЛАССОВ ERP, APS И MES В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ: ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСКРАШЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ В ОРГАНИЗАЦИИ ОБМЕНА ДАННЫМИ

<sup>1</sup> Ю. Г. Коган, канд. техн. наук; <sup>2</sup> К. В. Пителинский, канд. техн. наук; <sup>1</sup> А. А. Щербина

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия

*Предлагается осуществлять имитационное моделирование потока данных, связанных с производственным бизнес-процессом, поддерживаемым автоматизированными системами классов ERP, APS и MES, с помощью модифицированной раскрашенной сети Петри, что должно обеспечить большую понятность структуры и возможных вариантов поведения потока данных. Это должно позволить точнее предсказать и оценить последствия сбоев в передаче данных, способных возникнуть при совместном использовании автоматизированных систем указанных классов.*

**Ключевые слова:** управление предприятием, имитационное моделирование, раскрашенные сети Петри, бизнес-аналитика, принятие решений, фрактальное моделирование, APS, BCMS, ERP, MCPN, MES.

Система управления непрерывностью бизнес-процессов (BCMS) — это элемент общей системы менеджмента бизнес-процессов в организации, имеющей организационную структуру, политики, планирование деятельности, распределение ответственности, процедуры, процессы и ресурсы.

Эффективная BCMS должна:

- обеспечивать планирование непрерывности деловых операций и реализацию бизнес-процессов в условиях инцидентов и порождаемых ими нарушений;
- учитывать влияние риска возникновения инцидентов и факторов неопределённости.

Требуется уяснить, какие именно организационные и ресурсные условия нужны для обеспечения деятельности предприятия на заданном уровне, принимающим решения, уровне эффективности. Данный уровень соответствующий сфере деятельности организации, может быть задан системой KPI. В этом случае уже есть сложившаяся организационная структура предприятия, в деятельности которого с определённой вероятностью возникают инциденты, нарушающие основные бизнес-процессы и оказывающие общее негативное влияние на эффективность данного субъекта экономических отношений [1].

Возможны два методологических подхода к изучению вероятных инцидентов и их влияния на выполняемые предприятием бизнес-процессы:

- проведение обеспечивающих мероприятий и организация их должного ресурсного обеспечения, причём эти мероприятия выполняются в строгой последовательности и минимизируют возможность возникновения инцидента (аналог метода динамического программирования Р. Беллмана);

- представление инцидента в виде многомерной случайной величины, характеристики которой могут быть определены с помощью направленного вычислительного эксперимента (методами имитационного моделирования) для оценки частоты возникновения инцидента и степени тяжести предполагаемых негативных последствий.

В связи с этим можно считать перспективными следующие шаги по постановке и решению проблемы снижения негативных последствий инцидентов для бизнес-процессов, реализуемых на предприятии:

- анализ теоретических источников по проблематике управленческой деятельности в условиях факторов риска и неопределённости;
- определение ресурсных и методологических основ оптимальных управленческих решений при сложившихся условиях штатного функционирования предприятия;
- разработка (возможно, коррекция) имеющейся структуры управления, состава, методов и форм реализации бизнес-процессов;
- накопление и анализ доступных теоретических и практических материалов с последующим применением на практике при обучении персонала и т. д. [1].

Обычно все эти проблемы решаются с помощью ERP, но здесь возникает ряд препятствий.

На практике не редкость ситуация, когда разработчик ERP-систем пытается под видом ERP предложить целый комплекс, который будет управлять и предприятием, и каждым отдельным цехом. При этом используют единую модель данных и единую базу данных систем. Такое решение несёт возможные риски и неудобства. Чем предприятие крупнее, тем этих проблем может быть больше.

Интеграция предполагает, что несколько систем объединяют в один комплекс для получения единого информационного пространства и организации сквозной непрерывной поддержки бизнес-процессов на производстве.

Например, APS-системы, как правило, встроены в ERP-системы, так как APS — это система объёмно-календарного планирования, определяющая, какие ресурсы необходимо расходовать за некоторый период времени, причём чем больше период, тем эффективнее работа системы. ERP может быть интегрирована с MES для решения задачи оперативного управления производством в цехе.

Несмотря на то, что ERP-системы стали доминирующим программным обеспечением для управления, используемым в системах производства и распределения в ряде отраслей, различные проблемы, связанные с их происхождением и планированием потребностей в материалах (MRP), ещё не решены [2]. ERP-системы обеспечивают интеграцию во всей бизнес-системе, но результаты показывают, что компании в странах с переходной экономикой продолжают сталкиваться с проблемами интеграции MES–ERP-систем [3, 4].

Многие компании используют программное обеспечение систем управления предприятием разных производителей. Их интеграция может быть проблемой, если различные программные продукты имеют различный программный интерфейс, а их структуры хранимых данных — отличаются.

Существует два основных подхода к интеграции данных систем:

- приобретение всего комплекса систем управления для разных уровней предприятия от одного производителя или, в некоторых случаях, продавца;
- объединение таких систем через программный интерфейс или промежуточное ПО.

В связи с растущими требованиями рынка необходимы постоянный анализ и оптимизация процессов на стратегическом, тактическом и операционном уровнях. Важно, чтобы решения принимались на основе надёжных данных, предпочтительно собираемых в режиме реального времени.

Обмен данными в режиме реального времени между бизнес-уровнем и производственным уровнем повысит общую эффективность производства, сократит время передачи данных и предоставит руководству лучшую основу (значения учитываемых показателей) для принятия решений.

Для того чтобы обеспечить возможности взаимодействия корпоративных информационных систем (как правило, ERP) и производственных информационных систем (как правило, MES), необходимо использовать стандарт ISA-95 [5]. Основное внимание в указанном стандарте уделяется не способам организации "физического" обмена информацией, а моделям, с помощью

которых она может быть представлена. Для этого разработаны различные программные решения (интерфейсы, надстройки и автономные приложения), которые позволяют производителям устанавливать передачу данных от одной системы к другой, используемых в ходе выполнения одного и того же процесса. Стандарт ISA-95 широко применяют в качестве основы для интеграционных решений. Язык разметки Business-to-Manufacturing (B2MML) [6] определяет схему (рисунок), которая реализует такие модели ISA-95.

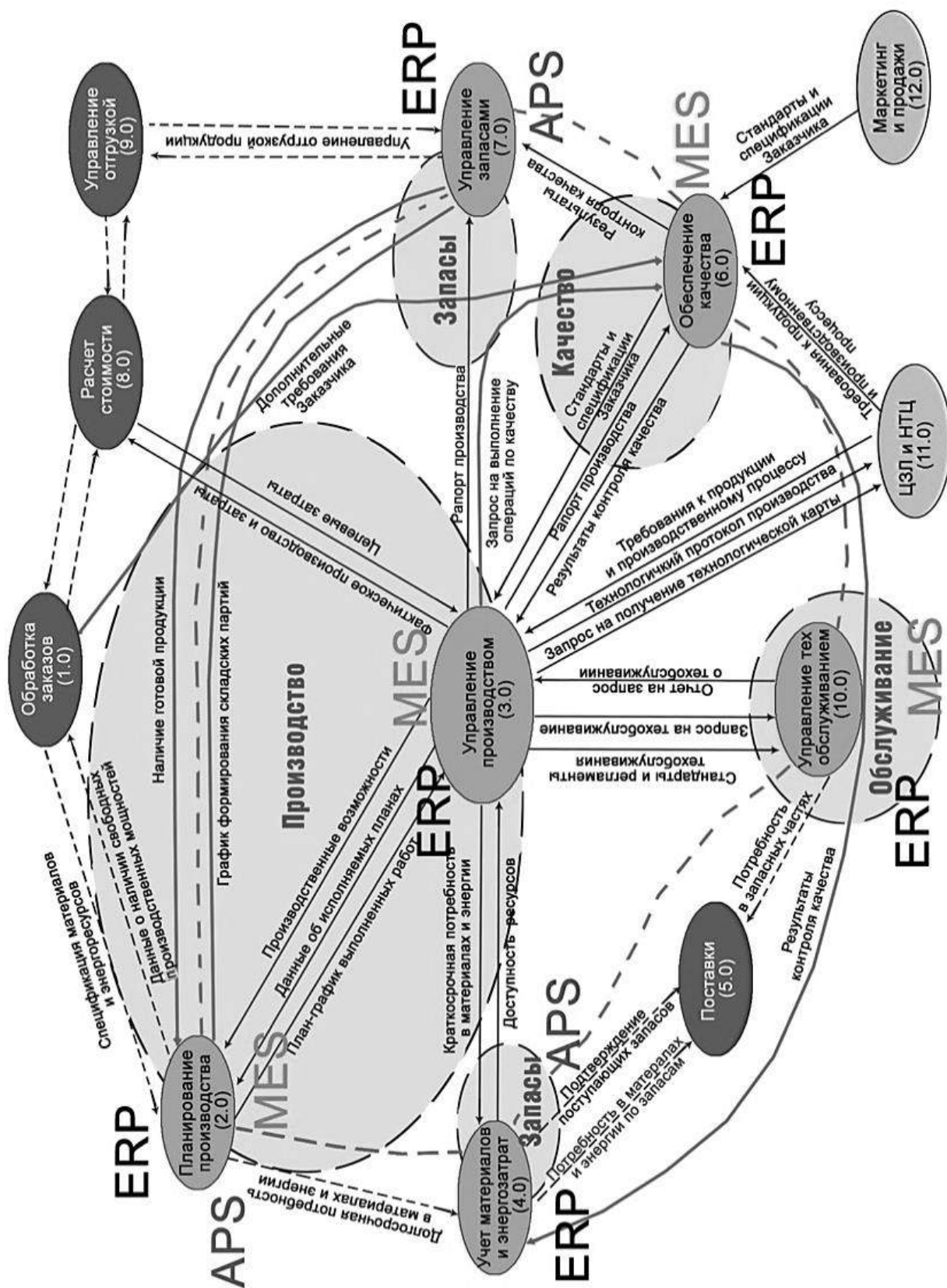
В России ISA-95 многим известен как стандарт на MES-системы. Причиной тому — так называемая модель производственных операций ISA-95, описывающая функции систем управления производственными операциями и связи между ними. Так как эта модель детализирована гораздо сильнее, чем модель MESA, зачастую при определении функциональности MES используют именно её, хотя модель ISA-95 охватывает больший объём функций, чем модель MESA [7—9].

Стандарт ISA-95 помогает специалистам по автоматизации оптимизировать процессы и улучшать отраслевые стандарты для вертикальной интеграции между MES, ERP на предприятии.

Международный стандарт для разработки интерфейса между предприятиями и управляющими системами ISA-95 описывает трёхуровневую структуру, включающую бизнес-планирование и логистику, управление производственными операциями (MOM) и фактический уровень автоматизации. Стандарт ISA больше фокусируется на интерфейсах и вертикальной интеграции между MES, ERP и уровнями предприятия [10]. Перенос информации вручную из одной системы в другую требует времени и усилий. Более того, пользователи систем — люди склонны к ошибкам, а хорошо протестированные интерфейсы — нет. Клетти [11] выделил четыре противоположных подхода к передаче данных, которые обрабатываются различными интерфейсами между системами MES и ERP: база данных в базу данных, на основе файлов, веб-сервисы, RFC и IDoc.

При изучении стандарта ISA-95 найдены потенциальные проблемы передачи данных из одной системы производства в другую: при конвертировании форматов данных (B2MML) (например, от локальных форматов к общепринятым форматам, от общепринятых форматов к локальным форматам), конвертировании имён (от локальных имён к общепринятым, от общепринятых имён к локальным), отправлении/получении сообщений (например, методы публикаций/подписок, методы очередей и ответов), обмене сообщениями между различными системами через единую точку (ESB) (например, API, WEB-сервисы), в логике транзакций (например, правила обработки сообщений).





Модель PERA: функции управления предприятием согласно ГОСТ Р МЭК 62264 (ISA-95)

Между разными системами производственно-го планирования (ERP, APS и MES), которые присутствуют в стандарте ISA-95, имеется связь, но информация, передаваемая между их интерфейсами, часто задерживается, а нередко даже искажается. Например, отсутствие своевременной информации о том, что в конкретном цехе некоторый станок вышел из строя, может привести к тому, что требуемая в связи с этим коррекция производственной программы будет проведена с большим опозданием. Как результат — неоправданные простои оборудования и экономические потери предприятия. Также незнание возникших отклонений от производственного расписания вызовет хаос в графике поставки средств технологического оснащения на станки, что в результате приведёт к срыву плановых сроков производства. Следует уточнить, что ошибки, допускаемые человеком, не рассматриваются. Рассматривается вероятность этих ошибок. Причины потери информации моделируют с помощью различных ситуаций (имитационных экспериментов).

Для того чтобы при передаче данных из одной системы в другую найти проблемные места, необходимо провести эксперименты над моделью промышленного предприятия. Следует уточнить, что "узкие места" необходимо искать заранее, до запуска производственных процессов с негодным управлением. Для таких сложных многоресурсных процессов, в особенности слабо или плохо формализованных, используют имитационное моделирование (ИМ), с помощью которого описывается функционирование системы в виде последовательности операций на ЭВМ. При ИМ появляется возможность определить, как именно текущий бизнес-процесс будет стыковаться с другими процессами на предприятии, для чего требуется не только статическое структурное моделирование, но и динамическое, с учётом времени. Если нет корректной стыковки информационных потоков в проекте процесса, то попытки стыковки систем, поддерживающих эти потоки, должной эффективности не дадут. Соответственно, прежде чем проводить поддержку бизнес-процессов автоматизированными системами, необходимо отладить эти процессы как следует, в том числе и с помощью имитационного моделирования для сложных многоресурсных процессов.

Помимо прочего требуется анализировать не только прохождение информационных потоков процесса, но и соблюдение прав доступа к информации, чтобы она не попадала, куда не следует.

Имитационное моделирование с помощью модифицированных раскрашенных сетей Петри (MCPN) [12] обеспечивает наиболее полный анализ динамики бизнес-процессов выполнения производственного заказа промышленного предприятия, позволяет адекватно моделировать процессы прохождения производственного заказа, время прохождения процессов, маршруты

процессов и т. д. Если моделируется прохождение заказа в реальных производственных масштабах (например, прохождение документов, полномочия исполнителей), то их можно представить разными разметками (типами).

MCPN позволяют моделировать прохождение бизнес-процессов выполнения производственного заказа промышленного предприятия (например, куда информация должна пройти или, наоборот, откуда не должна уйти и т. д.). При этом можно "ловить" проблемы в организации процессов, контролировать степень заполнения документов, т. к. раскраска должна показывать сколько и какие поля заполнены, а какие ещё нет. По текущей раскраске ресурса можно судить о его готовности.

Наличие у каждого маркера уникальной раскраски даёт возможность ставить в процессе имитационного моделирования эксперименты, связанные с заданием различных вариантов допустимых или недопустимых наборов маркеров на входах и выходах позиций и переходов сети Петри. При этом, естественно, возникает вопрос о том, как и из каких соображений формировать перечни допустимых и недопустимых маркеров для конкретных позиций и переходов в сети.

Кроме того, с помощью ограничителей можно искусственно моделировать ситуации, когда ресурс доступен, но его не пускают на выполнение.

Регламент выполнения производственного заказа на предприятии, как и правила передачи данных между производственными системами, можно описать с помощью моделей дискретных бизнес-процессов, с чем, отлично справляются MCPN.

### Литература

1. Пителинский К. В. Моделирование динамических контурных потоков как метод управления непрерывностью бизнеса // Методы менеджмента качества. 2018. № 11. С. 16—21.
2. Chrwan-Jyh Ho., Ireland T. C. Mitigating Forecast Errors by Lot-Sizing Rules in ERP-Controlled Manufacturing Systems // Int. J. Prod. Res. 2012. V. 50. № 11. P. 3080—3094.
3. Bernroider E. W., Sudzina F., Pucihar A. Contrasting ERP Absorption Between Transition and Developed Economies from Central and Eastern Europe (CEE) // Inf. Syst. Manag. 2011. V. 28. № 3. P. 240—257.
4. Simunovic G., Saric T., Lujic R. Application of neural networks in evaluation of technological time // Strojniski vestnik-Journal of Mechanical Engineering. 2008. V. 54. № 3. P. 179—188.
5. ISA95, Enterprise-Control System Integration [Электронный ресурс]. URL: <https://www.isa.org/ISA95/> (дата обращения: 07.05.2020).
6. Business To Manufacturing Markup Language (B2MML) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mesa.org/en/B2MML.asp> (дата обращения: 07.05.2020).

7. Стандарт ISA-95 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.mescenter.ru/index.php/index.php?option=com\\_content&view=article&id=266&ml=1](http://www.mescenter.ru/index.php/index.php?option=com_content&view=article&id=266&ml=1) (дата обращения: 07.05.2020).

8. About MESA [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mesa.org/en/aboutus/aboutmesa.asp> (дата обращения: 07.05.2020).

9. Фролов Е. Б., Нестеров П. А., Косьяненко А. В. Что следует знать о системах производственного планирования // РИТМ машиностроения. 2020. № 2. С. 12—17.

10. Schmidt A. Otto B., Österle H. A Functional Reference Model for Manufacturing Execution Systems

in the Automotive Industry // Wirtschaftsinformatik Proc. 2011. P. 89.

11. Kletti J. MES — Manufacturing Execution System: Moderne Information Technologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung. — Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, Germany, 2015. — 288 p.

12. Коган Ю. Г., Щербина А. А. Параметрическая раскрашенная сеть Петри для моделирования бизнес-процессов "цифрового" предприятия: мат. Всеросс. науч.-практ. конф. "Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал". — Вологда: Маркер, 2018. С. 48—51.

## INTERACTION OF ERP, APS AND MES CLASS SYSTEMS IN PRODUCTION MANAGEMENT: APPLYING MODIFIED PAINTED PETRI NETS TO SOLVE PROBLEMS IN THE ORGANIZATION OF DATA EXCHANGE

<sup>1</sup>Iu. G. Kogan, <sup>2</sup>K. V. Pitelinskiy, <sup>1</sup>A. A. Shcherbina

<sup>1</sup>MSTU "STANKIN", Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

*This article proposes to imitate the data flow of the industrial business process supported by the ERP-, APS- and MES-class systems using the Modified Colored Petri Net, which should provide a greater understanding of the structure and possible behaviors of the data flow. This should allow a more accurate prediction and assessment of the consequences of data transmission failures that may occur when using computer systems of these classes together.*

**Keywords:** enterprise management, imitation modeling, Colored Petri Nets, business analytics, decision making, fractal modeling, APS, BCMS, ERP, MCPN, MES.

**Коган Юрий Григорьевич**, доцент кафедры "Информационные технологии и вычислительные системы".

E-mail: [yugr.kogan@gmail.com](mailto:yugr.kogan@gmail.com)

**Пителинский Кирилл Владимирович**, доцент, MBA, доцент кафедры "Информационная безопасность".

E-mail: [yekadath@gmail.com](mailto:yekadath@gmail.com)

**Щербина Антон Анатольевич**, аспирант кафедры "Информационные технологии и вычислительные системы".

E-mail: [antonsh930@mail.ru](mailto:antonsh930@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 3 марта 2021 г.

УДК 519.8.004.94

DOI: DOI: 10.52190/2073-2597\_2021\_2\_25

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ОНЛАЙН-РЕЖИМЕ В СИСТЕМЕ "УРАНИЯ"

С. В. Сумароков; М. В. Гусев; А. А. Кечков;

Ф. О. Новосельский, канд. эконом. наук; Т. А. Грошев

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), Москва, Россия

К. В. Комиссаров; П. Ю. Белокрылов, канд. техн. наук;

Е. Ю. Повереннов, канд. физ.-мат. наук

АО "ОКБМ Африкантов", Нижний Новгород, Россия

*Представлены итоги разработки модуля визуализации результатов вычислений, реализующего функции системы "УРАНИЯ", разрабатываемой в рамках выполняемого в атомной отрасли проектного направления "Прорыв", обеспечивающие чтение данных из промежуточных результатов вычислений и построение по ним графических представлений для просмотра и анализа инженерами-расчётчиками в онлайн-режиме.*

**Ключевые слова:** система "УРАНИЯ", расчётные исследования, анализ результатов вычислений, онлайн-режим.

Постоянно растущее число расчётных исследований и увеличение их сложности требуют максимального упрощения рутинных процессов подготовки исходных данных, запуска расчётов (в том числе связанных расчётов и расчётов на суперкомпьютерах), а также интерпретации результатов [1, 2]. Немаловажную роль в этом играет возможность визуализации результатов вычислений в рамках выполняемых расчётов, позволяющая просматривать промежуточные результаты в виде различных графических представлений в онлайн-режиме. Особенно это актуально для вычислений, выполняемых длительное время. На основании оценки промежуточных результатов вычислений инженер-расчётчик может своевременно принять решение о корректности выполняемых вычислений и их продолжении или остановке (для перезапуска с изменёнными входными данными).

В рамках функциональной подсистемы запуска и управления вычислениями системы "УРАНИЯ", разработка которой начата в 2019 г. [3], должен быть реализован модуль визуализации результатов вычислений, обеспечивающий следующие возможности:

- просмотр списка расчётных задач, запущенных на вычисление;
- получение и обработку промежуточных результатов вычислений для выбранной расчётной задачи в целях построения их соответствующего графического представления (в виде графика, изображения);
- отображение сформированного графического представления в интерфейсе пользователя.

В силу большого количества используемых расчётных систем (или расчётных кодов, как принято их называть в атомной отрасли) и, соответственно, большого количества возможных форматов промежуточных результатов вычислений выбрать один или несколько стандартных форматов затруднительно. Поэтому обработка

результатов вычислений и построение графического представления должны выполняться с использованием специальных скриптов или программных модулей, соответствующих конкретным форматам промежуточных результатов вычислений конкретного расчётного кода.

Таким образом, должны быть реализованы следующие сервисные возможности настройки формирования и отображения графических представлений результатов вычислений для конкретных расчётных кодов:

- указание файлов, из которых должны извлекаться данные;
- указание скриптов или программных модулей, с помощью которых должны формироваться представления.

### Основные технические решения по реализации модуля визуализации результатов вычислений

Модуль визуализации результатов вычислений системы "УРАНИЯ" включает в себя следующие основные компоненты:

- для определения запущенных расчётных задач в системе "УРАНИЯ" и идентификации соответствующих файлов с промежуточными результатами вычислений данных задач;
- для взаимодействия с файлами промежуточных результатов вычислений, управления скриптами и программными модулями, предназначенными для чтения файлов с промежуточными результатами вычислений и преобразования этих данных в требуемое графическое представление, которое в дальнейшем подготавливается для отображения в веб-браузере;
- организующий отображение графического представления в интерфейсе системы "УРАНИЯ".

Кроме того, для поддержки конкретного расчётного кода предусмотрена возможность разра-

ботки и использования дополнительных скриптов и программных модулей (парсеров), реализующих чтение соответствующих файлов промежуточных результатов и преобразующих их в установленный формат.

Общая схема взаимодействия компонентов представлена на рис. 1.

Компоненты модуля визуализации результатов вычислений:

*Компонент, определяющий запусченные/выполненные расчётные задачи, с использованием API-функций программной платформы системы*

"УРАНИЯ" [3] обеспечивает получение метаданных о всех расчётных задачах (на всех вычислительных ресурсах: персональных компьютерах, кластерах) в системе "УРАНИЯ". Метаданные содержат как описание самой расчётной задачи (название, время постановки на расчёт и т. д.), так и соответствующие этой задаче файлы с результатами вычислений. Для данного компонента реализован графический интерфейс пользователя, представленный на рис. 2, доступ к которому осуществляется по URL-ссылке.



Рис. 1. Общая схема взаимодействия компонентов модуля визуализации результатов вычислений

ЗАВЕРШЕННЫЕ ЗАДАЧИ				
Задача	Дата создания	Решатель	Статус	Прогресс
729	2020-10-14T09:14:25Z	STAR-CCM+12.06.011	Finished	100%
728	2020-10-14T09:11:01Z	Socrat-BN V2	Finished	100%
727	2020-10-13T08:52:02Z	Socrat-BN V2	Failed	
726	2020-10-13T08:47:08Z	Socrat-BN V2	Failed	
725	2020-10-13T08:45:24Z	Socrat-BN V2	Failed	
724	2020-10-13T08:38:12Z	Socrat-BN V2	Failed	
719	2020-10-01T08:51:50Z	Socrat-BN V2	Finished	100%
718	2020-10-01T08:49:27Z	Socrat-BN V2	Finished	100%
716	2020-10-01T07:56:15Z	Socrat-BN V2	Finished	100%
715	2020-10-01T07:34:46Z	EUCLID V.1	Finished	100%
713	2020-09-28T18:09:36Z	Socrat-BN V2	Failed	
712	2020-09-28T13:59:46Z	Socrat-BN V2	Failed	
711	2020-09-28T13:03:37Z	Socrat-BN V2	Failed	
710	2020-09-24T17:59:15Z	Socrat-BN V2	Failed	
709	2020-09-24T07:08:17Z	STAR-CCM+12.06.011	Finished	100%
692	2020-09-14T15:50:07Z	EUCLID V.1	Finished	100%
617	2020-08-12T07:19:47Z	EUCLID V.1	Finished	100%
589	2020-08-04T09:42:07Z	EUCLID V.1	Failed	
588	2020-08-04T00:35:01Z	EUCLID V.1	Failed	
ВЫПОЛНЯЮЩИЕСЯ ЗАДАЧИ				
Задача	Дата создания	Решатель	Статус	Прогресс
730	2020-10-14T10:19:33Z	STAR-CCM+12.06.011	Solving	

Рис. 2. Список завершённых и выполняемых задач



Запуск формирования графического представления промежуточных результатов вычислений осуществляют нажатием на ссылку с номером задачи.

Компонент для взаимодействия с файлами промежуточных результатов вычислений должен быть настроен таким образом, чтобы с определённой периодичностью формировать выходные файлы, содержащие результаты проведённых вычислений (результаты промежуточных вычислений). Рассматриваемый компонент предназначен для обработки таких файлов в онлайн-режиме, это даёт инженеру-расчётчику возможность контролировать ход вычислений и при необходимости вмешиваться в него.

Компонент управляет подключаемыми к нему парсерами, предназначенными для обработки файлов промежуточных результатов вычислений, а также отправки данных по запросу компонента, организующего отображение графического представления. В зависимости от решаемой задачи и используемого расчётного кода компонент запускает подходящий парсер, реализующий обработку файлов промежуточных результатов вычислений и формирующий на основе извлечённых данных промежуточный JSON-контейнер определённого формата. Промежуточный JSON-

контейнер, содержащий необходимые метаданные для построения графиков, интегрируется в общий JSON-контейнер, который подлежит дальнейшей передаче в компонент, организующий отображение графического представления.

Компонент для взаимодействия с файлами промежуточных результатов вычислений реализован в виде REST-сервиса, поэтому передача JSON-контейнера осуществляется по соответствующему GET-запросу компонента, организующего отображение графического представления.

Компонент, организующий отображение графического представления, отвечает за формирование и отображение (отрисовку) графического представления на основании извлечённых данных из файлов промежуточных результатов вычислений. Извлечённые данные компонент получает посредством GET-запроса к компоненту для взаимодействия с файлами промежуточных результатов вычислений. Данные приходят в виде JSON-контейнера, который парсится (разбирается) этим компонентом.

Результатом работы данного компонента является HTML-страница с интерактивным графиком. Пример отображения сформированного графического представления результатов вычислений показан на рис. 3.

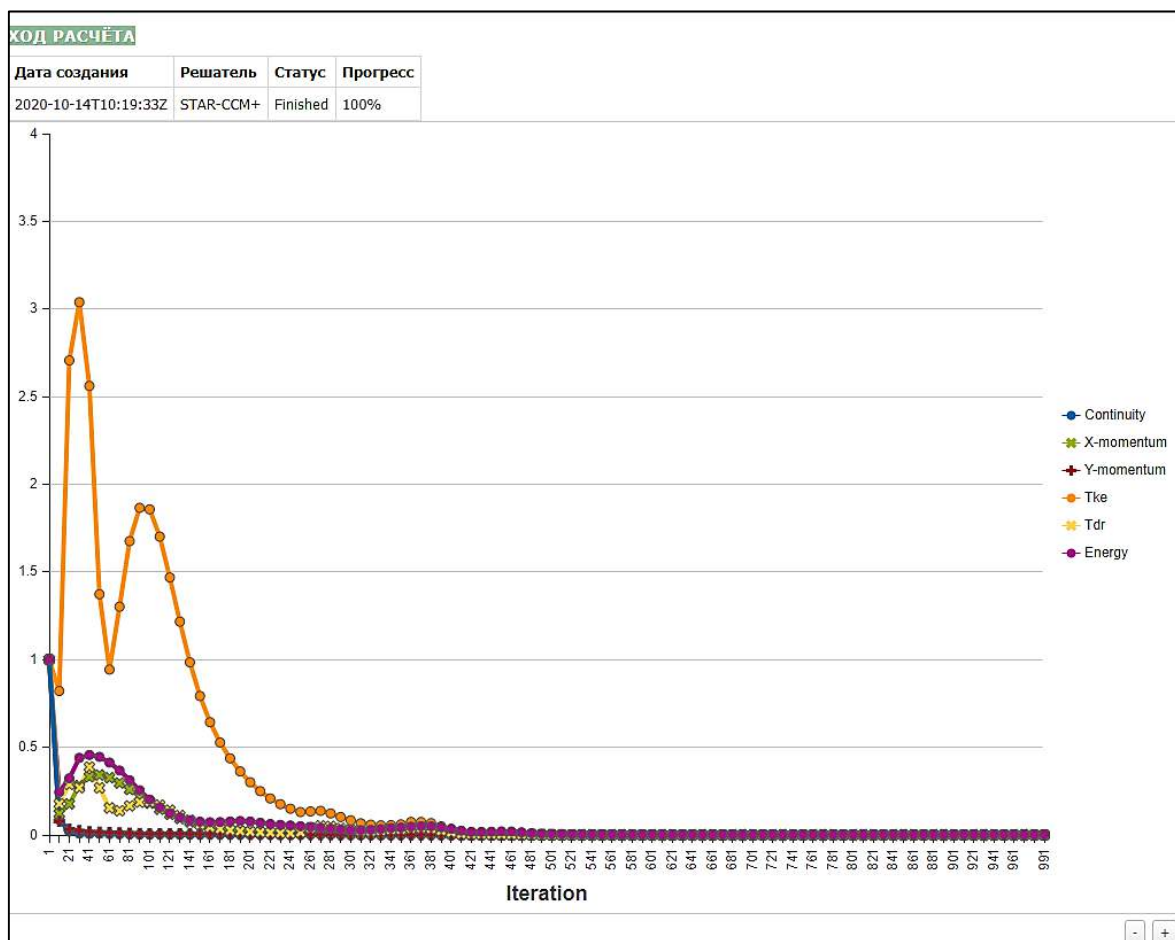


Рис. 3. HTML-страница с инфографическим представлением промежуточных результатов вычислений

При наведении на любую точку графика отображается значение наблюдаемого параметра в этой точке. Реализовано масштабирование графика при помощи кнопок "+" и "-", расположенных в правом нижнем углу графика.

Для случая, когда в одном представлении отображается несколько графиков, предусмотрена возможность отключения/включения требуемых графиков через легенду, отображаемую в правой части окна.

Стоит отметить, что реализованный функционал компонента, организующего отображение графического представления, поддерживает отображение не только структурированных текстовых данных, но и статичных картинок. Таким образом, при формировании парсером готовой картинке в одном из распространённых форматов (например, jpg, png) клиентская часть модуля также отобразит ее на html-странице.

### Реализация парсеров для расчётных кодов

В рамках релиза 1.0 системы "УРАНИЯ" реализованы парсеры для следующих расчётных кодов:

- интегральный расчётный код СОКРАТ-БН/B2;
- интегральный расчётный код ЕВКЛИД/V1;
- расчётный код STAR-CCM+.

Все парсеры реализованы на языке Python 3.7 с использованием стандартных библиотек. На вход парсер получает файл промежуточных результатов вычислений, извлекает из него необходимые метаданные и записывает их в формат JSON-контейнера. Пример фрагмента сформированного JSON-контейнера представлен на рис. 4.

### Заключение

Разработанный модуль визуализации результатов вычислений системы "УРАНИЯ" позволяет в онлайн-режиме проводить анализ промежуточных результатов вычислений, выполняемых в рамках соответствующих расчётных исследований.

Зачастую промежуточные и конечные результаты вычислений расчётными кодами имеют одинаковый формат, поэтому разработанный модуль может быть использован не только для выполняемых расчётных задач, но и для уже завершённых. В таком случае модуль визуализации результатов вычислений может играть роль упрощённого постпроцессора для быстрого анализа результатов расчётов.

### Литература

1. Большов Л. А., Мосунова Н. А., Стрижов В. Ф., Шмидт О. В. Расчётные коды нового поколения для новой технологической платформы ядерной энергетики // Атомная энергия. 2016. Т. 120. № 6. С. 132—137.
2. Белокрылов П. Ю., Большухин М. А., Комиссаров К. В., Петруни В. В., Повереннов Е. Ю. Интеграция процесса расчетного обоснования оборудования реакторных установок в единое информационное пространство для создания цифровых двойников ЯЭУ // Атомная энергия. 2019. Т. 127. № 6. С. 309—315.
3. Сумароков С. В., Гусев М. В., Кечков А. А., Новосельский Ф. О. Концепция и реализация макета системы управления данными и процессами расчётных и экспериментальных научных исследований // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 1. С. 3—7.

```
"body": {
  "type": "STAR-CCM+",
  "created at": "28-Sep20 10:11:05",
  "field_name": ["Iteration", "Continuity", "X-momentum",
"Y-momentum", "Tke", "Tdr", "Energy"],
  "Iteration": [1.0, 2.0, ...],
  "Continuity": [1.0, 0.424087,],
  "Y-momentum": [1.0, 1.0, 0.7451319,],
  "X-momentum": [1.0, 1.0, 0.6129691, 0.3672785,
0.2464355, 0.2023358],
  "Tke": [1.0, 1.0, 0.1787739,],
  "Energy": [1.0, 0.8616751, 0.5647203]
}
```

Рис. 4. Фрагмент JSON-контейнера, сформированного парсером для кода STAR-CCM+

---

## REAL-TIME VISUALIZATION OF CALCULATION RESULTS IN THE "URANIA" SYSTEM

S. V. Sumarokov, M. V. Gusev, A. A. Kechkov, F. O. Novoselsky, T. A. Groshev  
Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Safe Development  
of Nuclear Power Industry of the RAS, Moscow, Russia

K. V. Komissarov, P. Yu. Belokrylov, E. Yu. Poverennov  
Afrikantov JSC "OKB Mechanical Engineering", Nizhy Novgorod, Russia

*This article presents the results of the development of a module for visualization of calculation results that implements these functions "URANIA" system, developed as part of the "Proryv" project direction carried out in the nuclear industry, providing data reading from intermediate calculation results and the construction of graphical representations based on them for viewing and analysis by calculation engineers in real time.*

**Keywords:** "URANIA" system, computational research, analysis of calculation results, real-time mode.

---

**Сумароков Сергей Вячеславович**, заведующий отделом.

E-mail: sumarokov@ibrae.ac.ru

**Гусев Михаил Владимирович**, главный специалист.

E-mail: gusev@ibrae.ac.ru

**Кечков Алексей Александрович**, ведущий инженер.

E-mail: kechkov@ibrae.ac.ru

**Новосельский Филипп Олегович**, заместитель заведующего отделом.

E-mail: pn@ibrae.ac.ru

**Грошев Тимофей Андреевич**, инженер.

E-mail: groshev.ta@ibrae.ac.ru

**Комиссаров Кирилл Витальевич**, начальник подразделения.

E-mail: komissarov@okbm.nnov.ru

**Белокрылов Петр Юрьевич**, начальник бюро.

E-mail: belokrylov@okbm.nnov.ru

**Повереннов Евгений Юрьевич**, ведущий инженер.

E-mail: poverennov@okbm.nnov.ru

*Статья поступила в редакцию 29 декабря 2020 г.*

УДК 621.9.02:004.9

DOI: 10.52190/2073-2597\_2021\_2\_30

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРТЫ НАЛАДКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА СРЕДСТВАМИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ИНТЕРФЕЙСА NX OPEN

А. И. Сергеев, д-р техн. наук; В. Б. Кондусова, д-р техн. наук;

Д. В. Кондусов, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, Россия

А. А. Цыркаев

АО «КумАПП», г. Кумертау, Республика Башкортостан, Россия

*Рассмотрена проблема автоматизации передачи актуальной информации о режущем инструменте в карту наладки. Для решения проблемы разработана динамическая библиотека с применением прикладного программного интерфейса NX Open. В результате достигнуто сокращение времени проектирования карт наладок режущего инструмента и исключены ошибки передачи данных между подсистемой формирования управляющих программ и подсистемой проектирования технологических процессов.*

**Ключевые слова:** САМ-система, NX Open, управляющая программа, числовое программное управление, карта наладки, режущий инструмент.

В связи с быстрым темпом цифровизации производства всех российских авиастроительных предприятий одной из затрагиваемых сфер стал цифровой документооборот.

Рассматривается один из основных элементов цифрового производства, а именно представление технологических процессов в электронном виде.

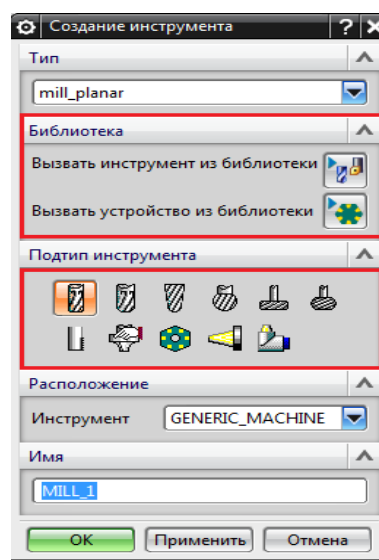
Представление технологических процессов в цифровом виде позволит повысить эффективность технологической подготовки производства и реализовать автоматическое планирование производственных ресурсов [1]. На многих предприятиях отсутствует программное обеспечение (ПО) для автоматизированного создания маршрутной карты для управляющих программ из-под NX. Авторами представлена часть процесса создания маршрутной карты — создание карты наладки режущего инструмента.

### Постановка задачи

Инженер-технолог, работающий с NX, сталкивается со следующей проблемой: при разработке САМ-проекта получения управляющей программы для обрабатывающих центров значительная часть времени затрачивается на создание карты наладки (КН) режущего инструмента (РИ), которая необходима наладчику ЧПУ для сборки и настройки обработки детали. Увеличение времени создания КН РИ происходит из-за отсутствия общей базы инструмента. По каждому проекту технолог вынужден выяснять наличие на предприятии необходимого инструмента и анализировать его справочные данные или же использовать имеющиеся наработки и свой опыт в разработке предыдущих изделий, копируя инструмент со справочными данными из других проектов. Описанный подход к созданию КН занимает очень много времени, поэтому возникла необходимость в автоматизации этого

процесса. Помимо увеличения времени при ручном заполнении КН в процессе записи диаметра режущей части, общего вылета и других параметров, повышается вероятность возникновения ошибок ввода данных. Решением поставленной задачи с учетом ее масштабности является разработка программного модуля автоматизации создания КН, интегрированного с системой NX, для сохранения каталожного описания в \*.prt файле.

В САМ-системе NX при создании трехмерной модели режущего инструмента, которая в дальнейшем участвует в создании траектории и использовании симуляции станка в целях проверки столкновения, выполняется выбор из библиотеки инструментов с уже заданными параметрами (диаметр фрезы, общая длина, длина режущей кромки, радиус и т. д., а также размеры держателя) или осуществляется ручной ввод геометрических размеров инструмента и держателя (патрона) (рис. 1).



**Рис. 1. Окно создания инструмента в NX-CAM:**

1 — создание и выбор режущего инструмента из библиотеки;  
2 — создание режущего инструмента вручную

## Решение задачи

В процессе формирования КН необходима автоматизация записи и получения геометрических параметров инструмента и дополнительных атрибутов из NX (рис. 2) как ключевая задача, решение которой позволит снизить время разработки и вероятность возникновения ошибок.

Для решения этой задачи разработана динамическая библиотека на основе применения инструментов NX Open. Подобный подход в разработке КН для различных САМ-систем описан в работах [2—4]. Укрупненный алгоритм записи геометрических параметров инструмента в таблицу приложения для дальнейшей передачи их в КН показан на рис. 3. Основная часть программного кода, реализующего алгоритмы библиотеки, разработана на основе описания функций NX Open API, приведенного в работе [5].

В NX отсутствует инструментарий записи в атрибуты каталожных данных для создания КН инструментов, есть только возможность редактирования внесенных ранее атрибутов, как это

показано на рис. 4. Siemens для записи в атрибуты предлагает использовать библиотеку MRL из-под PLM Teamcenter, которая приобретается дополнительно и в имеющейся поставке отсутствует.

Путем анализа области по реализации хранения справочной информации о РИ в NX установлено, что самым рациональным решением является запись информации в атрибуты инструмента. В поля значений (позиции 1 и 2 на рис. 4) вводятся шифр инструмента, количество пластин и другие необходимые параметры режущего инструмента. Для записи используют атрибут UF\_ATTR\_MAX\_TITLE\_LEN строкового типа (позиция 3 на рис. 4).

Создание графического интерфейса выполнялось в визуальном конструкторе User Styler, предназначенном для построения окон диалогов. Создается диалоговое окно с расширением \*.dlg, в котором в дальнейшем заполняют атрибуты и сохраняют в выбранном инструменте, в дереве "вид инструмента". На рис. 5 рамкой выделены строки для записи атрибутов.

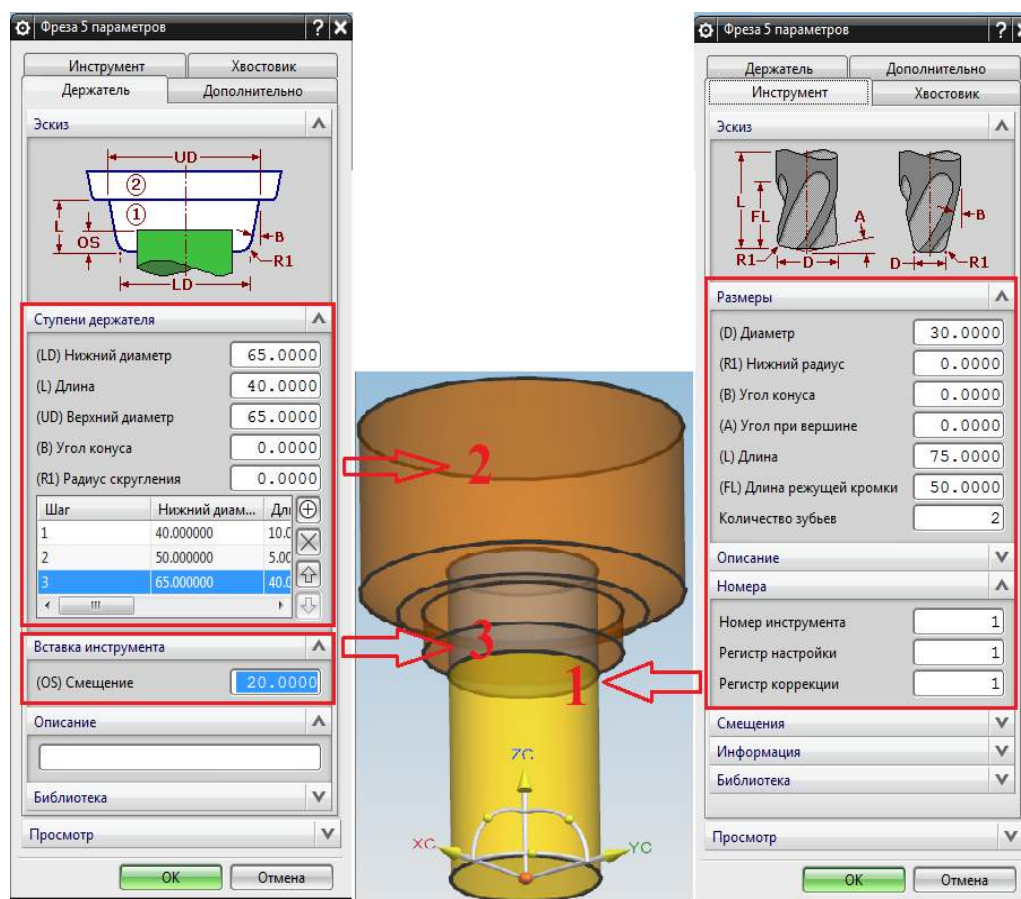


Рис. 2. Параметры РИ в NX-CAM:

1 — геометрические параметры; 2 — параметры держателя; 3 — глубина зажатия инструмента (важный параметр, который должен учитываться при выводе общего вылета инструмента)

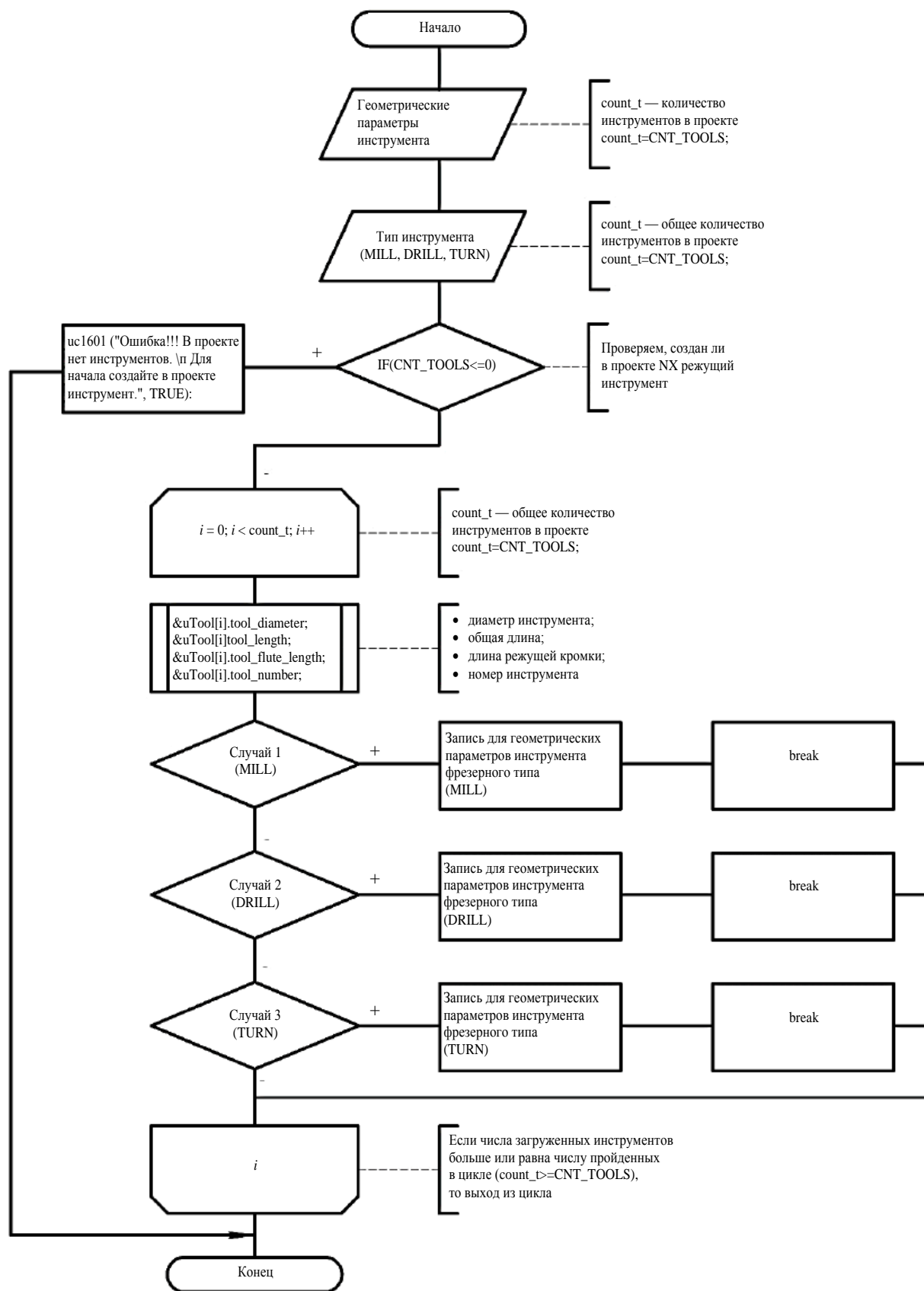


Рис. 3. Алгоритм записи геометрических параметров РИ



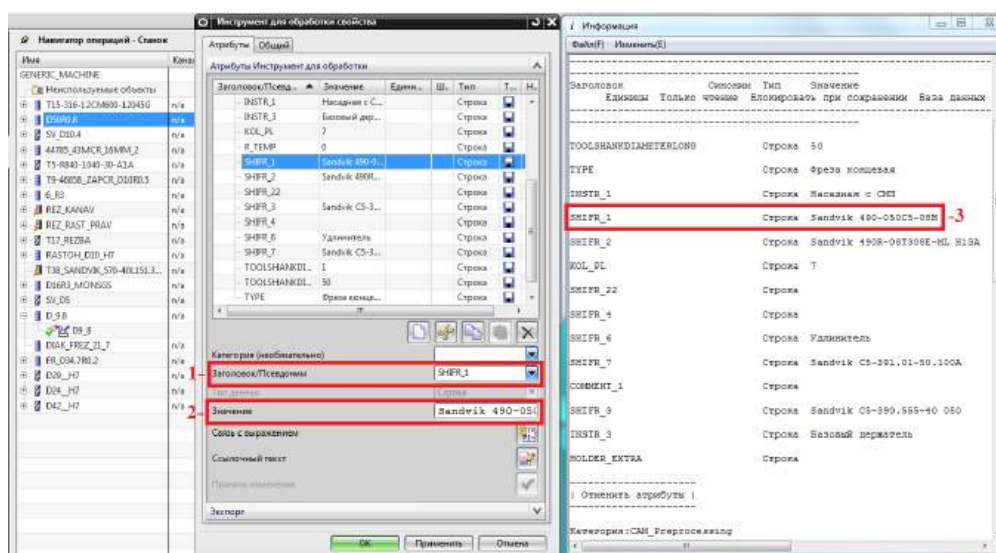


Рис. 4. Заполнение атрибутов режущего инструмента

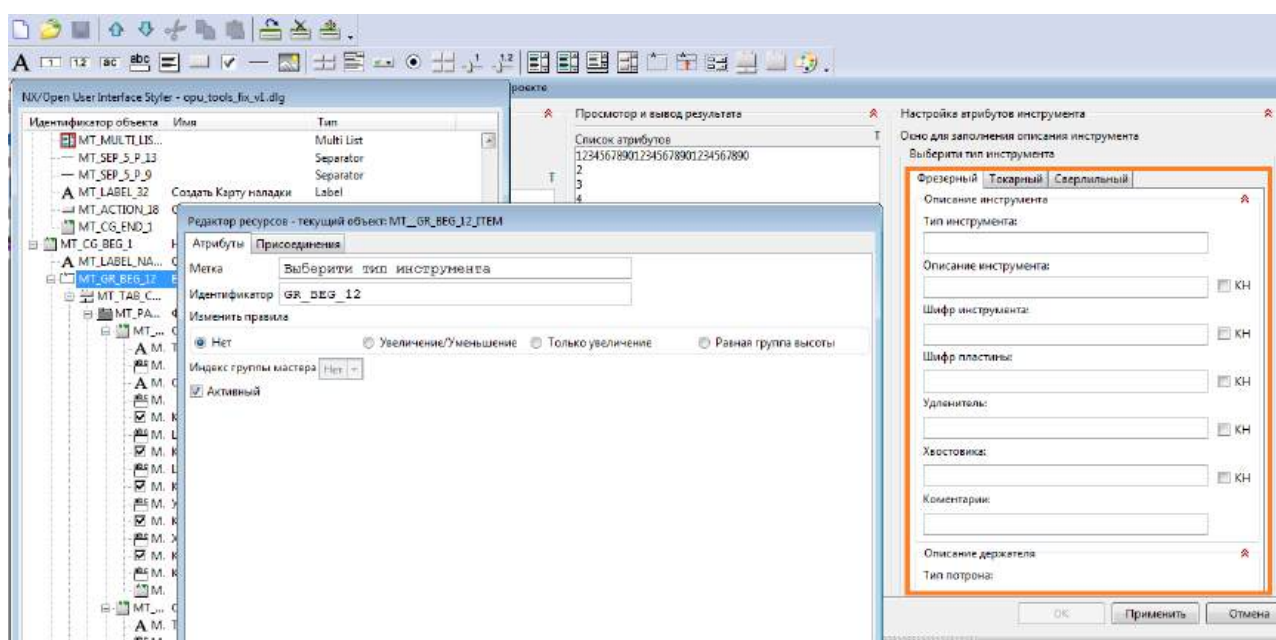


Рис. 5. Создание интерфейса

Для исключения возможных ошибок ввода реализованы соответствующие проверки. Одна из таких проверок — проверка на наличие выбранного инструмента. Если инструмент не выбран ( $obj\_count \leq 0$ ), в дереве NX программа выдает ошибку "Объект для записи атрибутов не выбран".

Запись информации о РИ в его атрибуты предоставляет следующие преимущества:

- хранение всей информации об инструменте непосредственно в одном проекте NX, содержащем и обработку, и сборку моделей, и эскизы установок;
- при создании нового проекта с обработкой можно копировать инструмент из других проектов, атрибуты будут копироваться автоматически вместе с инструментом. Также с помощью приложения возможно, к примеру, не изменяя

тела фрезы, поменять шифр пластины, тем самым экономя время на создание КН;

- создание инструментов-дублеров, в которых, например, меняется только вылет инструмента, часто используют на станках с ЧПУ, имеющих большой инструментальный магазин, для сокращения времени на обработку, достигаемого увеличением скорости резания более коротким инструментом там, где это возможно.

Недостатком приведенного подхода является отсутствие централизованной библиотеки инструментов, что затрудняет доступ к РИ, созданным разными пользователями. Поскольку в ближайшей перспективе не планируется приобретение библиотеки MRL, работающей из-под PLM Teamcenter и реализующей единую базу РИ, указанным недостатком решено пренебречь.

После создания в NX управляющей программы по модели технолог с помощью приложения может вывести всю требуемую для него информацию об инструментах в карту наладки в MS Excel. Это геометрические параметры (диаметр  $D$ , нижний радиус  $R1$ , длина  $L$ , длина режущей кромки  $LF$ ; см. рис. 2) и само описание инструмента (тип инструмента, его описание, шифр пластины, тип хвостовика, тип патрона и другие параметры, которые занесены в атрибуты инструмента и идентифицируются по полю "заголовок/псевдоним"; см. рис. 4).

### Вывод

Созданная динамическая библиотека на основе прикладного программного интерфейса NX Open и визуального конструктора пользовательского интерфейса User Styler позволяет записывать атрибуты и считывать все необходимые для создания карты наладки параметры режущего инструмента. Полное описание РИ сохраняется в файле инструмента и всегда доступно для редактирования и передачи в другие проекты, что значительно сокращает время разработки управляющей программы. Автоматическая передача данных из отлаженного проекта NX-CAM в карту наладки исключает возникновение ошибок переноса данных вручную.

В перспективе дальнейшего развития проекта планируется разработка динамической библиотеки, автоматически создающей таблицу карты наладки в модуле черчения NX Drawing.

### Литература

1. Маданов А. В., Лотоцкий А. М., Кораблёва А. А. Особенности проектирования технологических процессов механообрабатывающего производства в условиях импортозамещения // Изв. Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 4(3). С. 510—515.
2. Блюменштейн А. А., Оглы Кулиев А. И. Проектирование технологических процессов с операциями на станках с ЧПУ на примере АО "АВИАСТАР-СП": сб. науч. тр. Всеросс. науч.-практ. заочной конф. с международным участием, посвященной 90-летию Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, докт. техн. наук профессора Л. В. Худобина "Инновационные технологии в металлообработке". — Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2018. С. 231—234.
3. Столяров И. А., Шевалдов И. А., Блюменштейн А. А. Автоматизированное формирование инструментальных наладок для станков с ЧПУ в САМ-модуле Siemens NX на примере АО "АВИАСТАР-СП": Мат. Всеросс. науч.-практ. конф. с международным участием "Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли". — Казань: КНИТУ-КАИ, 2018. С. 512—514.
4. Железняк И. С., Железняк Т. Е., Шерстобитова В. Н. Этапы проектирования карт наладки станков с ЧПУ с помощью CAD/CAM систем: сб. тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. "Инновации в машиностроении". — Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2018. С. 293—298.
5. Тихомиров В. А. Разработка приложений для Unigraphics на языке C. — Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО "КнАГТУ", 2012. — 462 с.

## AUTOMATION OF DESIGNING A CUTTING TOOL SETUP CARD USING THE APPLICATION PROGRAM INTERFACE NX OPEN

A. I. Sergeev, V. B. Kondusova, D. V. Kondusov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Orenburg State University",  
Orenburg, Russia

A. A. Tsyркаev

JSC "KumAPE", Kumertau, Republic of Bashkortostan, Russia

*The problem of automation of the transfer of relevant information about the cutting tool to the setup card is considered. To solve the problem, a dynamic library was developed using the NX Open application programming interface. As a result, a reduction in the design time of cutting tool setup cards was achieved and data transfer errors between the subsystem for generating control programs and the subsystem for designing technological processes were eliminated.*

**Keywords:** CAM-system, NX Open, control program, numerical program control, setup card, cutting tool.

Сергеев Александр Иванович, профессор.

E-mail: alexandr\_sergeew@mail.ru

Кондусова Валентина Борисовна, доцент.

E-mail: valyosha@list.ru

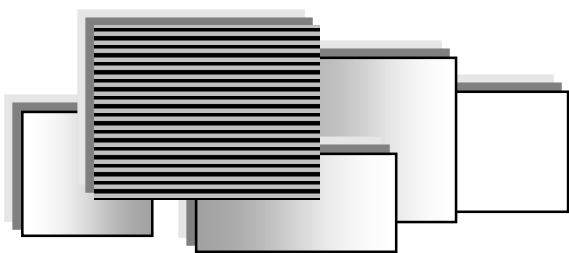
Кондусов Дмитрий Викторович, аспирант.

E-mail: kdimka@list.ru

Цыркаев Андрей Анатольевич, инженер-технолог.

E-mail: andrei\_cirkaew@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29 марта 2021 г.



## ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 658.5.012.7:004.932

DOI: 10.52190/2073-2597\_2021\_2\_35

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ НА 2D-ЧЕРТЕЖАХ

С. Е. Кондратьев; О. В. Ульянин, канд. техн. наук  
Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова,  
Москва, Россия

Е. М. Абакумов, д-р техн. наук  
Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва, Россия

*Рассмотрен способ создания программного комплекса, позволяющего проводить автоматическую проверку технических требований на электронных двумерных чертежах. Используются методы компьютерного зрения и машинного обучения, обладающие большей гибкостью и лучшей способностью к обобщению по сравнению со стандартными программами, в которых каждый частный случай требует дополнительной обработки.*

**Ключевые слова:** автоматическая проверка электронных конструкторских документов, распознавание технических требований на 2D-чертежах, оптическое распознавание символов (OCR), компьютерное зрение, PLM-система.

Автоматическая проверка содержимого электронных конструкторских документов (ДЭ) вызывает интерес многих специалистов, связанных с процессами разработки изделий, т. к. позволяет сократить количество ошибок в ДЭ и длительность согласования ДЭ. Однако способы проверки и контроля слабо формализованных и структурированных составляющих ДЭ недостаточно полно описаны. К таким составляющим относятся технические требования (ТТ) на электронных двумерных конструкторских чертежах (2D-чертежах).

Цель работы — создание программного комплекса, обеспечивающего распознавание ТТ на 2D-чертежах для их автоматической проверки, нормативного, семантического и других видов анализа. Проблема распознавания технических требований актуальна для многих предприятий, отличающихся использованием систем автоматического проектирования (САПР) от разных производителей и незначительным применением аннотированных 3D-моделей.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- обзор современных средств детектирования объектов на изображении;
- формальное описание ТТ на 2D-чертеже как объекта на изображении;
- разработка программы по распознаванию ТТ в 2 режимах работы: сервиса и проверочной функции в рабочем процессе workflow;
- определение качества распознавания ТТ на основе отработки программы на электронном архиве 2D-чертежей.

Технические требования являются неотъемлемой частью 2D-чертежей и содержат указания относительно материала и его свойств, заготовки, термической обработки, размеров, качества поверхностей, условий эксплуатации изделия и т. д. Основные требования к выполнению технических указаний на чертежах отражены в ГОСТ 2.316-2008 [1]. Среди международных стандартов основные требования к надписям на технических документах содержит стан-

дарт ISO 3098-1:2015 Technical Product Documentation. Lettering. General Requirements [2]. Среди немецких стандартов по данной тематике выделяется стандарт DIN 6776 Technical drawings. Lettering, characters [3], который в большей мере посвящен требованиям к выполнению шрифтов надписей и символов.

### Детектирования объектов на изображении

Задача детектирования объектов на изображении является одной из фундаментальных и наиболее сложных в области компьютерного зрения и обработки изображений. Эта задача находит практическое применение в таких областях, как охранные системы, системы автопилотирования, индексирования изображений и видео и т. д.

В области обработки изображений наибольшее распространение получила библиотека с открытым кодом OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения. Эта библиотека реализована на языках C/C++, а также разрабатывается для Python, Java, Matlab, Ruby и других языков. Наряду с этим широко применяются программные фреймворки (например, NeoML от ABBYY) и библиотеки (например, TensorFlow, EAST Text Detector (Python)) для автоматического нахождения и классификации образов на изображениях и видео, достигая качества человеческого восприятия.

В отношении распознавания текста широко применяют технологию оптического распознавания символов OCR (Optical Character Recognition) — электронный перевод изображений рукописного, машинописного или печатного текста в текстовые данные, используемые для представления символов в компьютере (например, в текстовом редакторе). Эта технология применяется для преобразования документов и книг в электронный вид, автоматизации систем учета в бизнесе, перевода текста с одного языка на другой и т. д.

Исследования и научные работы в области автоматической обработки 2D-чертежей проводили применительно к распознаванию конструкторских элементов [4], использованию методов машинного обучения для распознавания деталей машин [5], прямой интеграции CAD- и САМ-систем [6] и т. д. Однако в подобных работах не уделено должного внимания вопросам распознавания текста и в частности ТТ на 2D-чертежах. Одним из первых этот вопрос был рассмотрен в кандидатской диссертации Аверченкова А. В. [7]. В данной работе автор предлагает для распознавания ТТ разработать базу знаний терминов и условностей, применяемых в написании ТТ на конкретном предприятии. Хотя в своей работе автор делает основной акцент

на распознавании других элементов 2D-чертежа, таких, например, как отклонения формы и шероховатости, для которых детально проработано признаковое описание объектов и применение нечетких множеств, вопрос о формальном описании ТТ как объекта на изображении в [7] полностью не раскрыт. Наряду с этим не сказано, для каких целей или в каких процедурах можно использовать распознанный текст из ТТ. Поэтому основное внимание необходимо уделить проработке этих вопросов.

### Формальное описание технических требований на 2D-чертеже

С точки зрения изображения 2D-чертеж можно представить как совокупность следующих объектов: линий, прямоугольников, окружностей, чисел, слов, специальных символов и т. д. ТТ состоят из слов, чисел, математических и специальных символов, знаков препинания.

ТТ на 2D-чертеже обладают следующими свойствами:

- ТТ представляет собой набор расположенных рядом слов, т. е. каждое слово имеет как минимум одно близкое по расположению слово. Если представить множество точек  $P$ , принадлежащих четырем взаимно перпендикулярным линиям, исходящим из центра контура слова и зависящим от ширины и высоты контура слова, то существует хотя бы одна точка  $p$  из этого множества, которая принадлежит хотя бы одной области, ограниченной контуром какого-либо слова  $c$  из множества всех контуров слов ТТ  $C$ :

$$\begin{aligned} \exists p, p \in P, \\ \exists c, c \in C, \rightarrow p \in c; \end{aligned}$$

- ТТ является самым большим с точки зрения количества слов текстовым блоком,  $T$  — множество всех текстовых блоков 2D-чертежа:

$$T = \{t_i, \dots, t_n\},$$

где  $i = \overline{1, n}$  — порядковый номер текстового блока;

$t$  — текстовый блок.

Считая, что  $q_i$  — количество слов в текстовом блоке  $t_i$ , определяем максимальное количество слов в блоках  $q_{\max}$ :

$$\forall q \in N : (q \geq q_{\max} \Rightarrow q = q_{\max}),$$

где  $N$  — множество натуральных чисел.

Таким образом  $TT = \{t \in T \mid q_{\max}\}$ ;

- ТТ никогда не бывают окружены рамкой или помещены в таблицу, не содержат каких-либо объектов в обрамляемой ТТ пря-

моугольной области, если представить прямоугольную область, содержащую ТТ, как

$$\text{Rect}_{\text{ТТ}}[\{x_{1\text{ ТТ}}, y_{1\text{ ТТ}}\}, \{x_{2\text{ ТТ}}, y_{2\text{ ТТ}}\}],$$

где  $\{x_{1\text{ ТТ}}, y_{1\text{ ТТ}}\}$  — координата левого верхнего угла прямоугольной области;  
 $\{x_{2\text{ ТТ}}, y_{2\text{ ТТ}}\}$  — координата правого нижнего угла прямоугольной области.

Обрамляемую прямоугольную область можно представить, как

$$\text{Rect}_{\text{ОО}}[\{x_{1\text{ ОО}}, y_{1\text{ ОО}}\}, \{x_{2\text{ ОО}}, y_{2\text{ ОО}}\}],$$

где  $\{x_{1\text{ ОО}}, y_{1\text{ ОО}}\}$  — координата левого верхнего угла обрамляемой прямоугольной области;

$\{x_{2\text{ ОО}}, y_{2\text{ ОО}}\}$  — координата правого нижнего угла обрамляемой прямоугольной области.

При этом ширину области слева и справа от ТТ можно принять приблизительно равной двум средним высотам слов в ТТ:

$$w \approx 2h_w = x_{1\text{ ТТ}} - x_{1\text{ ОО}} = x_{2\text{ ОО}} - x_{2\text{ ТТ}},$$

где  $h_w$  — средняя высота слов в ТТ.

Таким образом, область, ограниченная обрамляемой и границами ТТ, не содержит никаких объектов:

$$\text{Rect}_{\text{ОО}}[\{x_{1\text{ ОО}}, y_{1\text{ ОО}}\}, \{x_{2\text{ ОО}}, y_{2\text{ ОО}}\}] - \text{Rect}_{\text{ТТ}}[\{x_{1\text{ ТТ}}, y_{1\text{ ТТ}}\}, \{x_{2\text{ ТТ}}, y_{2\text{ ТТ}}\}] = \emptyset.$$

По ГОСТ 2.316-2008 при выполнении графического документа на двух и более листах текстовую часть помещают только на первом листе независимо от того, на каких листах находятся изображения. Таким образом, ТТ принадлежит L1.

Для выполнения текстовых составляющих электронных конструкторских чертежей, как правило, используют шрифты серии GOST, выполненные с учетом требований ГОСТ 2.304-81 [8]. В целях получения наилучшего качества распознавания ТТ в настоящей работе обучающие данные будут строиться на основе распространенных шрифтов GOST Type A и GOST Type B.

#### Разработка программного комплекса по распознаванию технических требований

При разработке программного обеспечения (ПО) выбор основных используемых алгоритмов следует осуществлять исходя из задачи, которую данное ПО будет решать. Стандартные алгоритмы, построенные на использовании жестких решающих правил (например, ветвлений "if-else"), имеют следующие недостатки:

- логика, применяемая для принятия решения, относится к одной конкретной области и задаче. Небольшое изменение задачи или входных данных может повлечь за собой переписывание большей части системы;

- разработка правил требует глубокого понимания процесса принятия решения [9].

Главное преимущество программного обеспечения, основанного на алгоритмах машинного обучения, состоит в том, что при изменении условий, писать инструкции, учитывающие все возможные проблемы и содержащие все решения. Достаточно заново запустить обучение программы на дополненной новыми данными обучающей выборке. При следующем запуске программы эти новые данные будут обработаны должным образом.

Задача распознавания технических требований, по сути, является задачей разбиения элементов 2D-чертежа на два класса элементов:

- относящихся к ТТ;
- не относящихся к ТТ.

В данной работе для распознавания текста использовано одно из самых распространенных и функциональных Open Source-решений в области OCR — Tesseract OCR 3.05.01. Указанное ПО изначально разработано компанией Hewlett Packard, а затем выкуплено компанией Google, которая открыла исходный код этого ПО под лицензией Apache 2.0. В основе данного ПО лежит адаптивный классификатор (Adaptive Classifier), а также опция "Режим куба", при которой используется нейронная сеть для обучающей системы вместо адаптивного классификатора.

В общем виде программный комплекс по распознаванию ТТ 2D-чертежа состоит из модулей по:

- удалению шумов (объектов на изображении), которые могут попадать в наибольший набор связанных контуров слов, но при этом не являться ТТ;
- определению контуров объектов, расположенных на 2D-чертеже;
- определению наибольшего набора связанных контуров (прямоугольников), который должен содержать ТТ, и получению на его основе фрагмента, содержащего текст ТТ;
- распознаванию ТТ на выделенном фрагменте 2D-чертежа.

При работе с 2D-чертежом используется копия его визуального представления в формате двумерной матрицы. В библиотеке OpenCV эта матрица описывается классом *org.opencv.core.Mat* [10]. Каждый элемент матрицы представляет собой один пиксель.

На 2D-чертеже помимо ТТ присутствуют также другие слова: надписи, фамилии, даты, наименования, обозначения и т. д. По отношению к ТТ данные слова являются шумами, т. е. могут быть ошибочно добавлены к словам из ТТ. Для того чтобы эти слова не были включены в набор связанных контуров слов из ТТ, необходимо удалить их с изображения. При этом встречаются случаи, когда на 2D-чертеже

располагаются таблицы с большим количеством слов. Такие слова также необходимо удалить.

Разработан программный модуль по удалению подобных слов. Модуль детектирует большие по размерам прямоугольники (в предположении, что это часть таблицы или основной надписи 2D-чертежа) на изображении и заполняет их внутренние области белым цветом. Для этого используют методы выделения границ на изображении *Canny()*, поиска контуров *findContours()*, возврата прямоугольной области, в которую вписан контур *boundingRect()*, заполнения области пикселями одного цвета *fillPoly()* и другие методы из класса *org.opencv.imgproc.Imgproc*. Пример изображения, полученного с 2D-чертежа после отработки модуля, представлен на рис. 1.

Для определения контуров объектов, среди которых будут и слова из ТТ, используют методы преобразования цветового пространства в серую градацию *cvtColor()*, вычисления приближенного значения градиента яркости изображения *Sobel()*, создания произвольной матрицы с ядром (в форме прямоугольника) *getStructuringElement()*, выполнения морфологических преобразований (расширение светлых областей с сужением темных) *morphologyEx()*, поиска контуров *findContours()* из класса *Imgproc*. Для большинства слов ширина контура одного слова больше высоты, а для слов, состоящих из одной буквы (цифры), высота контура не более чем в 3 раза превышает ширину

контура. С учетом этого было использовано условие для определения контуров: ширина контура больше высоты ИЛИ отношение высоты к ширине меньше или равно 3. Безусловно, эти условия зависят от свойств конкретного шрифта.

Поскольку ТТ являются самым большим набором связанных слов (контуров) на изображении, при чем контуры слов не пересекаются и должны иметь определенные соотношения сторон, можно предположить, что самым большим набором связанных контуров (полученных на предыдущем этапе) на изображении и является ТТ. Связность по отношению к контуру определяется наличием в близлежащей области этого контура других контуров и формировании на их основе наборов (множеств, тип данных — *java.util.HashSet*). Путем итеративного обхода всего списка контуров и определения к ним связанных в наборы контуров переформировываются (обновляются новыми связанными контурами). Список с наборами контуров отсортировывается по количеству содержащихся в наборах контуров. Выбирается набор с наибольшим количеством контуров. Затем на основе всех контуров (прямоугольников), содержащихся в этом наборе, определяются две точки: самая левая верхняя и самая нижняя правая, которые однозначно определяют прямоугольную область с ТТ. На рис. 2 представлен пример изображения 2D-чертежа с выделенными контурами и областью с ТТ.

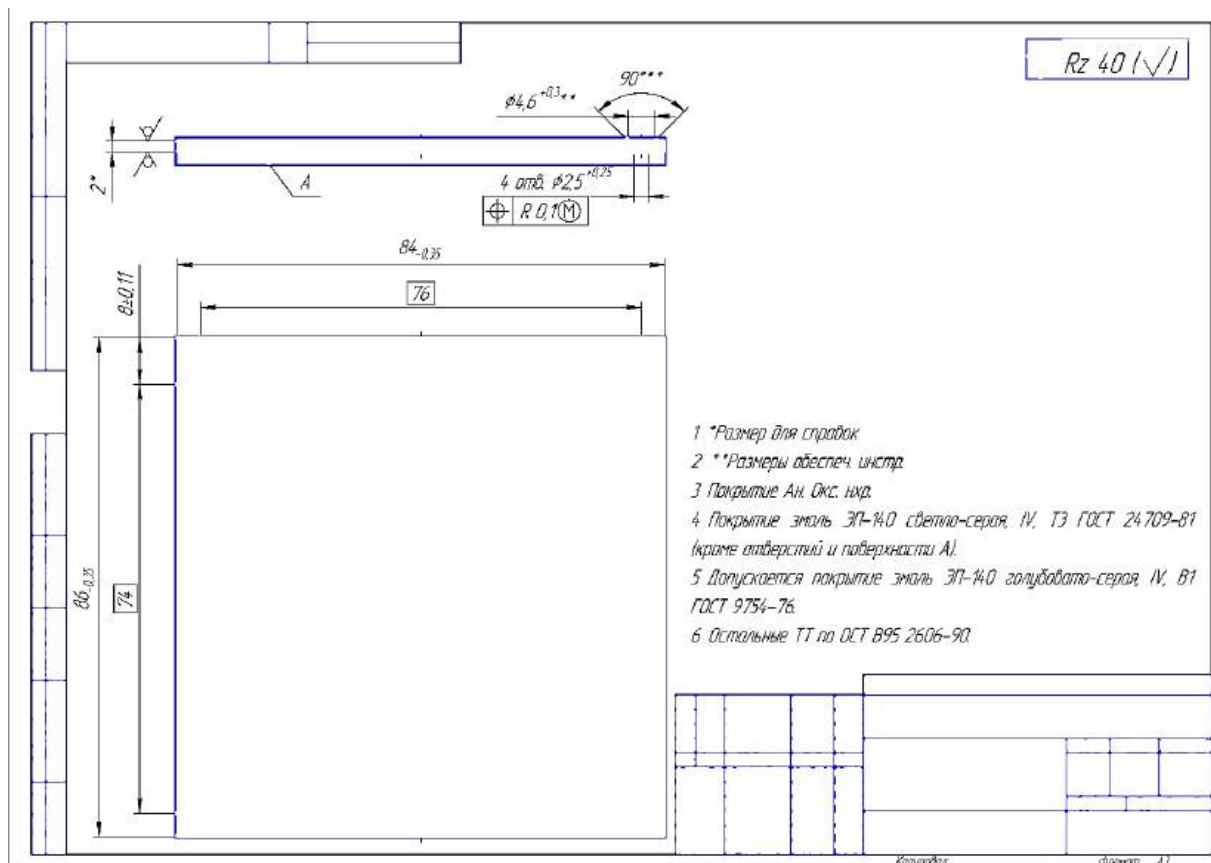


Рис. 1. Пример изображения после отработки модуля по удалению шумов



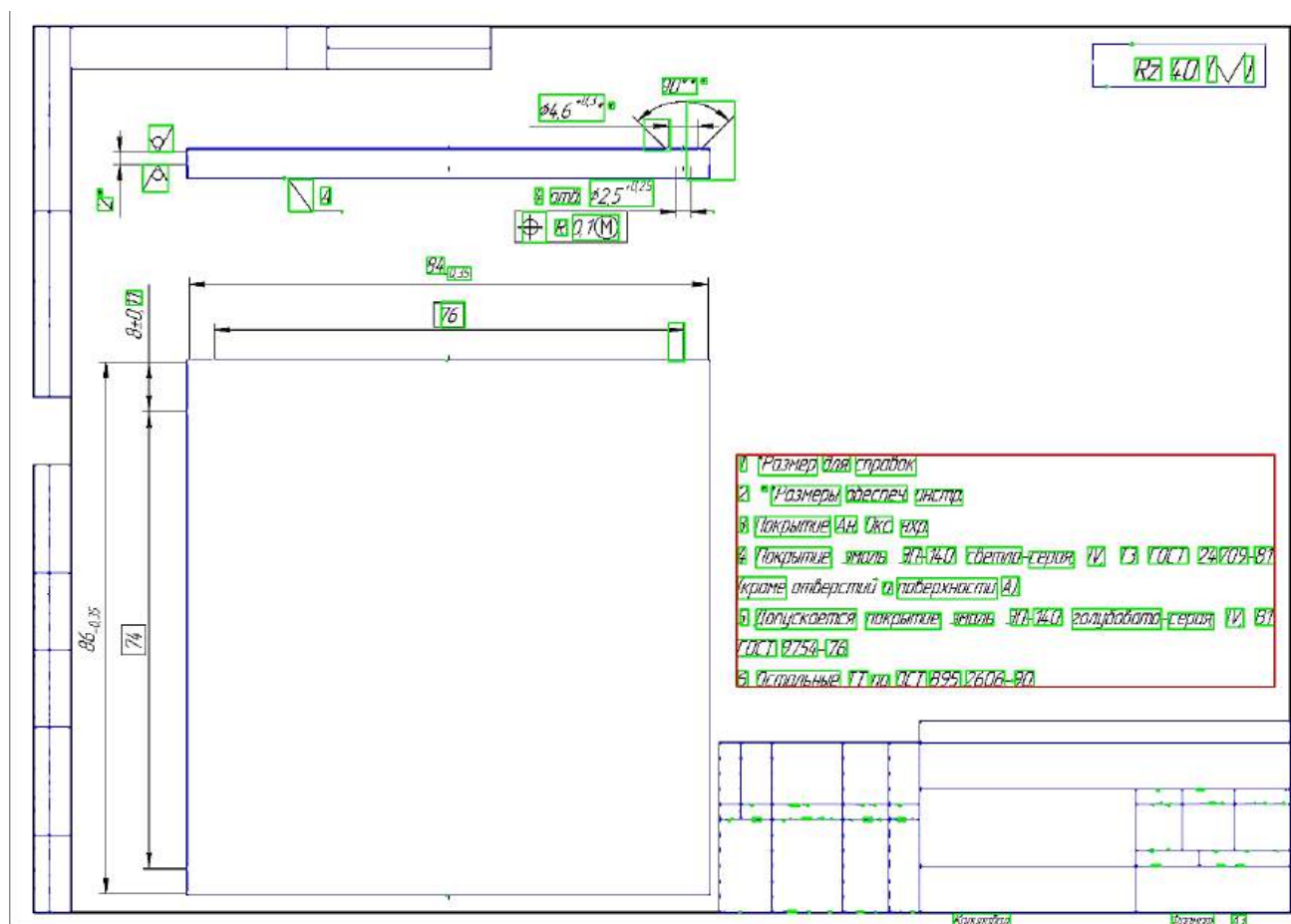


Рис. 2. Пример изображения с контурами и областью с ТТ

Однако у алгоритма определения наибольшего набора связанных контуров существуют следующие недостатки:

- на некоторых чертежах не полностью определяется прямоугольная область с ТТ (рис. 3).

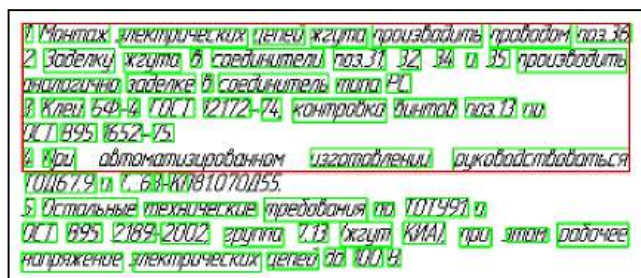


Рис. 3. Не полностью определенный фрагмент с ТТ

Эту проблему можно решить более тонкой настройкой метода определения границ объектов и алгоритма группирования контуров слов в связанные наборы;

- в прямоугольную область с ТТ попадают слова, которые не относятся к ТТ (см. рис. 4).

Данный недостаток в общем никак не влияет на решение задач, связанных с автоматической проверкой ТТ, описанных далее в этой работе.

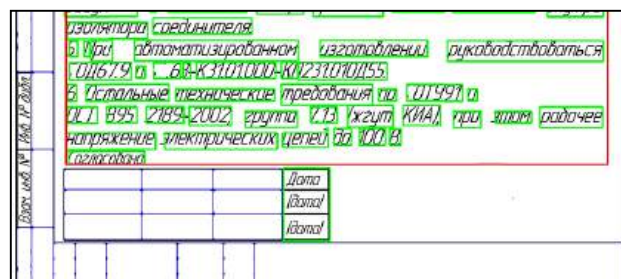


Рис. 4. Наличие слова "Согласовано", не относящегося к ТТ

На следующем этапе прямоугольная область с ТТ, полученная в виде объекта класса `org.opencv.core.Mat`, преобразуется в объект класса `java.awt.image.BufferedImage` для создания объекта класса `net.sourceforge.tess4j.Tesseract` модуля Tesseract [11]. Модуль Tesseract представляет собой JNA-библиотеку (Java Native Access) для удобного доступа приложений, написанных на Java, к функциональности и объектам библиотек DLL (Dynamic Link Library) Microsoft Windows, написанных на языках C/C++ (ПО Tesseract OCR написано на C/C++). Для того чтобы получить текст ТТ в виде объекта класса `java.lang.String` с изображения, необходимо применить метод `doOCR()` к объекту класса

*net.sourceforge.tesseract.Tesseract.*

Для обучения Tesseract следует разметить изображения с текстом определенного шрифта, где каждому символу соответствует прямоугольная область с определенными координатами (рис. 5). По сути, используется вид машинного обучения — обучение с учителем (supervised learning). После этого выполняется определенный набор команд и настроек [12], в результате чего появляется файл *.traineddata*, который и используется в дальнейшем Tesseract для распознавания определенного шрифта. В случае, если возникнет необходимость распознавания нового шрифта, достаточно разметить текстовые фрагменты с этим шрифтом и дообучить классификатор на новых данных.

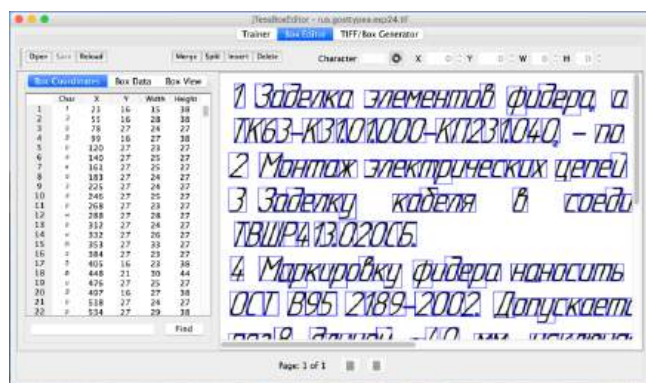


Рис. 5. Разметка текстовых данных для обучения Tesseract с помощью утилиты jTessBoxEditor

Несмотря на то, что существует большое количество вариантов реализации программного комплекса по распознаванию ТТ на 2D-чертежах, в данной работе в качестве основного языка выбран Java 8 в связи с тем, что основная бизнес-логика PLM-системы Windchill (в рамках которой применяется данный программный комплекс) написана именно на этом языке.

### Определение качества распознавания технических требований

Для определения качества распознавания ТТ была выбрана следующая метрика — доля правильно распознанных символов относительно всего количества символов в ТТ. Текст из прямоугольной области с ТТ (рис. 6) был распознан Tesseract как текст (рис. 7).

- 1 \*Размер для справок
- 2 \*\*Размеры обеспеч инстр
- 3 Покрытие Ан. Окс. нхр
- 4 Покрытие эмаль ЗП-140 светло-серая, IV, ТЗ ГОСТ 24709-81 (кроме отверстий и поверхности А)
- 5 Допускается покрытие эмаль ЗП-140 голубовато-серая IV, В1 ГОСТ 9754-76.
- 6 Остальные ТТ по ОСТ В95 2606-90

Рис. 6. Выделенная прямоугольная область с ТТ 2D-чертежа

- 1 \*Размер для справок
- 2 \* \*Размеры обеспеч инстр
- 3 Покрытие Ан. Окс. нхр
- 4 Покрытие эмаль ЗП- 140 светло-серая )в),
- ТЗ ГОСТ 24 709-81 (Кроме отверстий и поверхности А)
- 5 Допускается покрытие эмаль ЗП- 140 голубовато-серая )в),
- В1 ГОСТ 9754-76.
- 6 Остальные ТТ по ОСТ В95 2606-90

Рис. 7. Распознанный текст из ТТ

По результатам отработки программного комплекса на случайной выборке ДЭ, в которых применялись указанные ранее шрифты, из всего электронного архива выпущенных ДЭ доля правильно распознанных символов относительно всего количества символов в ТТ без учета пробелов составила не менее 96 %.

Следует отметить основные проблемные моменты, которые возникают при распознавании ТТ 2D-чертежа:

- наличие в ТТ спецсимволов (например, символа шероховатости), которые не входят в состав шрифтов (см. рис. 8);



Рис. 8. Фрагмент ТТ чертежа с указанием шероховатости

- присутствие слов, состоящих из символов латиницы, внутри текста из слов, состоящих из символов кириллицы (см. рис. 9);



Рис. 9. Фрагмент ТТ с надписью, состоящей из символов латиницы

- наличие текстовых блоков, которые по основным признакам являются ТТ, но после анализа содержимого оказываются таковыми не являются. Примером таких блоков могут служить блоки с подписями утверждающих и согласующих ДЭ (рис. 10).

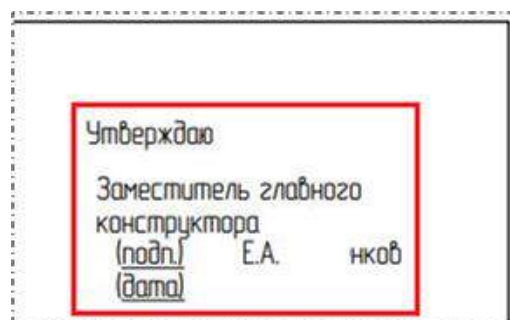


Рис. 10. Фрагмент ДЭ с блоком для подписи

Для решения первой проблемы в случае, если планируется каким-либо образом обрабатывать данные, касающиеся этих спецсимволов, рекомендуется разработать дополнительный модуль распознавания спецсимволов. В случае успешного распознавания такого спецсимвола модуль будет кодировать его, например, для шероховатости без удаления материала по контуру как ШЕР\_БЕЗ\_УДАЛ\_МАТЕР\_КОНТУР. В дальнейшем этот код должен быть вставлен в необходимое место распознанных ТТ.

Вторую проблему можно решить с помощью словарей часто используемых и обычных слов языка. Это текстовые файлы, в которые вписываются, соответственно, часто используемые и обычные слова языка (каждое слово с новой строки). Данная функциональность обеспечивается внутренней командой Tesseract — wordlist2dawg.

Для исправления третьего проблемного момента необходимо дополнить признаковое описание текстовых блоков, которые являются ТТ, признаком отсутствия редко встречаемых в ТТ слов. Например, текстовый фрагмент "(подп.)" маловероятно обнаружить в содержимом ТТ, однако в блоках с подписями согласующих лиц ДЭ наличие данного текстового фрагмента обязательно.

Корректно распознанные ТТ могут быть подвернуты семантическому, нормативному, орфографическому и другим видам анализа. Следует отметить возможные примеры подобных исследований:

- проверка актуальности нормативной документации, на которую указаны ссылки в ТТ;
- определение объема применимости конкретного материала;
- проверка правильности выбора способа обработки материала, указанного в основной надписи чертежа;
- определение необходимости согласования с лабораторией материаловедения в случае наличия в ТТ слов, связанных с пайкой, сваркой, нанесением клея, краски, лака и т. д.

Данные исследования можно проводить с использованием механизма регулярных выражений, инструментов анализа семантики естественных языков, основанных на машинном обучении и векторном представлении слов, и т. д.

Предлагается 2 режима работы программного комплекса по распознаванию ТТ на 2D-чертежах:

- сервис — после постановки 2D-чертежа на учет в отделе технической документации программный комплекс распознает технические требования на 2D-чертеже и записывает эти технические требования в виде текста в базу данных, которая в дальнейшем используется для нормативного, семантического, орфографического и других видов анализа и выработки определенных правил для автоматической проверочной функции workflow;

- проверочная функция в рабочем процессе workflow — программный комплекс распознает технические требования на 2D-чертеже, запущенном на согласование, и анализирует этот текст с применением выработанных правил. Если найдены какие-либо несоответствия, программа возвращает данный 2D-чертеж на доработку автору либо запускает принудительное согласование с необходимым экспертом.

Наряду с этим существует также альтернативный способ выделения или проверки ТТ из ДЭ. Этот способ основан на извлечении текстовых данных из разнообразных имеющих сложный формат файлов, таких, как pdf, docx, xlsx и т. д. Для PLM-системы можно настроить приложение для полнотекстового поиска, например такое, как Apache Solr или Elasticsearch.

Процедура альтернативного способа состоит из следующих этапов (рис. 11):

- конструктор выгружает очередную версию 2D-чертежа в PLM-систему;
- Apache Solr работает на стороне PLM-системы в виде сервиса и после попадания файла 2D-чертежа в файловый архив запускает индексацию этого файла, т. е. извлечение текстового содержимого из его структуры;
- извлеченные из файла 2D-чертежа текстовые данные записываются в индекс;
- для доступа к текстовым данным в индексе можно использовать различные Open Source-решения с графическим интерфейсом (например, проект Luke) или другие библиотеки. Однако среди этих текстовых данных еще необходимо определить ТТ. Для этого можно использовать нумерацию пунктов ТТ как один из признаков ТТ.

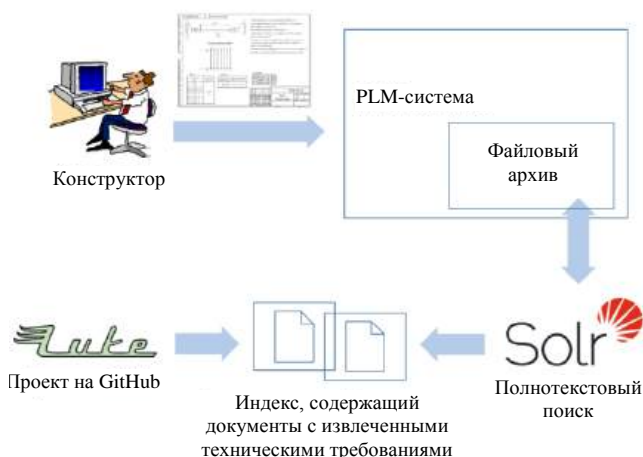


Рис. 11. Альтернативный способ выделения или проверки технических требований из ДЭ

С учетом изложенного можно сделать вывод, что распознавание ТТ непосредственно с изображения ДЭ является более универсальным способом выделения ТТ вне зависимости от структуры конкретного файла, лежащего в основе ДЭ. Однако данный способ более трудозатратен



в части настройки и обучения алгоритма детектирования области с ТТ и распознавания ТТ по сравнению с использованием полнотекстового поиска на основе извлечения текстовых данных из файлов ДЭ. Вместе с тем при использовании полнотекстового поиска возникают вопросы по определению документов и полей индекса, в которых непосредственно находятся ТТ конкретного ДЭ. Окончательный способ по выделению и проверке ТТ из ДЭ следует выбирать исходя из качества структуры файлов, лежащих в основе ДЭ, и опыта работы с конкретной технологией на предприятии.

Программный комплекс полностью развернут на сервере приложения PLM-системы. Более универсальным способом станет переход на микросервисную архитектуру данного программного комплекса, когда определенные модули будут выделены в отдельные микросервисы. Например, модуль по распознаванию ТТ из выделенной прямоугольной области можно реализовать в виде Docker-микросервиса, который будет принимать на вход изображение прямоугольной области в виде массива байт, а возвращать распознанные из этой области ТТ в виде текста. Это решение позволит при необходимости пользоваться функционалом распознавания не только для объектов PLM-системы, но и для других корпоративных информационных систем.

### Заключение

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать вывод, что использование методов компьютерного зрения и машинного обучения позволяет распознавать текст ТТ. При дальнейшем улучшении качества распознавания до 98 % и выше применение этих методов совместно с методами анализа содержимого ТТ позволит получить новый метод автоматического контроля ДЭ.

Для дальнейшего улучшения качества распознавания и анализа содержимого ТТ необходимо провести следующие работы:

- разметить большее количество обучающих данных, разбить обучающие выборки на шрифты в прямом начертании и шрифты в наклонном начертании;
- провести апробацию новой версии Tesseract 4 на предмет качества распознавания и трудоемкости настройки в сравнении с версией 3.05.01;
- провести апробацию применения других методов для распознавания символов на изображении

(например, метод опорных векторов Support Vector Machine) на предмет качества распознавания и трудоемкости настройки в сравнении с Tesseract;

- разработать модуль по распознаванию применяемого материала, который указывается в основной надписи 2D-чертежа. Этот материал будет использован для семантического анализа содержимого ТТ;
- применить методы анализа текста с выработкой необходимых наборов правил, которые будут использованы при автоматической проверке ДЭ.

### Литература

1. ГОСТ 2.316-2008 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах.
2. ISO 3098-1:2015 Technical Product Documentation. Lettering. General Requirements.
3. DIN 6776 Technical drawings. Lettering, characters.
4. Hwang H. J., Han S., Kim Y. D. Recognition of design symbols from midship drawings // Ocean engineering. 2005. Elsevier.
5. Mane A., Adhikari R., Gadgil Sh., Raykar N. Investigating Application of Machine Learning in Identification of Polygon Shapes for Recognition of Mechanical Engineering Drawings: International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE), 2019.
6. Jabal M. F. Ab., Rahim M. Sh. M., Othman N. Z. S., Jupri Z. A Comparative Study on Extraction and Recognition Method of CAD Data from CAD Drawings: International Conference on Information Management and Engineering, 2009.
7. Аверченков А. В. Автоматизация распознавания и идентификации конструкторско-технологических элементов деталей в интегрированных САПР: дисс. ... канд. техн. наук. — Брянск, 2004.
8. ГОСТ 2.304-81 Единая система конструкторской документации. Шрифты чертежные.
9. Мюллер А., Гвидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. — М.: Вильямс, 2017. — 480 с.
10. Прохоренко Н. А., OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 320 с.
11. A Java JNA wrapper for Tesseract OCR API [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sourceforge.net/projects/tess4j/>
12. How to use the tools provided to train Tesseract 3.00–3.02 for a new language? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tesseract-ocr.github.io/tessdoc/Training-Tesseract-3.00-3.02>

---

## USE OF COMPUTER VISION AND MACHINE LEARNING METHODS FOR RECOGNIZING TECHNICAL REQUIREMENTS IN 2D DRAWINGS

S. E. Kondratyev, O. V. Ulyanin  
Dukhov Automatics Research Institute, Moscow, Russia

E. M. Abakumov  
State Atomic Energy Corporation Rosatom, Moscow, Russia

*The article describes a way to create a software package that enables to automatically review the technical requirements in electronic two-dimensional drawings. The methods of computer vision and machine learning are used, which demonstrate greater flexibility and better generalization ability compared to standard programs, where each particular case requires additional processing.*

**Keywords:** automatic 2D drawing verification, recognizing technical requirements, OCR, OpenCV, PLM.

---

**Кондратьев Святослав Евгеньевич**, инженер.

E-mail: [svyatoslav.kondratyev@mail.com](mailto:svyatoslav.kondratyev@mail.com)

**Ульянин Олег Владимирович**, начальник отделения.

E-mail: [ulianin@vnia.ru](mailto:ulianin@vnia.ru)

**Абакумов Евгений Михайлович**, директор департамента информационных технологий.

E-mail: [evmadakumov@rosatom.ru](mailto:evmadakumov@rosatom.ru)

*Статья поступила в редакцию 4 марта 2021 г.*



## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ПО ПРОТОТИПАМ ЭСКИЗНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ СБОРКИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

А. С. Захарова; А. И. Корчагин; Т. М. Фатхутдинов; Л. В. Журавлева, канд. техн. наук  
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

*Рассматривается проблема неструктурированного поиска прототипа изделия электронной техники при разработке нового устройства и решение этой проблемы в виде использования формализованных способов представления информации, а также ее визуализации в рамках разработки эскизно-конструкторской документации изделий электронной техники для сборки электронной аппаратуры. Основное внимание уделено разработке шаблонов навигационной системы по поиску готовых решений эскизно-конструкторской документации. Кратко рассмотрены способы визуализации информации для наиболее интуитивного ее восприятия конечным пользователем. Проведен анализ разработанных шаблонов навигационных систем разного типа, описаны достоинства и недостатки каждого из типов шаблонов навигационной системы. В результате исследования выявлена оптимальная структура шаблона навигационной системы по поиску готовых решений эскизно-конструкторской документации и предложены ее дальнейший метод использования в дисциплине "Технология производства ЭС", а также создание базы данных для дальнейшего ее расширения для открытого использования конструкторами ЭС.*

**Ключевые слова:** шаблон, навигационная система, прототип оснастки, структурированная система, формализованная система, визуализация информации, последовательный, прямой, комбинированный, декомпозиция.

Электронные изделия все реже разрабатываются с нуля, за основу берутся уже существующие прототипы. Для поиска документации на похожий проект разработчик должен тратить необоснованно большое количество времени, так как нет единой системы навигации по уже существующим устройствам. Чтобы решить эту проблему, предлагается использовать систему поиска существующих прототипов с отображением содержательного знания в формализованной теории по областям и типам устройств для быстрого поиска. Например, для разработки устройства, выполняющего усиление полезного сигнала, нужно найти прототип, схожий с техническими требованиями, техническими характеристиками, технологическими ограничениями при разработке разрабатываемого устройства, и ознакомиться с конструкторской документацией на него. Данная задача является долгой вследствие отсутствия структуры хранения конструкторской документации и полного отсутствия формализации.

Необходимо разработать систему хранения конструкторской документации и структурированный поиск по ней. Для этого потребуются выполнить группировку документации по определенным признакам, имеющим важную роль в проектировании электронных устройств. Рассмотрим основные подходы к решению данной проблемы более подробно.

### Способы визуального представления данных

Зрительная система человека способна быстро обрабатывать визуальные сигналы, а передовые информационные технологии превратили

компьютер в мощное средство управления цифровой информацией. Визуализация является "мостом", связывающим зрительную систему человека и компьютер, помогая идентифицировать образы, строить гипотезы и извлекать идеи из огромных массивов данных, что способствует научному исследованию и прогнозированию [1]. В рассматриваемом случае визуализация информации поможет конструктору без погружения в найденный материал оценивать подобность рассматриваемого прототипа с разрабатываемым устройством [2–5]. Классификация визуального представления данных имеет следующие виды визуализации исходных данных; выборки, загруженной в систему обработки; результатов первичной обработки; промежуточных результатов; окончательных результатов. Авторами для решения проблемы выбран метод визуализации выборки, загруженной в систему обработки. Так как обработка данных может быть автоматизирована только до этого этапа, следующие итерации обработки данных производят с помощью специалиста, использующего данную систему.

Основными критериями визуализации являются:

- краткость (способность одновременного отображения большого числа параметров без потери информативности);
- относительность (способность обрабатывать группу относительно рассматриваемого запроса, показывать схожесть и различие с рассматриваемым запросом);
- концентрация и контекст (взаимодействие с выбранным объектом группы с возможностью просмотра его связей с контекстом);

- масштабируемость (способность легко и быстро перемещаться между микро- и макропредставлением);
- ориентация на "правое полушарие" (интуитивно понятная идентификация закономерностей без необходимости обладания компетенциями относительно обрабатываемой группы закономерностей).

По выбранному методу визуализации данных на основе критериев визуализации разработано несколько шаблонов навигационной системы по выбору прототипов эскизно-конструкторской документации.

### Структурирование шаблонов навигационной системы по выбору прототипов эскизно-конструкторской документации

*Шаблон навигационной системы логического деления по исполняемой функции.* Для реализации системы поиска и хранения конструкторской документации прототипов была выбрана навигационная система последовательного типа (рис. 1).

При использовании предложенной системы поиска разработчику необходимо выбрать категорию устройств, затем — тип разрабатываемого устройства и наиболее подходящий прототип по совпадающим характеристикам. Полученные

технические характеристики устройств можно отфильтровать по необходимым параметрам.

Достоинством рассматриваемой навигационной системы является интуитивно понятная инкапсуляция данных, основанная на последовательном делении групп устройств по категориям исполняемой функции. Количество подкатегорий не является ограниченным, что дает возможность разделять любую последующую подгруппу данных независимо от соседних групп [6].

*Шаблон навигационной системы по техническим характеристикам.* При использовании навигационной системы последовательного типа применяют принцип бинарного дерева [7]. В системе задаются параметры из технического задания, после чего разработчику предлагается группа прототипов с технической документацией, удовлетворяющих условию поиска (рис. 2).

Достоинством данной навигационной системы является хорошо проработанное деление по техническим характеристикам, что дает возможность сразу выбрать группу подходящих устройств по ТЗ при его наличии. К недостаткам данного деления можно отнести отсутствие подразделений по типам устройств. Из-за отсутствия таких связей можно выбрать полностью подходящее под ТЗ устройство, выполняющее функцию, но отличающееся от желаемого прототипа.

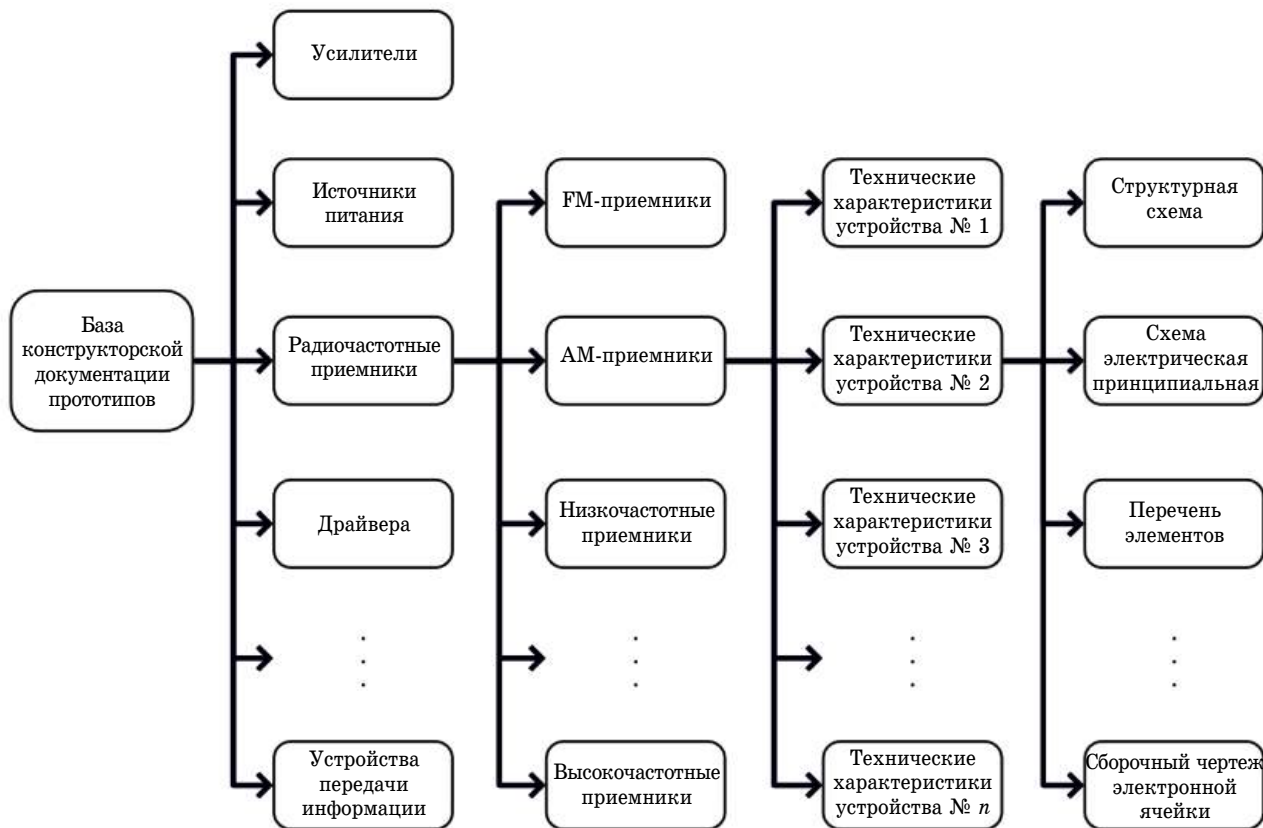


Рис. 1. Пример выбора прототипа разрабатываемого устройства по шаблону навигационной системы последовательного типа

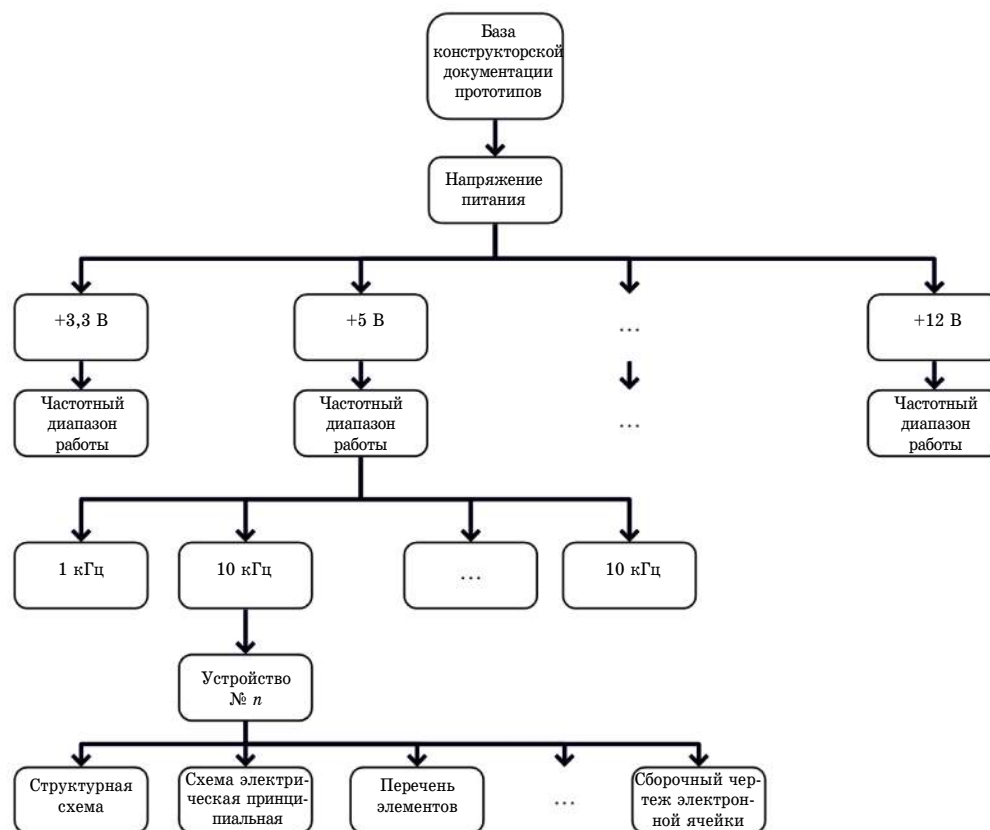


Рис. 2. Пример выбора прототипа разрабатываемого устройства по шаблону навигационной системы с выбором технических характеристик

Шаблон навигационной системы деления по характеристикам устройств. Алгоритм использования навигационной системы с выбором технических характеристик заключается в поиске прототипа, максимально приближенного к техническим характеристикам разрабатываемого устройства (рис. 3).

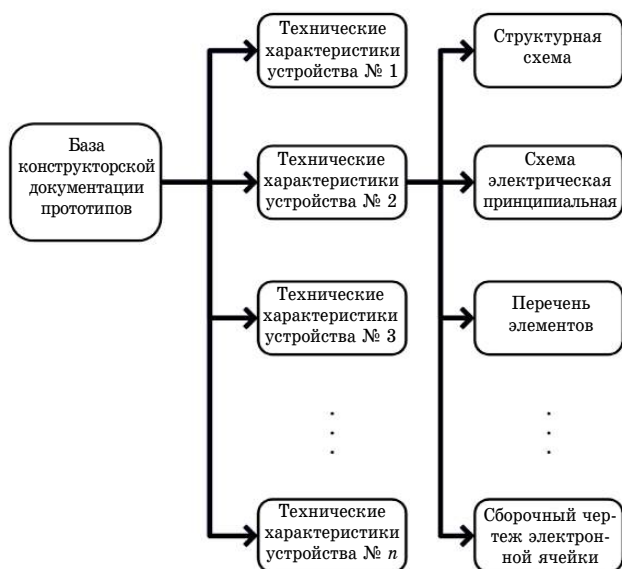


Рис. 3. Пример выбора прототипа разрабатываемого устройства по шаблону навигационной системы с выбором технических характеристик

Достоинствами данной системы являются быстрота ее заполнения и отсутствие необходимости определять зависимость конечной группы документов прототипа по разным разработанным категориям. Это является большим плюсом при накоплении базы данных о разработанных устройствах. К ее недостаткам можно отнести отсутствие возможности поиска прототипа, в результате чего можно пропустить подходящие разработанные устройства, соответствующие ТЗ и функционалу, но используемые в других целях. К примеру, систему "Умного" дома можно перенести на автоматизацию выращивания овощей в теплицы из-за схожего функционала, но данные разработки будут упущены, если поиск осуществлять только по предполагаемому названию прототипа.

В результате анализа достоинств и недостатков каждой предложенной навигационной системы выбран шаблон навигационной системы последовательного типа как самый интуитивно понятный и включающий наибольшее количество подразделений на группы разработанных устройств. Предлагаемое решение можно использовать на ранних стадиях проектирования для типизации и унификации проектируемых решений, обеспечения заданного уровня качества разработки [8].

Все большее применение находит технология цифровых двойников (Digital Twin), под которой понимается цифровой аналог устройства [9].

Без создания цифровых двойников выпускаемых изделий невозможно внедрение современной технологии PLM (Product Lifecycle Management). Предлагаемое решение создает предпосылки для расширения внедрения технологий цифровых двойников компонентов "Индустрия 4.0" [10–12].

#### Практическая реализация выбранного шаблона навигационной системы

На основе шаблона навигационной системы последовательного типа разработана сама информационная система, представленная на рис. 4.

*Алгоритм работы с навигационной системой последовательного типа.* Разработчик в столбце "Функционал" (см. рис. 4) ищет класс разрабатываемого прототипа. По полученному классу разработчик попадает в "Список устройств, удовлетворяющих критериям поиска", в котором

содержатся подклассы прототипов. Выбрав нужные подкласс и прототип из этого подкласса, разработчик получает всю эскизно-конструкторскую документацию по данному прототипу.

#### Заключение

Представленные в работе шаблоны поисковой системы прототипов разрабатываемых устройств позволяют значительно сократить время поиска прототипов устройств. Вследствие этого ускоряется разработка устройства, что приводит к уменьшению времени выполнения заказа.

В дальнейшем планируется создание базы данных и программного обеспечения на основе предложенных шаблонов.

Кроме того, разработанные шаблоны можно использовать и в других областях и сферах, таких, как патентный поиск, ведение учебной отчетности по выполненным работам студентов.









№	Функционал	Список устройств удовлетворяющих критериям поиска											
1	Усилители	С операционным усилителем								...	На транзисторах		
										...			
		Эскизно-конструкторская документация № 1				Эскизно-конструкторская документация № 2				...	Эскизно-конструкторская документация № m		
		Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	...	Сборочный чертеж	Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	...	Сборочный чертеж	...	Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	Сборочный чертеж
2	Драйвера	LED драйвера								...	Драйвер галогеновых ламп		
										...			
		Эскизно-конструкторская документация № 1				Эскизно-конструкторская документация № 2				...	Эскизно-конструкторская документация № m		
		Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	...	Сборочный чертеж	Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	...	Сборочный чертеж	...	Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	Сборочный чертеж
...	...	...								...	...		
n	Источники питания	Первичные источники питания								...	Вторичные источники питания		
										...			
		Эскизно-конструкторская документация № 1				Эскизно-конструкторская документация № 2				...	Эскизно-конструкторская документация № m		
		Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	...	Сборочный чертеж	Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	...	Сборочный чертеж	...	Структурная схема	Схема электрическая принципиальная	Сборочный чертеж

Рис. 4. Пример выбора прототипа разрабатываемого устройства в навигационной системе последовательного типа

## Литература

1. Zhu B., Chen H. Information visualization // Annual Review of Information Science and Technology. 2005. V. 39. Iss. 1. P. 139—177. <http://ai.arizona.edu/intranet/papers/Information%20Visualization.pdf>
2. Власов А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Системный анализ "Бережливого производства" инструментами визуального моделирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 4(160). С. 19—24.
3. Журавлева Л. В., Власов А. И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1(21). С. 133—140.
4. Резчикова Е. В., Власов А. И. Перспективы применения концепт-карт для построения базы знаний ТРИЗ: сб. докл. "ТРИЗ. Практика применения методических инструментов" / под ред. Яковенко С., Митрофанова В., Кудрявцева А. — М., 2011. С. 140—145.
5. Власов А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Система 5S-технология создания эффективного рабочего места в концепции "Бережливого производства" // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 1(161). С. 65—68.
6. Журавлева Л. В., Захарова А. С., Корчагин А. И. и др. Разработка концепции поиска способов установки компонентов на печатную плату: 20-я Молодежная междунар. науч.-техн. конф. "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2018". — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2012. С. 395—397.
7. Журавлева Л. В., Лебедев А. С. Формализация информации по прототипам технологической оснастки для сборки электронной аппаратуры // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 2(166). С. 67—72.
8. Дудко В. Г., Верейнов К. Д., Власов А. И., Тимошкин А. Г. Современные методы и средства обеспечения качества в условиях комплексной автоматизации // Вопросы радиоэлектроники. 1994. № 1. С. 71—89.
9. Shakhnov V. A., Kurnosenko A. E., Demin A. A., Vlasov A. I. Industry 4.0 Visual Tools for Digital Twin System Design // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. V. 1295. P. 864—875.
10. Шахнов В. А., Курносенко А. Е. Моделирование цифрового производства электронной аппаратуры в рамках концепции "Индустрия 4.0": мат. I Междунар. науч.-практ. конф. "Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии". 2019. С. 585—594.
11. Juravleva L. V., Shakhnov V. A., Vlasov A. I. Adaptation of professional engineering training to the challenges of modern digital production // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. T. 1134 AISC. С. 623—633.
12. Курносенко А. Е., Никольский Т. В., Ломаченко А. С. Подготовка модели оборудования к выполнению имитационного моделирования в САПР // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 2(178). С. 24—30.

## FORMALIZATION OF INFORMATION ON THE COMPONENT BASE FOR THE ASSEMBLY OF ELECTRONIC EQUIPMENT

A. S. Zakharova, A. I. Korchagin, T. M. Fatkhutdinov, L. V. Zhuravleva  
Bauman Moscow state technical University, Moscow, Russia

*The article deals with the problem of an unstructured search for a prototype of an electronic product in the development of a new device and the solution of this problem in the form of using formalized methods of presenting information, as well as its visualization within the framework of the development of sketch design documentation for electronic products for assembling electronic equipment. The main attention in the article is paid to the development of templates of the navigation system for the search for ready-made solutions for sketch design documentation. The methods of information visualization for the most intuitive perception by the end user are briefly considered. The article analyzes the developed templates for different types of navigation systems, describes the advantages and disadvantages of each type of navigation system of use in the discipline "ES production technology" was proposed. And also the creation of a database for its further expansion for open use by ES designers.*

**Keywords:** template, navigation system, prototype equipment, structured system, formalized system, information visualization, sequential, direct, combined, decomposition.

Захарова Анна Сергеевна, магистр.  
E-mail: zakharn013@yandex.ru  
Корчагин Андрей Иванович, магистр.  
E-mail: korchagin.andrey.i@ya.ru  
Фатхутдинов Тимур Маратович, магистр.  
E-mail: fatkhutdinovtm@gmail.com  
Журавлева Людмила Васильевна, доцент.  
E-mail: fogel09@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24 декабря 2020 г.



УДК 658.3

DOI: DOI: 10.52190/2073-2597\_2021\_2\_49

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ SPA ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕЙМОВ В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Д. Е. Кавандин; В. А. Прудников, канд. техн. наук

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

*Раскрыто понятие корпоративной информационной системы и SPA веб-приложений. Проведены анализ и сравнение систем разработки SPA веб-приложений на основе их применения в корпоративной информационной системе.*

**Ключевые слова:** веб-приложение, фреймворк, управление данными, корпоративная информационная система (КИС).

Под корпоративной информационной системой (КИС) понимают масштабируемую систему, созданную для совокупной автоматизации всех видов деятельности корпораций или компаний, которые требуют единого управления. Корпорация — объединение предприятий, которые могут быть расположены в разных городах, регионах или странах, работают под одним централизованным управлением. Структура подобных корпораций сложна и многопрофильна и имеет иерархическую систему управления, которая может быть распределена по различным предприятиям.

Непосредственно главной задачей КИС является максимально эффективное управление ресурсами предприятия, например материальными, интеллектуальными, технологическими или финансовыми. Эффективно управляя ресурсами, КИС помогает улучшать деятельность сотрудников предприятий. В техническом развитии систем, обеспечивающих работу информационных систем, всё чаще встречаются действия, направленные на совершенствование обработок баз данных и оптимизацию способов передачи данных. Такие действия требуют совершенствования и унификации форм настройки и отладки программных приложений, обеспечивающих выполнение указанных задач.

С помощью КИС можно автоматизировать некоторые предприятия, переведя в компьютерно-информационную плоскость их основные деловые процессы. Специальные программные средства, которые будут использованы в процессе, смогут осуществлять поддержку бизнес-процессов в сфере информации. Таким образом может быть решена проблема координации деятельности сотрудников или предприятий. Исходя из сказанного, можно заключить, что автоматизированный таким образом комплекс представляет собой достаточно гибкую и открытую структуру. Её можно перестраивать на ходу, убирать старые, добавлять новые части программного обеспечения без потери эффективности результирующей деятельности.

Корпоративную информационную систему можно также охарактеризовать как информационную систему, которая отвечает следующему перечню:

- надежность системы защиты различной корпоративной информации;
- возможность консолидировать данную информацию;
- реализуемость удаленного доступа, а также работы в распределенных сетях;
- функциональная полнота системы;
- средства адаптации и сопровождения системы;
- средства для анализа состояния эксплуатируемой системы в реальном времени;
- возможность обеспечения обмена данными между информационными системами и иными программными продуктами, используемыми в корпорации.

Поясним некоторые пункты. Например, в систему защиты информации входит система паролей для разграничения доступа к данным, а также функциям управления различной информацией. Также система защиты должна быть многоуровневой, должна проводиться регистрация времени ввода информации или её модификации. Под функциональной полнотой системы понимают выполнение международных стандартов по управленческому учету (ERP — Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия), CSRP (Customer Synchronized Resource Planning), MRP II (Manufacturing Resource Planning, планирование производственных ресурсов, синхронизированное с потребителем, MRP II — расширенное планирование расходов ресурсов с учётом цеховых поправок). Также в этой сфере деятельности применяются автоматизированные системы для исполнения различных задач планирования, бухгалтерского учета, статистики, бюджетирования, финансово-экономического анализа и прогнозирования. Параметры деятельности организации, которые однократно учитываются, имеются в количестве от двухсот до тысячи, а

таблицы, которые формируют базы данных, — от сотен до нескольких тысяч. Под средствами адаптации и сопровождения систем следует понимать изменения функций и структур бизнес-процессов, те или иные коррективы информационного пространства, интерфейсов ввода, изменения и просмотра информации, изменения функционального и организационного наполнения рабочего места пользователя. Также к средствам адаптации и сопровождения относят различные генераторы сложных хозяйственных операций, произвольных отчетов и генераторы стандартных форм. Консолидация информации делится на различные уровни. Уровень организации представляется как объединение информации различных холдингов, филиалов, дочерних компаний и т. д. Уровень отдельных задач включает в себе учет задач, их контроль, планирование и т. д. Уровень временных периодов существует для анализа различных финансово-экономических показателей за период, который превышает отчетный.

Можно выделить базовую функциональность КИС, которая необходима для информационной поддержки и автоматизации бизнес-процессов практически любой компании:

1. Информационная поддержка и автоматизация процессов бухгалтерского учета, расчета заработной платы, а также формирование внутренней и внешней финансовой и налоговой отчетности, регламентируемой внутренними корпоративными стандартами и внешним законодательством.

2. Поддержка распределенного электронного документооборота компании (создание документа, поддержка процедуры согласования документа, постановка документа на учет, хранение электронной версии документа, защита от несанкционированного доступа, архивирование).

3. Информационная поддержка организационно-функциональной структуры, делопроизводства и кадрового документооборота.

4. Поддержка и ведение нормативно-справочной информации.

В то же время КИС должна включать компоненты, обеспечивающие изменение информационного пространства корпорации:

- редактирование БД, модификацию структуры, полей таблиц, связей, индексов и т. п.;
- модификацию интерфейсов ввода, просмотра и корректировки информации;
- управление структурой и функциями бизнес-процессов;
- изменение организационного и функционального наполнения рабочего места пользователя;
- генерацию произвольных отчетов, сложных хозяйственных операций и форм;
- авторизацию информации (в целях информационной безопасности), регистрацию времени ввода и модификации данных, ведение протокола изменения/удаления данных;

• средства анализа состояния системы в процессе эксплуатации, анализ состояния системы включает в себя исследование:

- оптимальности архитектуры баз данных;
- эффективности работы алгоритмов и программ;
- статистики (количества записей, документов, транзакций, проводок и т. д.);
- журналов выполненных операций;
- используемого объема дисковой памяти;
- списка работающих станций, внутрисистемной почты [1, 2].

Производственное предприятие может выпускать продукцию как собственной разработки, так и совместно со сторонними разработчиками. Если предприятие самостоятельно производит изделия, ему необходим соответствующий инструментарий для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Если конструкция изделия закупается у стороннего разработчика (или производится по договору о совместном производстве), предприятие-производитель должно провести конструкторскую проработку изделия в соответствии со своими возможностями и мощностями как дополнительный этап работ. В этом случае также требуется конструкторский инструментарий. Поэтому среди инженерных подсистем любому машиностроительному предприятию необходима подсистема автоматизированного конструирования.

После описания способа изготовления конструкции изделия наступает этап технологической подготовки производства. С точки зрения информационной поддержки этого процесса он разбивается на два комплекса работ: разработку технологических процессов (маршрутов, технологических карт, ведомостей кооперации и т. д.) и разработку и изготовление оснащения производства (конструирование приспособлений, специального инструмента, специального оборудования и т. д.). Этим двум комплексам предшествуют работы по технологической подготовке изготовления конструкции, которые требуют комплексного взгляда на изделие.

Для конструирования приспособлений, специального инструмента и специального оборудования требуется конструкторский инструментарий, ничем не отличающийся от систем, используемых для разработки основного изделия.

Комплексная технологическая проработка изделия требует интеграции информации об изделии, что также стало причиной перехода к интегрированным решениям в области инженерных работ. Однако большой опыт и наличие развитых продуктов в области других подсистем в локальном их исполнении не позволили создавать интегрированную систему инженерной поддержки деятельности предприятий сверху вниз. В основу интеграции лег подход, известный как система электронного документооборота.

При этом в качестве концептуального стержня применили не свободный комплекс документов, а комплекс документации, описывающий состав изделия [3, 4].

Single Page Application (SPA) — "Приложение одной страницы", другими словами, SPA — это web-приложение, размещенное на одной web-странице, которая для обеспечения работы загружает весь необходимый код вместе с загрузкой самой страницы [5].

Общей чертой всех SPA считается то, что обработка данных происходит на стороне сервера, когда приложение, открытое в браузере, отправляет инструкции программе и потом получает данные, прошедшие обработку.

Когда речь идет о производственном использовании SPA, оператор на рабочем месте выступает только в качестве пользователя, создающего запрос, который обращается к серверу через приложение без изменения цикла работ серверных систем.

Главной особенностью архитектуры одностраничных веб-приложений является то, что всё необходимое для работы, а именно элементы CSS, формального языка описания внешнего вида документа (веб-страницы), написанного с использованием языка разметки (чаще всего HTML или XHTML), стили, какие-либо скрипты и т. д., находятся на одной странице, загружаются по мере необходимости и не обновляются полностью каждый раз. Тем самым происходит значительная экономия времени и информационных ресурсов, задействованных в общении сервера и клиента. Вся работа SPA веб-приложений напоминает работу десктопных программ, хотя в отличие от них вся основная работа происходит на серверном оборудовании, а не на машине пользователя.

Обращения с каждого рабочего места на производстве уходят на один сервер. Поэтому отслеживать, налаживать и решать проблемы, которые могут возникать по ходу работы предприятия, становится намного легче, что экономит время и ресурсы самого предприятия.

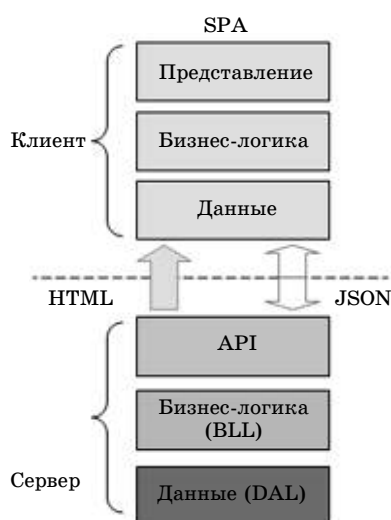


Рис. 1. Схема работы SPA

К явным преимуществам при использовании SPA причисляют возможность получения доступа к нему практически с любого типа оборудования, которое поддерживает возможность использования браузера. При этом нет никаких проблем с совместимостью, мощностями, направленными на вычисление, объемом памяти, где может размещаться приложение, или временем, затрачиваемым на установку. Хорошим показателем универсальности и удобства является то, что во время разработки SPA учитываются различные разрешения экранов устройств, на которые рассчитано веб-приложение (клиент—серверное приложение, в котором клиент взаимодействует с веб-сервером при помощи браузера).

Большим плюсом является возможность задействования достаточно больших объемов данных, расположенных на сервере. SPA веб-приложение может быть каким угодно большим, но есть вопрос целесообразности использования такого объема данных. Поскольку преимуществом использования является скорость исполнения команд, не стоит перегружать элементы SPA, иначе это может нивелировать такое преимущество.

Разработка SPA веб-приложения — процесс по своей сути относительно простой. Этому способствует наличие огромного количества различных инструментов, фреймворков, облегчающих разработку и создание архитектуры проектов, предоставляя своему пользователю большое число готовых элементов, которыми можно оперировать.

Примером успешных SPA веб-приложений открытой системы считают сервисы Google Translate и Gmail известного всем Google. Примером закрытых корпоративных систем можно считать Facebook Workplace или Loqui Business. Когда SPA удобно в использовании и отвечает требованиям, устанавливая на свой персональный компьютер его аналог, который занимает место и тратит ресурсы компьютера, не требуется.

Кроме преимуществ SPA обладают и недостатками, которые все же ухудшают общую работу программных комплексов. Несмотря на высокую скорость исполнения, некоторые SPA могут достаточно долгое время загрузиться в браузер. Поэтому важно при разработке такого веб-приложения следить за его общей "легкостью". Если сравнивать SPA с традиционными приложениями, оно имеет чуть более слабую защиту из-за межсайтового скриптинга (так называют атаки на веб-системы). В страницу веб-системы возможно внедрение вредоносного кода, выполняемого при открытии этой страницы, и последующем взаимодействии с сервером злоумышленника. Утечки информации тоже являются минусом таких устройств. Они иногда могут возникнуть в памяти в формах JavaScript и сказаться на производительности, т. е. привести к её падению несмотря на мощность системы. SPA веб-приложения требуют нахождения

в актуальном виде JavaScript в браузерах пользователей. При его отключении клиент не способен к использованию полноценного SPA, но можно кэшировать и вести обработку страниц на сервере. Такой вид риска всегда присутствует, хотя он и минимален во многих конкретных случаях.

Недостатком также считается "SEO-оптимизация", так как она является не слишком простым процессом. Главной причиной этого является метод обмена данными и обновления приложения без перезагрузки страницы (AJAX — Asynchronous JavaScript and XML).

Из сказанного заключаем, что SPA веб-приложения являются подходящим вариантом для разного бизнеса, нуждающегося в автоматизации своих процессов. Если же требуется большой веб-сайт для корпоративного проекта или интернет-каталог, свободно работающий в открытых системах, имеет смысл использовать обычные веб-сайты.

"Клиент—сервер" — это конфигурированное взаимодействие компьютеров в сети, ориентированных на сервер. Компьютеры в таких конфигурациях не являются равноправными. Каждый из них имеет свое, отличное от других назначение, роль. От некоторых компьютеров в сети осуществляется владение, распоряжение информационно-вычислительными ресурсами, такими, как процессоры, файловая система, почтовая служба, служба печати, базы данных. Другие компьютеры имеют возможность обращаться к этим службам, пользуясь услугами первых. Компьютер, управляющий тем или иным ресурсом, принято называть *серверным*, для данного ресурса, а компьютер, желающий им воспользоваться, *клиентом* или клиентским. Конкретный сервер определяется видом ресурса, которым он владеет. Если ресурсом являются базы данных, то сообщается о *сервере баз данных*, назначение которого — обслуживать запросы клиентов, связанные с обработкой данных; если ресурс — файловая система, то говорят о *файловом сервере*, или файл-сервере.

В сети один и тот же компьютер может выполнять роль как клиента, так и сервера. Например, в информационной системе, включающей персональные компьютеры, большую ЭВМ и мини-компьютер под управлением UNIX, последний может выступать как в качестве сервера базы данных, обслуживая запросы от клиентов (персональных компьютеров), так и в качестве клиента, направляя запросы большой ЭВМ.

Этот же принцип распространяется и на взаимодействие программ. Если одна из них выполняет некоторые функции, предоставляя другим соответствующий набор услуг, то программа выступает в качестве сервера. Программы, которые пользуются этими услугами, принято называть клиентами. Так, ядро реляционной SQL-ориентированной системы управления базой данных называют сервером базы данных

или SQL-сервером, а программу, обращающуюся к нему за услугами по обработке данных, — SQL-клиентом [6].

Прежде чем начать работу над веб-приложением, стоит подобрать необходимые инструменты для успешного результата. Необходимо обратить внимание на фреймворки.

Фреймворки — это программы, которые упрощают создание и поддержку технически сложных и нагруженных проектов. Фреймворк, как правило, содержит только базовые программные модули, а специфичные для проекта компоненты реализуются разработчиком на их основе. Тем самым достигается не только высокая скорость разработки, но и большая производительность и надёжность получаемых решений [7]. Это программное обеспечение, которое способно облегчить разработку и компоновку частей большого программного проекта. Фреймворк отличается от библиотек тем, что используется в основной программе как некий набор скриптов в подпрограммах. При этом библиотека не влияет на архитектуру программы. Фреймворк составляет правила архитектуры приложений, создавая основу (или каркас) для последующего изменения и расширения по мере необходимости. Также в фреймворк могут входить и библиотеки. Сама суть фреймворка заключается во встраивании пользовательского кода в программные комплексы в целях реализации какого-либо машинного поведения, осуществляемого при помощи встраивания в общий код фреймворка, например, вызов классов (функций) пользовательского кода.

Популярным решением при создании SPA веб-приложения является использование фреймворков на основе JavaScript. Фреймворк на основе JavaScript является набором функций и методов, написанных на данном языке и уже готовых к использованию. Это упрощает общение веб-приложения и сервера, ускоряет работу с элементами на веб-странице или в приложении. Веским аргументом, говорящим в пользу JavaScript фреймворков, служит то, что они имеют открытый исходный код и бесплатны при распространении. Это существенно сказывается на стоимости и выполнении работ в целом. Google и Facebook являются компаниями, которые поддерживают некоторые из JavaScript фреймворков. Высокая эффективность использования фреймворка обеспечена предварительно созданными шаблонами и функциями, что позволяет реализовывать проекты на высоком качественном уровне. Код становится меньше, проекты выполняются быстрее и эффективнее.

AngularJS [8] представляет собой фреймворк, структурированный для веб-приложений динамического типа. Он позволяет использовать HTML как язык шаблонов и расширяет синтаксис HTML. Таким образом, код приложения будет выглядеть кратко и без излишеств. Angular с помощью связывания данных, установления

соединений между пользовательским интерфейсом приложения, бизнес-логикой, внедрением зависимостей, предоставления внешней зависимости программному компоненту уменьшает количество кода. Удобство заключается в том, что это работает на JavaScript браузера и вместе с любой серверной технологией. Фреймворк производит обучение браузера новому синтаксису, используя конструкции, которые называют директивами. Они помогают структурировать повторно используемые компоненты, применяя семантические конструкции.

AngularJS использует шаблон MVC (Model-View-Controller) (рис. 2).

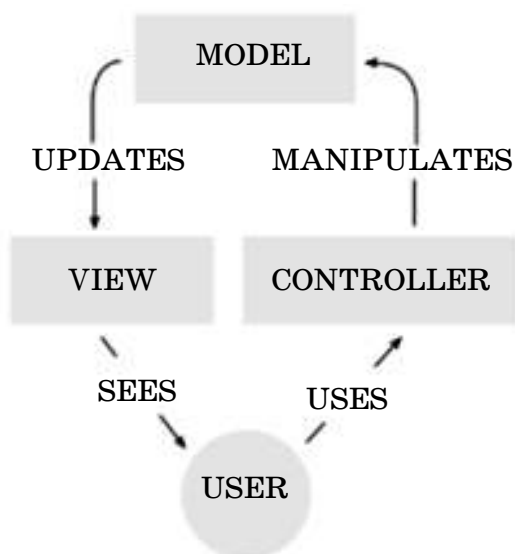


Рис. 2. Структура  
"Модель—контроллер—представление"

MVC — это разделение данных приложения, интерфейса пользователя и логики управления на три отдельных компонента. Модель предоставляет данные и реагирует на команды контроллера, меняя свое состояние. Представление отвечает за отображение данных модели пользователю, реагируя на изменяющуюся модель. Контроллер интерпретирует действия, которые проводит пользователь, оповещая модель о необходимости провести изменения. AngularJS является хорошим выбором в качестве фреймворка, если стоит задача разработать крупный проект. Он обеспечивает большую гибкость и высокую скорость визуализации. Положительным моментом можно считать большую базу опыта от других разработчиков. Небольшие неудобства могут появиться из-за частого выхода новых версий фреймворка. Это может осложнить поддержку проектов, реализованных на нем. Для работы с AngularJS понадобится знание языка программирования TypeScript, что повысит "порог вхождения". Это, в свою очередь, скажется на статистике его использования.

Vue [9] является прогрессивным фреймворком, который предназначен для создания раз-

личных пользовательских интерфейсов. Одной из особенностей данного фреймворка считается то, что он удобен в плане постепенного внедрения. Так как ядро Vue занято задачами уровня представления, это упрощает его объединение с другими существующими проектами и библиотеками.

Как и другие фреймворки на JavaScript, Vue позволяет делить страницу или приложение на логические единицы, применяемые впоследствии как переиспользуемые компоненты. Стоит также упомянуть, конкретный фреймворк является реактивным, что означает автоматическое реагирование интерфейса на изменение данных. Интересно представлена визуализация с помощью Vue, когда создается копия DOM (Document Object Model, объектная модель документа), а затем обрабатывается и сравнивается с оригинальной версией. DOM — независимый от платформы и языка программный интерфейс, который позволяет программам и скриптам получать доступ к содержимому HTML-, XHTML- и XML-документов, а также изменять их содержимое, структуру и оформление.

Модель DOM не накладывает ограничений на структуру документа. Любой документ известной структуры с помощью DOM может быть представлен в виде дерева узлов, каждый узел которого представляет элемент, атрибут, текстовый, графический или любой другой объект. Узлы связаны между собой отношениями "родительский—дочерний".

На конечном этапе происходит замена частей страницы, отличающихся от результатов обработки. Таким образом, скорость визуализации содержимого контента достаточно высока и объемом трафика уменьшается. Это важно для тех, кто часто пользуется мобильными устройствами. Фреймворк Vue включает в себя подбор библиотек для разных случаев, а высокоуровневые API обеспечивают их обратную совместимость.

Хотя у Vue и присутствует подробная техническая документация, русско- и англоязычное сообщество фреймворка не очень велико. Опыт других разработчиков больше представлен китайским сегментом, поскольку Vue.js используется и поддерживается крупными китайскими компаниями (например, Xiaomi или Alibaba).

Как и два предыдущих фреймворка, React [10] обладает открытым исходным кодом, используемым для разработки интерфейсов, предназначенных для пользователей. Стоит уточнить, что React является больше библиотекой, чем фреймворком, что несколько не умоляет его качества в сравнении с полноценными фреймворками, подобными AngularJS и Vue. Если смотреть на статистику, можно убедиться, что React является популярным средством для разработки веб-сайтов и SPA веб-приложений.

Главной особенностью этой библиотеки является однонаправленная передача данных, т. е. свойства передаются от родительских компо-



нентов к дочерним. Компоненты получают свойства в качестве неизменяемых значений, так как компонент не имеет возможности напрямую повлиять на свойства, однако может изменять их через функции callback. По-другому это называют "свойства вниз, события вверх".

React использует расширение языка под названием JavaScript XML, позволяющее работать с помощью HTML-подобного синтаксиса, с помощью которого описывается структура интерфейса. Компоненты описывают с использованием JSX, но можно использовать и стандартный JavaScript. Хорошим показателем считается то, что при использовании JSX возрастает читаемость кода "в общем".

React выбирает декларативный стиль вместо императивного. Такой стиль уменьшает сложность написания кода: проще написать о том, что должно получиться, чем описывать шаги достижения нужного результата.

Следует понимать, что React использует виртуальный DOM [11], создавая кэш-структуру в памяти, что и позволяет вычислить разницу между текущим состоянием интерфейса приложения и предыдущим, чтобы впоследствии обновить только необходимые элементы. При работе со страницей в других приложениях она обновляется полностью, однако React будет решать, какие компоненты изменять, а какие оставить нетронутыми.

Исходя из изложенного делаем заключение о том, что каждый представленный инструмент в той или иной мере подходит для разработки веб-приложений, предназначенных для корпоративных информационных систем. Требуется только определить размер КИС и задачи, кото-

рые на неё будут возложены, чтобы сделать верный выбор.

### Литература

1. Тарханова О. В. Корпоративные информационные системы: учебное пособие для студентов специальности 230201 «Информационные системы и технологии» очной формы обучения. – Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», 2012. – 49 с.
2. Самардак А. С. Корпоративные информационные системы : учебное пособие. — Владивосток: ТИДОН ДВГУ, 2003. — 252 с
3. Миковски С. М., Пауэлл Д. К. Разработка одностраничных веб-приложений / пер. с англ. Слинкина А. А. — М., ДМК-Пресс, 2014. — 512 с.
4. Рыжко А. Л. Информационные системы управления производственной компанией : учебник для вузов / А. Л. Рыжко, А. И. Рыбников, Н. А. Рыжко. — М.: Из-во Юрайт, 2020. — 354 с.
5. Что такое SPA или одностраничный портал [Электронный ресурс]. URL: <http://www.codenet.ru/webmast/js/spa/> (дата обращения: 19.12.2020).
6. Ладыженский Г. М. Системы управления базами данных — кратко о главном—1995.
7. Фреймворк [Электронный ресурс]. URL: [https://web-creator.ru/articles/about\\_frameworks](https://web-creator.ru/articles/about_frameworks) (дата обращения: 19.12.2020).
8. Angular [Электронный ресурс]. URL: <https://angular24.ru/docs> (дата обращения: 19.12.2020).
9. Vue.js [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.vuejs.org/v2/guide/index.html> (дата обращения: 19.12.2020).
10. React Js [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.reactjs.org/docs> (дата обращения: 19.12.2020).
11. DOM [Электронный ресурс]. URL: <https://topolyan.com/w3c/w3c-dom4-ru.html> (дата обращения: 19.12.2020).

## COMPARATIVE ANALYSIS OF POPULAR TOOLS FOR DEVELOPING SPA WEB APPLICATIONS AND THE USE OF FRAMES IN THE CORPORATE INFORMATION SYSTEM

D. E. Kavandin, V. A. Prudnikov

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

*The article reveals the concept of a corporate information system and SPA web applications, analyzes and compares SPA web applications systems, based on their applicability in a corporate information system.*

**Keywords:** web application, framework, data management, corporate information system (CIS).

Кавандин Даниил Евгеньевич, магистрант.

E-mail: xxxdaniilxxx\_94@mail.ru

Прудников Виталий Анатольевич, доцент.

E-mail: prudnikovs64@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21 декабря 2020 г.



**ВСЕМ ПУБЛИКАЦИЯМ ВСЕХ НАШИХ  
НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ БУДЕТ  
ПРИСВАИВАТЬСЯ КОД DOI!**

**Издательство ФГУП «НТЦ оборонного  
комплекса «Компас» заключило с Научной  
электронной библиотекой договор на оказание  
услуг по обслуживанию кодов DOI всех  
научных изданий, начиная  
с первых выпусков 2021 г.**

DOI (Digital Object Identifier) – это уникальный код публикации, указывающий на ее электронное местонахождение, используемый в качестве международного стандарта предоставления информации в сети Интернет. DOI разработан компанией International DOI Foundation (IDF), основанной на членстве регистрационных агентств, предоставляющих конечным пользователям услуги по присвоению префиксов DOI.

Регистрационные агентства назначаются IDF и предоставляют услуги владельцам префиксов DOI: они распределяют префиксы DOI, регистрируют DOI для объектов и предоставляют необходимую инфраструктуру, позволяющую владельцам объектов присваивать DOI и передавать метаданные объектов. CrossRef — это международное регистрирующее агентство, предоставляющее DOI для научных публикаций (книги, журнальные статьи, материалы конференций и т. д.). Научная электронная библиотека с декабря 2019 года является официальным представителем компании CrossRef.

Разработанный компанией Научная электронная библиотека Сервис DOI позволяет без непосредственного участия представителей издательств осуществлять передачу метаданных публикаций в базу данных Crossref. eLIBRARY.RU берет на себя все функции, связанные с проверкой данных, формированием XML-файлов для загрузки в CrossRef, контролем и исправлением возможных ошибок в процессе загрузки. Подавляющее большинство российских научных издательств на регулярной основе размещает информацию в РИНЦ. Эта информация проходит проверку, нормализуется, структурируется и преобразуется в формат, поддерживаемый системой CrossRef. По мере поступления новых публикаций в РИНЦ они автоматически отправляются в CrossRef на регистрацию. Таким образом, подключение к сервису DOI на eLIBRARY.RU избавляет издательства от дополнительных хлопот, связанных с поддержкой DOI в своих изданиях.

В результате оказания услуги **статьям выпусков издательства ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас» будет присваиваться уникальный идентификационный номер (DOI), начиная с первых выпусков 2021 года**, с помощью которого можно определить метаданные опубликованных научных статей, их местонахождение в сети Интернет (URL), и иные данные путем обращения к поисковой системе Международного фонда DOI.

Приглашаем к публикации результатов научных разработок и исследований всех тружеников науки: руководителей научных организаций, ведущих научных сотрудников, разработчиков, аспирантов, докторантов в наших научных изданиях!

*По материалам сайта: <https://www.elibrary.ru>*

**БЛАНК-ЗАКАЗ НА ПОДПИСКУ 2021 г.  
на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»**

Наименование издания	Периодичность в год	Цена 1 экз., руб.	Кол-во выпусков в год	Общая сумма, руб.
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России	4	1550,00		
Конструкции из композиционных материалов	4	1700,00		
Экология промышленного производства	4	1500,00		
Информационные технологии в проектировании и производстве	4	1750,00		
Вопросы защиты информации	4	1750,00		
<i>В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.</i>				

*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, 8 (495) 491-77-20.

E-mail: ivleva@ntckompas.ru

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

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».