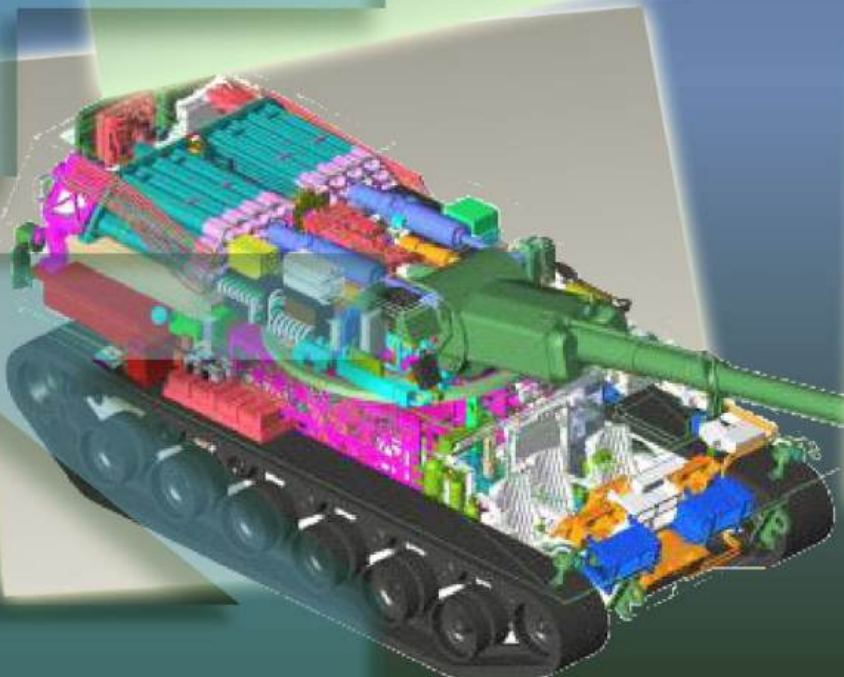
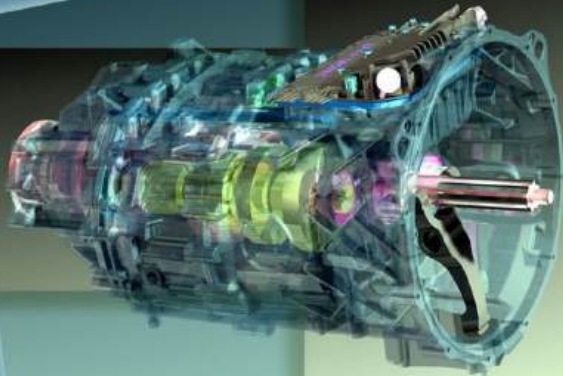
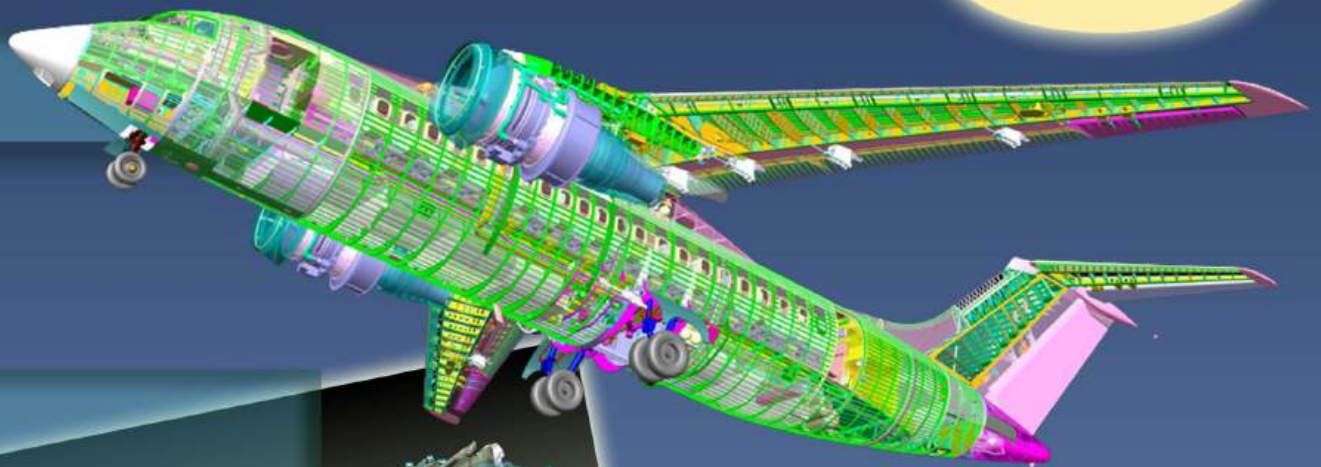


# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

в проектировании и производстве

№ 4' 2020





## 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»

## № 4 (180) 2020

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», 2020.  
№ 4 (180). С. 1—64.

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

Подписано в печать 28.10.2020.  
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 7,4. Уч.-изд. л. 7,7.  
Заказ 1959. Тираж 250 экз.  
Адрес редакции: 125424, Москва,  
Волоколамское ш., 77, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».  
Отпечатано в ООО «Рапидограф».  
117342, Москва, ул. Бульварная, д. 17Б.  
Индекс 79378. 10 статей.

Статьи рецензируются.

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас», 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

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

- Бутко А. О., Кузнецов П. М. Прогнозное моделирование состояния мелкосерийного машиностроительного производства..... 3
- Кирасирова А. С., Райкин Л. И., Глумова Е. С. Импортозамещение программного обеспечения для конструирования радиоэлектронных средств..... 7
- Катаев М. Ю., Хотненко С. Ю. Оценка уровня мероприятий бизнес-процессов жизненного цикла оборудования газонефтедобывающего предприятия ..... 15
- Федоров С. В. Система управления преобразователем частоты на основе алгоритма слежения за эталонным синусоидальным напряжением..... 20
- Суринов В. И., Волкова З. С. Алгоритм аппроксимации экспериментальных данных на основе низкочастотного фильтра с конечной импульсной характеристикой ..... 25
- Балинец В. Н., Баймакова Ю. В., Исабаева Ж., Журавлева Л. В. Перспективные технологии в системах электронного конструкторско-технологического документооборота..... 30
- Митрушкин Е. И. Проектирование объекта автоматизации ..... 38

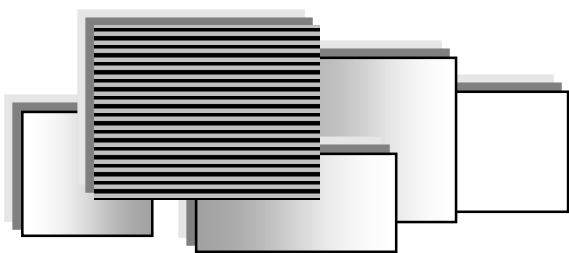
### Прикладные задачи применения информационных технологий

- Правильщиков П. А. Сохранение количества информации в случае решения прямой и обратной задачи для булевых уравнений и построения тестов ..... 44
- Рыбальская Е. А. Оптимизация образовательных процессов с использованием информационно-коммуникационных технологий ..... 54
- Вилков А. С., Вилков С. Л., Тараскин М. М. Информационные технологии в телекоммуникационных системах..... 57

# **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 621.9

### ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. О. Бутко, канд. техн. наук, П. М. Кузнецов, д-р техн. наук  
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, Россия

*Рассмотрены вопросы организации прогнозного моделирования в условиях мелкосерийного производства как характерного для современного производства. Разработанный подход на основе прогнозной модели производственных процессов позволяет в машинном масштабе времени получать рациональные решения загрузки технологического оборудования.*

**Ключевые слова:** прогнозное моделирование, производственная система, технологическое оборудование, управление, автоматизация, энтропия.

С развитием научно-технического прогресса серийность машиностроительного производства постоянно снижается. Если в массовом производстве, характерном для прошлых лет, производительность изготовления изделий определялась производительностью технологического оборудования, то в современном производстве, для которого характерен мелкосерийный тип, на первое место выходят подготовка производства, рациональный выбор маршрутов обработки и их сочетаний и т. д.

Характерной особенностью мелкосерийного производства является высокая динамика состояния производственной системы, обусловленная регулярным запуском на выполнение производственных заданий, широкой номенклатурой изготавливаемой продукции, различным статусом заданий. Все это обуславливает сложность задачи управления производством. Запуск на выполнение очередного задания неизбежно оказывает влияние на функционирование всей системы в целом.

В этих условиях любая ошибка, связанная с принятием тех или иных производственных решений, приводит к резкому снижению эффективности функционирования производственной системы. Как правило, наличие ошибки выявляется на поздних этапах выполнения производственных заданий, когда уже упущено достаточно много времени и производственная

ситуация такова, что исправление последствий, вызванных этими ошибками, оказывается существенно затратным. Кроме того, принятие решений в целях исправления последствий этих ошибок может вносить новые ошибки.

Очевидно, что выявление ошибок при принятии производственных решений на ранних этапах является актуальной задачей. Решение этой задачи позволит существенно повысить эффективность производства за счет рациональной загрузки производственного оборудования.

Особенно актуальна поставленная задача для предприятий такой формы, как венчурные предприятия. Для них оказывается доступным принятие активных мер по снижению рисков путем, например, оперативного изготовления пробных партий с последующей их верификацией и, в случае положительных результатов, отработки на них технологических аспектов выпуска основной части партии продукции. Такой подход позволяет существенно снизить вероятность потери конкурентоспособности предприятия вследствие невостребованности изготовленной продукции из-за различных факторов, негативно влиявших на его работу [1, 2].

Решение поставленной задачи предусматривает создание адекватной прогностической модели, позволяющей в машинном масштабе времени отображать ход производственного процесса во времени, выявляя наличие возможных

ошибочных решений. Кроме того, появляется возможность путем организации итерационного процесса находить наиболее удачные решения для реализации в реальном производственном процессе.

Условием обеспечения адекватного процесса моделирования является наличие необходимой и достоверной информации о параметрах технологических процессов. Обеспечение адекватности прогностической модели достигается достаточно полным описанием происходящих внутренних и внешних событий, влияющих на функционирование производственной системы, а также математическим описанием ее поведения. Последнее условие достигается использованием метода имитационного моделирования при разработке модели.

Формирование необходимой информации о состоянии производственной системы обеспечивают путем определенной последовательности опроса ключевых точек съема информации, объемом и частотой опроса. Кроме того, учитывают время наступления тех или иных событий, информацию о котором формируют на основе имеющихся производственных планов и статистических данных о работе производственной системы. Статистические данные позволяют возместить стохастический характер таких событий, как внезапный выход из эксплуатации технологического оборудования вследствие его поломок и т. п. По мере приближения времени наступления события осуществляют уточнение информации о нем [3].

Математическая модель процесса функционирования производственной системы строится на основе имитационной модели, основой имитационного обеспечения которой является матричное представление исходных данных отдельных элементов системы [4].

На основе функционирования такой модели получаемые данные интерпретируют как активные и пассивные. Активные составляющие используют для формирования командной информации, предусматривающей принятие решений, и в оперативном порядке воздействия на элементы производственной системы. Пассивные составляющие служат для накопления данных о результатах воздействий управляющей информации, их сравнения и определения наиболее удачно принятых решений [5].

Запуск на выполнение производственных заданий осуществляют исходя из сроков окончания их изготовления. При моделировании осуществляют планирование загрузки складского хозяйства, транспортных служб, отделов комплектации, поставщиков и т. д. Полученные результаты моделирования позволяют уточнить реальные сроки запуска конкретных производственных заданий и тем самым снизить вероятность срывов сроков выполнения задания и максимально сократить время простоев технологического оборудования, сократить объемы незавершенного производства, стабилизировать

и синхронизировать загрузку указанных вспомогательных служб.

Решение поставленной задачи предусматривает создание прогностической модели, позволяющей осуществлять перспективное моделирование процесса функционирования производственной системы. Используя в модели данные о предстоящих событиях, можно получить информацию о состоянии производственной системы в различные моменты времени и таким образом оценить последствия таких событий. В зависимости от их характера должны приниматься решения для управления производственной системой в целях повышения эффективности ее функционирования.

Степень достоверности прогностической модели определяется:

- полнотой описания внутренних параметров производственной системы (составом технологических единиц оборудования, длительностью выполнения технологических операций, временем перемещения продукции между рабочими местами, периодами регламентных работ и т. д.);
- полнотой информации о запускаемых производственных заданиях на выполнение;
- информацией о возможных простоях технологического оборудования по техническим причинам (как правило, статистическая).

Период времени, в течение которого достоверность прогноза остается приемлемой величиной, определяется объемом случайных, трудно прогнозируемых событий в производственной системе. По мере нарастания объема таких событий, который определяется глубиной прогноза, достоверность неизбежно падает.

Одними из основных способов повышения достоверности прогностической модели на заданном отрезке времени являются исключение случайных факторов и перевод их в область детерминированных событий (например, организация планово-предупредительных работ за счет систематизации причин выхода из строя технологического оборудования, организация без разборной диагностики узлов технологического оборудования, позволяющая обеспечить без его остановки получение информации об оставшемся ресурсе работы и т. д.).

Таким образом, прогностическую модель строят в виде совокупности процедур формирования, накопления, переработки информации, ее анализа, в результате выполнения которых вырабатывают управляющую информацию для воздействия на производственную систему. Целью такого воздействия является изменение ее текущего состояния, в результате которого эффективность функционирования системы возрастает.

Производственная система  $Z$  характеризуется состоянием  $x_1, x_2, \dots, x_m$  — конечное множество значений с вероятностями  $P_1, P_2, \dots, P_m$ ,

$$P_i = P(Z \sim x_i),$$

где  $P_i$  — вероятность принятия значения состояния  $x_i$ ;

$Z \sim x_i$  — возникновение события, при котором параметр системы находится в состоянии  $x_i$ .

Все возникающие события рассматривают как совершившиеся и не совершившиеся. При моделировании их представляют в табличном виде:

$x_i^j$	$X_1^j$	$X_2^j$
$P_i^j$	$P_1^j$	$P_2^j$

Индекс  $j$  означает порядок наступления события. Структура таблицы в процессе функционирования модели инвариантна по отношению к наступающим событиям. Значения параметров вероятности  $P_i^j$  являются переменными величинами.

Накопление достаточного объема статистических данных позволяет прогнозировать текущие значения параметров, отражающие состояние производственной системы, и, следовательно, прогнозировать время выполнения очередного производственного задания и своевременно планировать запуск очередного задания на выполнение.

Большое количество наступающих событий при низкой вероятности их появления снижает достоверность получаемых результатов моделирования. Как следствие уменьшается глубина прогноза. Стратегическое планирование на достаточно длительный перспективный отрезок времени предусматривает моделирование при заведомо низкой достоверности результатов. Такой подход позволяет формировать “черновой вариант” состояния производственной системы в перспективе. Этот вариант оказывается определенным, хотя и приблизительным, ориентиром, к которому следует или не следует стремиться и таким образом заранее определять необходимость поиска альтернативных вариантов:

$$T = \sum_{j=1}^N T_j^i + \sum T_{ож}^i,$$

где  $T$  — время выполнения производственного задания;

$T_j$  — длительность  $j$ -й технологической операции для выполнения  $i$ -го задания;

$N$  — количественный операционный состав маршрута выполнения задания;

$\sum T_{ож}^i$  — суммарная потеря времени вследствие отсутствия требуемого свободного технологического оборудования.

Компоненты  $\sum T_{ож}^i$  являются событиями с известными вероятностями. Таким образом, прогнозная модель определения времени выполнения  $i$ -го производственного задания оказывается определенной с высокой степенью достоверности.

Точность результатов моделирования процессов функционирования производственной системы оценивают неопределенностью системы  $Z$  через параметр энтропии.

Энтропия производственной системы равна суммарному произведению значений вероятностей, взятых с обратным знаком:

$$H(Z) = - \sum_{i=1}^m P_i \log P_i,$$

где  $H(Z)$  — энтропия производственной системы;  
 $m$  — число событий, происходящих в течение рассматриваемого отрезка времени.

Воспользуемся процедурой логарифмирования, взяв логарифм с основанием 2. Тогда вероятность последовательности изменения состояния производственной системы во времени определяется как

$$P(x_1, x_2, \dots, x_m) = P(x_1) P(x_2) \dots P(x_m).$$

Отсюда

$$\log P(x_1, x_2, \dots, x_m) = \log P(x_1) + \log P(x_2) + \dots + \log P(x_m)$$

и

$$H(x_1, x_2, \dots, x_m) = H(x_1) + H(x_2) + \dots + H(x_m).$$

В результате сложения энтропии возможных событий получаем

$$H(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{i=1}^m H(x_i).$$

Полученная формула показывает уровень неопределенности прогнозной модели при варьировании глубины прогноза. С увеличением глубины прогноза степень неопределенности увеличивается, с уменьшением — уменьшается. Можно сделать вывод о целесообразности использования прогнозной модели именно для случая, когда перспективное состояние производственной системы имеет высокую степень неопределенности. Для этого случая прогнозное моделирование, даже имеющее низкую достоверность, оказывается особенно полезным при стратегическом планировании.

Интервал времени, задающий глубину прогноза, определяется выполнением условия

$$\sum_{i=1}^m H(x_i) \leq H^*,$$

где  $m$  — число событий на рассматриваемом интервале времени;

$H^*$  — предельно допустимое значение энтропии.

Значение энтропии  $H^*$  определяется приоритетом производственного задания. Для производственных заданий, имеющих высокое значение приоритета, энтропия стремится к нулю,

т. к. вероятность появления производственного задания с еще более высоким уровнем приоритета также стремится к нулю. При этом период выполнения задания с низким значением величины приоритета зависит от большого числа заданий, поступающих на выполнение, т. к. вероятность их поступления со статусом более высокого значения приоритета оказывается достаточно высокой.

При наступлении событий, связанных с простоем отдельных единиц технологического оборудования, обусловленных ремонтом, техническим обслуживанием, внезапными отказами и другими подобными причинами, производственная мощность технологической системы уменьшается, что приводит к вытеснению производственных заданий с более низким уровнем приоритета, и период их выполнения увеличивается.

Учитывая сказанное, необходимо каждому производственному заданию устанавливать свою максимально допустимую величину энтропии.

Предельно допустимой величиной энтропии для каждого задания является

$$H^*(Z) = -P^* \log P^*,$$

где  $P^*$  — допустимое значение вероятности выполнения производственного задания в прогнозируемый срок.

При выборе значения  $P^*$  следует принимать во внимание, что энтропия состояния производственной системы растет в случае соблюдения сроков выполнения производственных заданий, что соответствует условию превышения прибыли величины экономических потерь от невыполнения дополнительных заданий. В этом случае глубина прогноза увеличивается. Если происходит невыполнение плановых сроков, например при выполнении дополнительных производственных заданий, значение энтропии

уменьшается, уменьшая тем самым глубину прогноза. Реально величину  $P^*$  следует определять, основываясь на требованиях к жесткости выдерживания плановых сроков, складывающейся производственной ситуации и т. д.

### Заключение

Процесс запуска производственных заданий в производственную систему должен осуществляться на основе прогнозного моделирования производственной ситуации. Упорядочение таким образом потока производственных заданий позволяет рационально загрузить технологическое оборудование производственной системы. При таком подходе возможно повысить производительность выполнения производственных заданий, снизить объемы незавершенной продукции. Учет приоритетности производственных заданий позволяет снизить экономические затраты и сделать предприятие более привлекательным для заказчика.

### Литература

1. Ягопольский А. Г., Домнышев А. А., Воронцов Е. А. Проблемы инновационного развития машиностроения России // Инновации и инвестиции. 2019. № 2. С. 7—9.
2. Андреев В. Н., Еленева Ю. А., Еленева Ю. Я. Технологический капитал промышленного предприятия: структура, эффективность использования. — М.: МГТУ "Станкин", 2012. — 78 с.
3. Кузнецов П. М., Хорошко Л. Л. Цифровизация процессов восстановления дробильно-измельчительного оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 10. С. 195—205.
4. Ягопольский А. Г., Домнышев А. А., Воронцов Е. А. Проблемы инновационного развития машиностроения России // Инновации и инвестиции. 2019. № 2. С. 7—9.
5. Бутко А. О., Кузнецов П. М. Построение информационных моделей в интегрированных системах // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 3. С. 20—25.

## PREDICTIVE MODELING THE STATE OF SMALL-SCALE MACHINE-BUILDING PRODUCTION

A. O. Butko, P. M. Kuznetsov

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

*The article discusses the organization of predictive modeling in small-scale production, as is characteristic of modern production. The developed approach based on the predictive model of production processes allows, on a machine scale, to obtain rational solutions for loading technological equipment.*

**Keywords:** predictive modeling, production system, technological equipment, management, automation, entropy.

Бутко Антон Олегович, доцент.

E-mail: mati-tias@yandex.ru

Кузнецов Павел Михайлович, доцент.

E-mail: profpol@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 2 июля 2020 г.



УДК 004.3

## ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

А. С. Кирасирова

АО «ФНЦП «ННИИРТ», г. Нижний Новгород, Россия

Л. И. Райкин, канд. техн. наук; Е. С. Глумова

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород, Россия

*Произведен анализ рынка PDM/PLM-, ECAD-, MCAD-, CAE-систем и разработана методика замены зарубежного программного обеспечения для создания цифровых прототипов радиоэлектронных средств на отечественные аналоги. Предложена объединенная платформа российских систем для проектирования цифровых прототипов радиоэлектронных средств.*

**Ключевые слова:** цифровой прототип, радиоэлектронное средство, электронная структура изделия, САПР, ECAD, PDM/PLM, MCAD, CAE.

В линейке управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management — PLM) в общем и радиоэлектронных средств (РЭС) в частности важную роль играет так называемый цифровой прототип (ЦП — Digital prototype — DP) [1], представляющий собой цифровой макет изделия, используемый для испытания его функций и формы.

На этапе разработки ЦП РЭС решающая роль в PLM принадлежит системе автоматизированного проектирования (САПР). Однако PLM последних поколений благодаря модульной структуре позволяют не только проектировать (модули CAD/CAM/CAE), но и дают возможность управлять составом изделия (PDM), отслеживать производимую продукцию и все ее параметры (ERP), а также осуществлять послепродажное обслуживание или интегрированную логистическую поддержку (ИЛП). Таким образом, задача перехода с зарубежного программного обеспечения (ПО) на отечественные аналоги не сводится к формальной замене программных продуктов, а представляется процессом взаимного согласования их совместной работы.

Кроме того, важным моментом в данном вопросе является то обстоятельство, что разработанные ранее ЦП РЭС должны быть переданы в новое ПО без искажения. Проблема таких преобразований не нова, по ней имеется значи-

тельное количество соответствующих исследований (см. например, [2—6]) однако радикально она до сих пор не решена.

### Состав цифрового прототипа изделия

Конструкторская проработка ЦП РЭС  $Z$  начинается с создания трехмерной геометрической модели  $M$  в ECAD (автоматизированное проектирование электронных конструкций) или MCAD (автоматизированное проектирование механических систем) на основе технического задания и концептуальных данных о будущей разработке. На начальной стадии проектирования  $Z = M$ . После передачи модели  $M$  в PDM/PLM-систему в состав ЦП РЭС согласно ГОСТ 2.053-2013 [7] добавляют электронную структуру изделия (ЭСИ) и сопутствующие атрибутивные данные (рис. 1).

Общий вид ЦП РЭС по аналогии с цифровыми макетами для комплексов аэрокосмической продукции [8] может быть представлен в виде комбинации трех составляющих:

$$Z = (M, S, Az),$$

где  $M$  — трехмерная геометрическая модель;

$S$  — ЭСИ;

$Az$  — атрибутивные данные ЦП (тип объекта, описание, версия и т. д.).

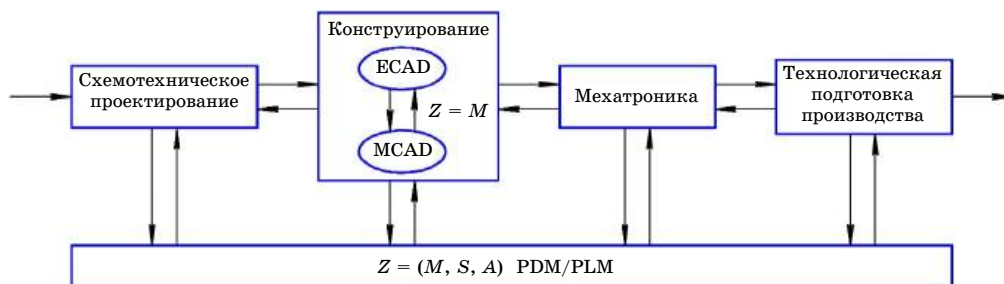


Рис. 1. Иерархическая структура параметров ГМ

Трехмерная геометрическая модель может иметь следующее представление [9]:

$$M = (B, A_M),$$

где  $B$  — граничное представление трехмерной модели;

$A_M$  — атрибутивные данные трехмерной модели (материал, цвет, масса и т. д.);

$$B = (V, E, F),$$

где  $V$  — вершины;  $E$  — ребра;  $F$  — грани.

Согласно рис. 1 процесс создания ЦП РЭС — это не только применение современных ECAD- и MCAD-продуктов, но и использование в работе PDM/PLM-системы. Кроме того, процесс конструирования любого изделия всегда сопровождается его виртуальными испытаниями в CAE.

Таким образом, конструирование любого ЦП РЭС представляет собой двунаправленное взаимодействие информационных платформ: ECAD, PDM/PLM, MCAD, CAE (рис. 2), поэтапный анализ которых проведем далее. Замена на отечественные аналоги подлежит весь набор программных продуктов. Все они должны не только обеспечивать свой функционал, но и быть интероперабельными (т. е. иметь способность к взаимодействию).

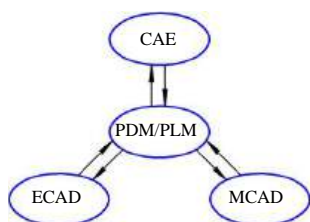


Рис. 2. Информационные платформы, используемые при конструировании ЦП РЭС

#### Анализ зарубежных и отечественных информационных PDM/PLM-, MCAD-, ECAD-, CAE-платформ

Рассмотрим 4 группы информационных платформ для создания ЦП РЭС: PDM/PLM, MCAD, ECAD, CAE. Вначале проанализируем каждую из них по отдельности с точки зрения доли российских разработок на рынке, возможности замены импортных продуктов отечественными аналогами. Далее рассмотрим все 4 группы совместно на предмет возможности предоставления единой платформы для создания ЦП РЭС. Затем на основе полученных данных предложим методику замены зарубежного ПО для создания ЦП РЭС на отечественные аналоги.

Первый этап. 1-я группа (PDM/PLM-системы). Анализ отрасли PDM/PLM-систем (табл. 1) показал, что на рынке сложилась среда отечественных разработчиков. Основные иностранные вендоры это США (Autodesk, PTC), Фран-

ция (Dassault Systemes) и Германия (Siemens). Среди российских PDM/PLM-систем лидерами являются ЛОЦМАН: PLM (Аскон) и T-FLEX PLM (Топ системы). По функциональным возможностям они конкурируют с зарубежными разработками, обеспечивая решение задач для всех этапов жизненного цикла изделия в едином информационном пространстве и высокую степень совместимости со всеми САПР. Доказательством этого служит не только востребованность решения T-FLEX PLM на международном рынке, но и устойчивая динамика роста объема продаж по всему миру [10].

Таблица 1

Российские и зарубежные PDM/PLM-системы

Российские	Зарубежные
ЛОЦМАН: PLM (Аскон)  T-FLEX PLM (Топ системы)  TechnologiCS (CSoft)	США Vault (Autodesk)
	Windchill (PTC)
	Agile PLM (Oracle)
	Allegro Design
Союз-PLM (Програмсоюз) Appius-PLM (Appius) Lotsia PLM (Юция Софт)	Workbench (Cadence Design Systems)
	Франция Enovia SmartTeam (Dassault Systemes)
PDM Step Suite (Прикладная логистика)	PDMWorks (Dassault Systemes)
SWR-PDM (SolidWorks Russia)	Германия Teamcenter (Siemens) mySAP PLM (SAP CIS)
TDMS (CSoft) Vogbit (Современные технологии производству)	Великобритания Omnify
	Белоруссия IPS PLM (Интермех)

Для перехода на отечественную PDM/PLM-среду с иностранного аналога необходимо импортировать в нее полный ЦП изделия. Во все современные программы управления данными об изделии включены модули импорта/экспорта данных, позволяющие производить пакетный перенос существующих на предприятии справочников, классификаторов, файлов (трехмерные модели, чертежи, текстовые документы и т. д.), атрибутов и ЭСИ.

Также на первом этапе исследования производили анализ группы PDM/PLM-системы с точки зрения модулей интеграции с САПР, включенных в их состав. Для этого было выбрано по 4 наиболее популярных отечественных (ЛОЦМАН, Appius-PLM, T-FLEX DOCs, Союз-PLM) и зарубежных (Autodesk Vault, Teamcenter, IPS, Windchill) программ. Для каждой из них на основе анализа включенных в их состав модулей интеграции [11–15] были выделены ECAD- и MCAD-продукты, с которыми возможен обмен данными (табл. 2). Далее производили сравнительный анализ отечественных и зарубежных систем управления данными об изделии.

Таблица 2

Модули интеграции с ECAD- и MCAD-продуктами, включенные в состав российских и зарубежных PDM/PLM-систем

ECAD	PDM/PLM	MCAD
Российские		
Delta Design Altium Designer	ЛОЦМАН	КОМПАС-3D SolidWorks AutoCAD Inventor CATIA Creo NX Solid Edge
—	Союз-PLM	SolidWorks Inventor Creo
—	Appius-PLM	SolidWorks КОМПАС-3D Inventor Solid Edge T-FLEX CAD
—	T-FLEX DOCs	T-FLEX CAD SolidWorks Inventor AutoCAD КОМПАС-3D Creo NX
Зарубежные		
Eagle	Vault	Inventor, AutoCAD
Altium Designer PADS OrCAD	Teamcenter	Solid Edge NX SolidWorks CATIA Inventor AutoCAD Creo
Altium Designer PADS E3	IPS	AutoCAD КОМПАС-3D Inventor NX SolidWorks CATIA Creo
Allegro PADS	Windchill	AutoCAD Inventor NX SolidWorks CATIA

Исследование показало, что зарубежные PDM/PLM-системы обладают более широким кругом CAD-продуктов. Практически у всех отечественных программ управления жизненным циклом изделия отсутствует интеграция с ECAD. Исключение составляет "ЛОЦМАН" от АСКОН, в состав которого входят модули обмена данными не только с большинством известных MCAD-систем, но и с ECAD-продуктами Delta Design и Altium Designer, что, безусловно, дает ему конкурентное преимущество в области конструирования РЭС.

**2-я группа (MCAD-системы).** Список MCAD-систем (табл. 3) включает как зарубежные (США, Франция, Германия), так и российские разработки.

Таблица 3

Российские и зарубежные MCAD-системы

Российские	Зарубежные
КОМПАС-График (Аскон) КОМПАС-3D (Аскон) T-Flex CAD (Топ системы) NanoCAD (Нанософт) Герберий CAD (Ростех)	США AutoCAD (Autodesk) Inventor (Autodesk) Creo Parametric (PTC)
	Франция SolidWorks (Dassault Systemes) CATIA (Dassault Systemes)
	Германия NX (Siemens) SolidEdge (Siemens)

Финансовый анализ участников рынка MCAD показал, что доминирующая компания Autodesk терпит убытки в 2016—2017 гг. (рис. 3) и по результатам 2018 г. (2540 млн долл.) [16] занимает лишь третье место после Dassault Systemes (4000 млн долл.) и Siemens (4000 млн долл.). Отечественные вендоры, в свою очередь, демонстрируют стабильный рост. Так, например, выручка компании АСКОН, лидирующей по объему рынка среди российских MCAD-платформ, в 2016 г. увеличилась на 11 % и составила 1100 млн руб.



Рис. 3. Годовые доходы компании Autodesk в 2014—2018 гг.

Предприятия радиоэлектронной промышленности ввиду сложности разрабатываемых деталей и сборочных единиц делают выбор в пользу САПР легкого и среднего классов.

Легкий класс российских САПР представлен системами КОМПАС-График от АСКОН и NanoCAD от "Нанософт" являющимися в известной мере аналогами AutoCAD. Благодаря высокой интеграции между этими программными продуктами можно говорить о возможности импортозамещения в данном сегменте рынка. NanoCAD открывает файлы в "родном" формате AutoCAD — ".dwg" без дополнительной конвертации в нейтральные форматы, что позволяет осуществить перенос данных без потерь. В КОМПАС-График благодаря наличию приложения "Библиотека импорта форматов DWG, DXF" можно производить импорт не только отдельных документов, но и группы файлов. Загрузка объектов выполняется последовательно. При этом автоматически создаются новые файлы КОМПАС-График и размещаются в той же папке, что и импортируемые.

Для замены зарубежных MCAD-систем среднего класса Inventor и SolidWorks можно рассматривать программные продукты КОМПАС-3D от АСКОН и T-Flex CAD от "Топ системы".

T-Flex CAD, в свою очередь, становится все ближе к системам тяжелого класса CATIA, Creo, NX и может составить им конкуренцию, выигрывая в производительности и обладая такими преимуществами, как ядро Parasolid, русский интерфейс, оформление чертежей по ЕСКД и относительно низкая стоимость.

Переход на отечественные CAD-системы среднего класса представляется возможным благодаря наличию в КОМПАС-3D широкого спектра нейтральных форматов. Импорт трехмерной модели в КОМПАС-3D происходит с потерей истории построения. Доработка геометрии возможна инструментами вариационного прямого моделирования, а также с помощью приложения "Распознавание 3D-моделей". Библиотека работает с импортированными деталями средней сложности в форматах ".sat", ".igs", ".x\_t", ".x\_b", ".stp", ".step" и воссоздает их дерево построения с помощью операций КОМПАС-3D. Перенос разработок, выполненных в зарубежных программных продуктах, в новую отечественную среду с помощью приложения "Распознавание 3D-моделей" возможен без потери данных для деталей средней степени сложности в случаях, если:

- количество граней и ребер распознаваемой детали не превышает 2047 и 8191 соответственно;
- тело не имеет граней, образованных NURBS-поверхностями;
- скругления имеют постоянный радиус.

В свою очередь, система T-Flex CAD поддерживает прямое чтение файлов программ среднего и тяжелого классов: NX, CATIA, Creo, SolidWorks, Autodesk Inventor, SolidEdge. Эта функция дает возможность пользователю без использования операции "Импорт", а только с помощью команды "Открыть" загрузить трехмерную модель с историей построения, созданную в любой из перечисленных систем и работать с ней как с геометрией, полностью созданной в T-Flex CAD [17]. Получается, что перенос данных из зарубежного аналога в T-Flex CAD можно выполнить без потери данных с минимальными материальными и временными затратами. Приходим к выводу, что T-Flex CAD способна заменить любую иностранную MCAD-программу.

Сравнительно недавно появился новый MCAD-проект "Гербарий CAD" на геометрическом 3D-ядре RGK, разработанный Фондом перспективных исследований. В рамках разработки были созданы "Интегрированная инженерная программная платформа" (ИИПП) и "Единая среда управления". Предполагается, что ИИПП должна стать в дальнейшем основой для разработки MCAD-системы. ИИПП прошла бета-тестирование в 2016 г., однако на рынок пока не вышла [18].

Таким образом, исследование рынка MCAD-продуктов в области конструирования РЭС привело к заключению, что замена зарубежного ПО легкого класса возможна на отечественные про-

дукты NanoCAD и КОМПАС-График, среднего класса — на КОМПАС-3D (с ограничением по сложности деталей) и T-Flex CAD (без ограничений), тяжелого класса — на T-Flex CAD.

**3-я группа (ECAD-системы).** Рынок ECAD насыщен разнообразными прикладными средствами проектирования не только иностранного, но и российского производства (табл. 3). По финансовым показателям последних лет (рис. 4) лидерами данной отрасли являются представители США: Synopsys, Cadence Design Systems и Mentor Graphics [19]. Эти фирмы могут предложить не только масштабируемые решения для изделий разной степени сложности, но и полный функционал для сквозного проектирования РЭС.

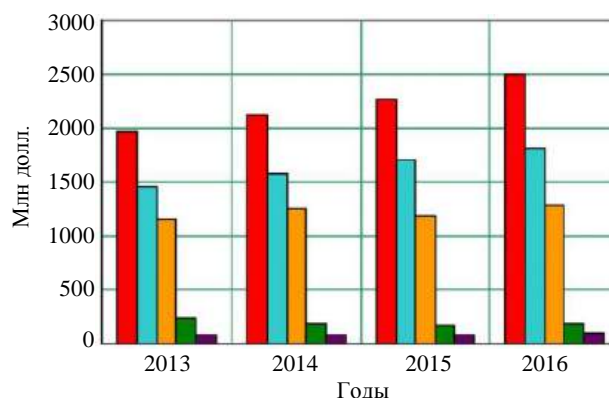


Рис. 4. Годовые доходы компаний Synopsys (■), Cadence Design Systems (■), Mentor Graphics (■), Zuken (■), Altium (■) в 2013–2016 гг.

Единственным российским участником рынка ECAD является программный продукт Delta Design [20] от компании "Эремекс" (табл. 4).

Таблица 4

Российские и зарубежные ECAD-системы

Российские	Зарубежные
Delta Design (Эремекс)	США OrCAD (Cadence Design Systems) Allegro (Cadence Design Systems) Expedition PCB (Mentor Graphics) PADS (Mentor Graphics) Eagle (Autodesk) Design Compiler (Synopsys)
	Франция KiCAD
	Япония E3 (Zuken)
	Австралия Altium Designer (Altium)
	Украина DipTrace (Новарм)

Delta Design вышла на отечественный рынок в 2015 г. Уже в 2017 г. Delta Design получила ядро C3D и стала трехмерной. Фирма Эремекс сильно продвинулась в своих разработках, поэтому стало возможным рассматривать ее продукт в качестве альтернативы зарубежным в сфере САПР РЭС.



Delta Design успешно заменила своего иностранного конкурента Mentor Graphics на АО «Концерн «МПО-Гидроприбор». Также она внедрена на АО «Информационные спутниковые системы» им. академика Решетнева, ПАО «НПО «Алмаз» и т. д.

Приведем некоторые ее функциональные возможности и достоинства:

- обеспечение полного цикла разработки печатных плат;
- поддержка российских стандартов ГОСТ и международных ISO;
- автоматическое формирование основных документов ЕСКД ("Перечень элементов" и "Ведомость покупных изделий");
- двусторонний обмен данными с MCAD (КОМПАС-3D, SolidWorks, AutoCAD) в формате IDF для построения 3D-модели и DXF для построения сборочного чертежа;
- передача в КОМПАС-3D и "ЛОЦМАН" состава изделия;
- модульная структура;
- простота освоения;
- относительно невысокая стоимость.

Для перехода на отечественный ECAE-продукт необходимо импортировать библиотеки компонентов, условных графических обозначений (УГО), посадочных мест и контактных площадок, импортировать проекты.

В состав программного продукта Delta Design включен мастер импорта для переноса данных только из P-CAD. Последняя версия P-CAD вышла в 2006 г. Большая часть предприятий, ис-

пользующих его при разработке электроники, перешли на Altium Designer. Получается, что в Delta Design отсутствуют инструменты для перевода имеющейся базы PЭС, разработанной в зарубежных ECAE. Приходим к выводу, что импортозамещение в группе ECAE-систем станет возможным только после расширения функций передачи данных в Delta Design.

**4-я группа (CAE-системы).** Лидерство в данном сегменте рынка по итогам 2017 г. принадлежит США (Ansys inc., MathWorks), Франции (Dassault Systemes) и Германии (Siemens) [21]. Российские системы представлены не только программными модулями CAE (T-FLEX Анализ, Компас APM FEM), входящими в состав MCAD, но и полномасштабными решениями (АСОНИКА, CAE Fidesys и APM WinMachine) (табл. 5).

Выбор CAE-системы может быть выполнен на основе анализа ее функциональных возможностей для моделирования физических процессов в PЭС с учетом пяти внешних воздействующих факторов: повышенной и пониженной температуры, гармонических и случайных вибраций, однократных и многократных ударов, линейного ускорения и акустического шума.

Кроме того, программа должна иметь инструменты для 4 типов расчетов PЭС: электромагнитных полей, электрических цепей, усталостного расчета и эффективности экранирования корпусов изделий. Таким образом, имеем 9 показателей, по которым можно сравнивать CAE-системы в области конструирования PЭС (табл. 6).

Таблица 5

Российские и зарубежные CAE-системы

Российские	Зарубежные
APM FEM (ООО "НТЦ "АПМ") APM WinMachine (ООО "НТЦ "АПМ") T-FLEX Анализ (Топ системы) CAE Fidesys (Фидесис) АСОНИКА (ООО "НИИ "АСОНИКА")	США Inventor Nastran (Autodesk) Creo Simulate (PTC) ANSYS (Ansys inc.) Simulink (MathWorks) HyperWorks (Altair Engineering) NASTRAN (MSC Software Corporation)
	Франция SIMULIA (Dassault Systemes)
	Германия NX CAE (Siemens)

Таблица 6

Функциональные возможности отечественных CAE-систем

Показатели	CAE-системы				
	APM FEM	APM WinMachine	T-FLEX Анализ	CAE Fidesys	АСОНИКА
Повышенная и пониженная температуры	+	+	+	+	+
Гармонические и случайные вибрации	+	+	+	+	+
Однократные и многократные удары	+	+	+	+	+
Линейные ускорения	+	+	+	+	+
Акустический шум	—	—	—	—	+
Расчет электромагнитных полей	—	+	—	—	+
Расчет электрических цепей	—	+	—	—	+
Расчет эффективности экранирования корпусов	—	—	—	—	+
Усталостный расчет	—	+	+	—	+



АСОНИКА — это единственный программный продукт на отечественном рынке, имеющий сертификат Министерства обороны России. Она является специализированной в области электроники и имеет 13 подсистем для компьютерного моделирования физических процессов в РЭС. Кроме того, в программе имеется модуль импорта и данные в нее могут быть загружены не только из MCAD (в форматах ".iges" и ".sat"), но и из ECAD (в формате ".idf"). Это дает возможность пользователям, работающим в зарубежных системах, перевести имеющиеся наработки в отечественную среду АСОНИКА. Приходим к выводу, что импортозамещение в отрасли САЕ-систем возможно.

*Общий анализ всех групп программных продуктов*, используемых при создании ЦП РЭС, показал, что объединенную платформу, состоящую из 4 систем: ECAD, MCAD, PDM, CAE, могут предоставить как зарубежные, так и отечественные вендоры. На российском рынке это предложение КОМПАС-3D-ЛОЦМАН-Delta Design-АСОНИКА от АСКОН, "Эремекс", ООО "НИИ "АСОНИКА". В США это программные решения от Mentor Graphics и Siemens PLM Software: Solid Edge-Teamcenter-PADS-Solid Edge CAE, и от фирмы Autodesk: Inventor-Vault-Eagle-Nastran. Исследование остальных представителей зарубежного рынка показало, что вопрос интеграции с ECAD-продуктами решен за счет включения в базовые конфигурации MCAD-систем модулей для работы с трехмерными сборками печатных плат. По своей сути они являются трансляторами данных ECAD. У компании Dassault Systemes это CircuitWorks в составе SolidWorks, у PTC — ECAD-MCAD Collaboration Extension (ECX) в Creo, у Siemens — PCB Exchange в NX.

*Заключительной частью исследования* стала разработка методики замены зарубежного ПО для создания ЦП РЭС на отечественные аналоги на основе данных, полученных на первом и втором этапах. Предлагаемая методика состоит из следующих последовательных шагов:

- определение иностранного ПО, подлежащего замене;
- выбор альтернативного отечественного ПО;
- выделение ЭСИ изделия в PDM/PLM-системе;
- подготовка файлов к выгрузке из PDM/PLM-системы;
- пакетная выгрузка файлов из PDM/PLM-системы;
- перевод файлов в форматы данных отечественного ПО;
- пакетная загрузка файлов в PDM/PLM-систему.

Рассмотрим каждый шаг более подробно.

*Первый шаг.* В зависимости от сложности выполняемых задач на предприятиях военно-промышленного комплекса для конструирования РЭС может быть использовано 2—4 гетеро-

генных системы. Как уже было отмечено, в большинстве случаев это ECAD, MCAD (1 или 2), CAE. На первом этапе выделяется одна иностранная система, используемая при конструировании РЭС, и определяется группа, к которой она относится по табл. 3—5.

*Второй шаг.* Выбор отечественного ПО для конструирования РЭС производится в зависимости от группы системы, полученной на первом шаге методики на основании табл. 3—5, и выводов, сформулированных на первом этапе исследования. Для MCAD его необходимо производить в зависимости от класса систем. В легком классе есть возможность выбора между NanoCAD и КОМПАС-График, в среднем — между КОМПАС-3D (с учетом ограничения по сложности деталей) и T-Flex CAD (без ограничений), в тяжелом классе замена возможна лишь на T-Flex CAD. ECAD- и CAE-системы можно заменить на продукты Delta Design (при условии доработки инструментов импорта данных) и АСОНИКА соответственно.

*Третий шаг.* Выделение иерархически законченной ЭСИ изделия в PDM/PLM-системе, файлы которой необходимо перевести из иностранной среды в отечественную.

*Четвертый шаг.* Определение основной и дополнительной информации (атрибутов объекта), которая необходима для экспорта файлов и обратной загрузки. Каждый файл должен обязательно содержать имя и идентификатор информационного объекта, откуда он был выгружен для того, чтобы впоследствии его можно было импортировать обратно в PDM/PLM-систему.

*Пятый шаг.* Пакетный экспорт файлов трехмерных моделей, сборок и чертежей из PDM/PLM-системы, подлежащих замене, с формированием структуры папок или HTML-описания осуществляется встроенными инструментами PDM/PLM-системы.

*Шестой шаг.* Перевод файлов в форматы данных отечественного ПО осуществляется в зависимости от группы системы по данным, полученным на первом этапе исследования. NanoCAD открывает DWG-файлы напрямую без дополнительной конвертации в нейтральные форматы. В КОМПАС-График перевод осуществляется с помощью "Библиотеки импорта форматов DWG, DXF". Для импорта в КОМПАС-3D необходим перевод трехмерных моделей в нейтральные форматы и дальнейшее восстановление истории построения с помощью библиотеки "Распознавание 3D-моделей" с ограничением по сложности деталей. T-Flex CAD поддерживает прямое чтение трехмерных моделей САПР среднего и тяжелого классов. Для загрузки данных в систему АСОНИКА необходимо экспортировать ЦП в нейтральные форматы ".iges" и ".sat" для MCAD и ".idf" для ECAD.

*Седьмой шаг.* Загрузка обработанных файлов в PDM/PLM-систему выполняется встроенным

мастером пакетного импорта с предварительной подготовкой файла сценария.

### Выводы

Отрасль PDM/PLM-систем богата отечественными разработками, однако для конструирования РЭС можно применить лишь систему "Лощман" от компании АСКОН. Она не только обладает широкими функциональными возможностями, но и имеет в составе модули импорта/экспорта данных для пакетного переноса информации, что позволяет производить импортозамещение в данной группе систем.

Анализ рынка MCAD-систем показал, что значительная его доля принадлежит российским вендорам, обладающим не только широким функциональным кругом для конструирования РЭС, но и инструментами для перевода имеющейся базы трехмерных деталей и чертежей в отечественную среду. Замена зарубежных САПР для создания ЦП РЭС на отечественные аналоги возможна в легком классе MCAD на NanoCAD и КОМПАС-График, в среднем — на КОМПАС-3D (с ограничением по сложности деталей) и T-Flex CAD (без ограничений), в тяжелом — на T-Flex CAD.

Менее продвинутой областью российского ПО для создания ЦП РЭС являются ECAD-системы. Отечественные разработки представлены системой Delta Design от компании "Эремекс". Инструменты импорта данного программного продукта ограничены работой только с P-CAD, что затрудняет импортозамещение в данной отрасли.

Для компьютерного моделирования физических процессов в РЭС имеется ряд российских разработок. Полным спектром инструментов для виртуальных испытаний РЭС обладает только отечественная система АСОНИКА от компании НИИ "АСОНИКА". Она может заменить своих иностранных конкурентов. Однако расширение количества форматов данных ПО АСОНИКА, позволяющих импортировать имеющиеся наработки, может значительно увеличить возможности перехода с иностранного ПО на отечественное в отрасли CAE-систем.

Российские вендоры могут предоставить не только отдельные решения для создания ЦП РЭС, но и единую платформу КОМПАС-ЛОЩМАН-Delta Design-АСОНИКА от АСКОН, "Эремекс" и ООО "НИИ "АСОНИКА".

### Литература

1. Райкин Л. И., Райкин И. Л., Бойтяков А. А. Цифровой прототип — звено в цепи информационной поддержки жизненного цикла изделий: мат. Междунар. науч.-практ. конф. "Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн". — Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2015. С. 137—140.
2. Филинских А. Д., Райкин Л. И., Мерзляков И. Н., Райкин И. Л. Обмен геометрическими моделями между CAD-системами // CADmaster. 2014. № 1. С. 26.

3. Филинских А. Д., Райкин Л. И. Функционально-ориентированная оценка передачи и восстановления геометрических моделей // Вестник Белгородского государственного технологического ун-та им. В. Г. Шухова. 2014. № 4. С. 176—179.

4. Райкин Л. И., Мерзляков И. Н., Филинских А. Д., Бойтяков А. А. Об информационном обмене между CAD-системами // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 3 (159). С. 65—72.

5. Райкин Л. И., Филинских А. Д., Субботина М. Н. Информационный обмен между CAD-системами: тр. XVI Междунар. молодежной конф. "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM—2016)". — М.: Изд-во ООО "Аналитик", 2016. С. 377—379.

6. Райкин Л. И., Бойтяков А. А. Разработка методик и инструментариев оценки эффективности передачи геометрических моделей от CAD к PDM: тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM—2017)" / под ред. Толока А. В. — М.: Изд-во ИПУ РАН, 2017. С. 423—424.

7. ГОСТ 2.053-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная структура изделия. Общие положения. — М.: Стандартинформ, 2014. — 10 с.

8. Dolezal W. R. Success Factors for Digital Mockups (DMU) in complex Aerospace Product Development. Genehmigten Dissertation. — München: Technische Universität München, 2008. — 149 p.

9. Altidor J., Wileden J., Yiwen Y., Hanayneh L., Wang Y. Analyzing and implementing a feature mapping approach to CAD system interoperability: Proceedings of ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE2009). San Diego, California, USA, 2009. P.695—707.

10. Кочан И. Н. T-FLEX PLM на международном рынке // Региональное управление предприятием. 2017. № 2. С. 6—10.

11. Ковев М. В. Интеграция различных CAD-систем в едином информационном пространстве на базе Teamcenter // Рациональное управление предприятием. 2017. № 1. С. 52—54.

12. Игонин В. Appius-PLM: интеграция с системой проектирования T-FLEX CAD // САПР и графика. 2018. № 4. С. 58—61.

13. Кривальцевич Т. В. Анализ и сравнение современных отечественных PLM-систем: мат. V Всеросс. молодежной науч.-техн. конф. "Информационные технологии в науке и производстве". — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 164—171.

14. ЛОЩМАН: PLM. [Электронный ресурс]. URL: <https://ascon.ru/products/889/review/> (дата обращения: 11.09.2018).

15. Травин А. А. Teamcenter. Интеграция с CAD-системами // CADmaster. 2014. № 2. С. 35—39.

16. Суханов Ю. Плоды подписки в ПиТиСи. Обзор финансовых показателей компании РТС // CAD/CAM/CAE Observer. 2019. № 1. С. 18—25.

17. Кочан И. T-FLEX PLM: к замене иностранных CAD-систем готов! // САПР и графика. 2017. № 7. С. 44—51.

18. Проект "Гербарий". [Электронный ресурс]. URL: <http://tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=3846> (дата обращения: 05.02.2019).

19. Павлов С. Системы электронного и электротехнического проектирования в 2016 году: обзор достижений и анализ рынка // CAD/CAM/CAE Observer. 2017. № 3. С. 23—36.

20. Сайт компании ЭРЕМЕКС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eremex.ru/about/> (дата обращения: 11.09.2018).

21. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017—2018 годах: обзор достижений и анализ рынков // CAD/CAM/CAE Observer. 2018. № 6. С. 6—18.

---

## IMPORT SUBSTITUTION OF SOFTWARE FOR DESIGNING RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

A. S. Kirasirova

FSPP "NNIIRT " JSC, Nizhny Novgorod, Russia

L. I. Raikin, E. S. Glumova

Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

*The analysis of market PDM/PLM-, ECAD-, MCAD-, CAE-systems is carried out and the replacement technique of the foreign software for digital prototypes designing of radio electronic equipment to domestic analogues is developed. The combined platform of the Russian systems for designing of digital prototypes of radio electronic means is offered.*

**Keywords:** digital prototype, radio-electronic equipment, electronic product structure, CAD, ECAD, PDM/PLM, MCAD, CAE.

---

**Кирасирова Анна Сергеевна**, аспирант кафедры «Графические информационные системы».

E-mail: kirasirova-anna@yandex.ru

**Райкин Леонид Исаакович**, доцент кафедры «Графические информационные системы».

E-mail: raykinl@yandex.ru

**Глумова Екатерина Сергеевна**, магистрант кафедры «Графические информационные системы».

E-mail: glumova.ek@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 4 сентября 2020 г.*

УДК 658.51

## ОЦЕНКА УРОВНЯ МЕРОПРИЯТИЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОНЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М. Ю. Катаев, д-р техн. наук; С. Ю. Хотненко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

*Приведена постановка задачи оценки уровня мероприятий жизненного цикла оборудования, описана возможная методика ее решения, основанная на применении бизнес-процессов. Приведен пример приложения предлагаемой методики для газонефтедобывающего предприятия. Обсуждается специфика таких предприятий, связанная с удаленностью объекта назначения и предприятия, осуществляющего проведение работ, связанных с жизненным циклом оборудования.*

**Ключевые слова:** логистика, предприятие, бизнес-процесс, информационный анализ.

Поддержание производственной деятельности на должном уровне требует решения задач по поддержке требуемого уровня исправности оборудования. Этот уровень должен поддерживаться за счет своевременной закупки оборудования и связи этого процесса с утилизацией старого оборудования, ведения своевременного ремонта. Эффективность проводимых для этого мероприятий связана с оценкой времени эксплуатации прибора в связи с условиями эксплуатации и в зависимости от нормативных характеристик оборудования. Для этих целей необходима методика, позволяющая рассчитывать вероятность выхода из строя данного вида оборудования. Указанный вопрос широко рассмотрен в отечественной и мировой научной литературе [1–4]. Также важными параметрами являются время обновления парка оборудования и исправности оборудования за счет регулярного ремонта (профилактического осмотра) в течение всего периода жизненного цикла оборудования [5]. Одними из важнейших элементов в этой задаче являются: доставка оборудования между точками покупки, ремонт, цепочки доставки разных предприятий, разные маршруты, стоимость доставки, разные временные ограничения и т. д. Проблема доставки является сложной ввиду наличия множества ограничений, которые необходимо учесть.

### Постановка задачи

Жизненный цикл оборудования определен в [6], где сказано, что если прибор уже существует, жизненный цикл изделия — это сово-

купность этапов, через которые проходит изделие за время своего существования (поставка, эксплуатация, ремонт, утилизация).

Для начала рассмотрим однотипный парк оборудования, состоящего из  $N$  единиц, на производстве в некоторый начальный момент времени  $t = t_0$ . Каждая единица оборудования характеризуется типом  $D$ , уровнем ресурса  $R$  и вероятностью выхода из строя  $P$ , величиной технического (TR) и межремонтного (MR) ресурсов и т. п. (паспортные характеристики). Находящиеся в рабочем цикле единицы оборудования обладают сроком службы  $T$  (лет). Технический и межремонтный ресурсы характеризуют время, которое гарантированно должно отработать данное оборудование до отказа или замены. Формирование парка оборудования производственной деятельности необходимо осуществлять на основе периодов службы приборов, вероятности выхода из его срока службы, а также времени замены оборудования.

На рис. 1 приведен цикл работы оборудования в производственной деятельности. Рисунок лишь схематически определяет основные этапы, проведение которых необходимо для ведения безостановочной деятельности газонефтедобывающего предприятия. Дополнительно на каждом этапе жизненного цикла предприятия возникают этапы доставки оборудования на различные другие предприятия и возвращение оборудования на исходное предприятие. На рис. 1 не приведены маршруты доставки, связанные с утилизацией прибора, так как это может быть целенаправленный вывоз оборудования по времени или оборудования, вышедшего из строя до окончания его срока службы.

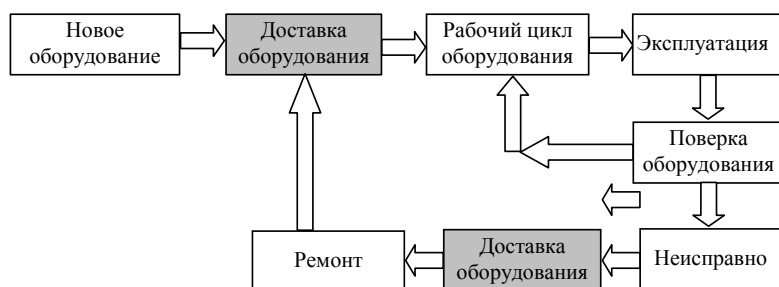
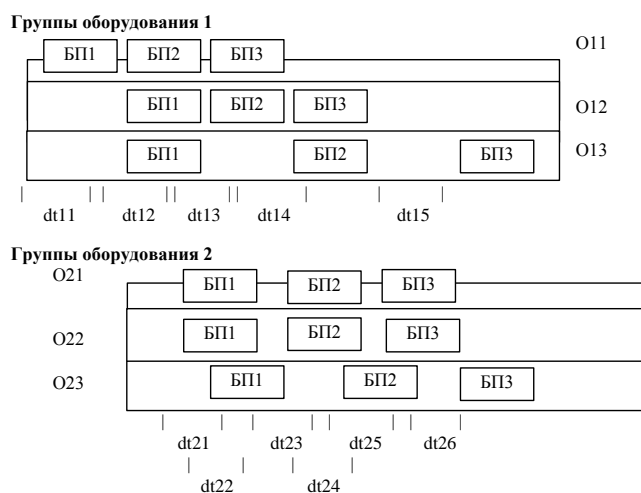


Рис. 1. Жизненный цикл работы оборудования в производственной деятельности

Можно представить бизнес-процессы жизненного цикла оборудования, которые связаны с несколькими возможными ситуациями. В случае рассмотрения одного прибора цепочка бизнес-процессов выглядит простой, но если их много, то возникает сложная цепочка последовательных операций, которые необходимо осуществлять для обеспечения работоспособности оборудования и всего технологического процесса в целом. Укажем основные бизнес-процессы, связанные с существованием оборудования на предприятии: подписание договора на поставку приборов, процесс доставки, установка, эксплуатация, проверка оборудования на предприятии или в сторонней организации, списание прибора и его утилизация. Жизнь оборудования начинается с момента подписания договора и доставки его на предприятие. Для этого выполняют доставку напрямую со склада или через цепочку доставок различными транспортными компаниями (автомобильными, водными, воздушными, железнодорожными). При этом надо отметить, что движение оборудования от точки его первоначального нахождения до предприятия может быть сложным (разные типы транспортных компаний, несколько промежуточных точек и т. д.) и длительным по времени. Задача любого руководителя предприятия заключается в обеспечении работоспособности оборудования и его непрерывной проверке согласно графику, длительности и сложности работы оборудования. Поэтому необходимо определить временные интервалы (длительность бизнес-процессов  $dt$  и времени между ними), в которые логистические операции с оборудованием (доставка нового, вывоз приборов на проверку или утилизацию) являются эффективными в смысле бесперебойной работы предприятия. Бизнес-процессы могут быть параллельными полностью или частично, как это показано на рис. 2.



**Рис. 2. Взаимосвязь расписаний работы различных групп оборудования в рамках их жизненного цикла:**

О — оборудование (номер группы, номер оборудования);  
БП $i$  — бизнес-процесс ( $i = 1$  — доставка,  
2 — эксплуатация, 3 — проверка)

Когда оборудования на предприятии не так много, проблем с указанными процессами не возникает. Если приборов много (более тысячи) и они являются распределенными по удаленным точкам, могут возникать сбои.

Из рис. 2 видно, что формирование группы оборудования для доставки в силу хаотичного наложения во времени является непростой задачей, так как у каждого прибора или группы приборов свои жизненные циклы. Доставка одного или нескольких видов оборудования является неэффективной, а задача ожидания — неуместной ввиду надежности поддержания производственного процесса. Из рисунка видно, что разные группы оборудования (включая разного типа приборы) имеют отличающиеся временные интервалы поставок, соответственно, времена установки и аттестации, а следовательно, и доставки на ремонт или проверку.

Для каждого вида оборудования разрабатывают график планово-предупредительных ремонтов (ППР), который связан с нормативом ресурса (в часах) между ремонтами и продолжительности простоя в ремонте. Разработка графика ППР опирается на нормативную документацию, связанную с типом оборудования, классом его сложности, возрастом оборудования и т. п. Это определяет количество ремонтов (капитальных или текущих) в год.

Одним из основных принципов ППР является периодичность и цикличность проведения всех профилактических и ремонтных работ. Для определения сроков этих видов работ необходимо заранее рассчитать временные затраты на ремонтный цикл, межремонтные и межмотровые периоды для каждого вида оборудования. Ремонтный цикл ( $T_{PC}$ ) определяется, как временной отрезок работы оборудования между двумя запланированными капитальными ремонтами, а для случая нового оборудования, как период работы от первого дня работы оборудования, после установки и запуска до 1-го капитального ремонта. У каждого типа оборудования имеются свои условия эксплуатации, что определяет продолжительность и среднегодовое количество ремонтных работ.

$$T_{PC} = T_n K_{пр} K_{из} K_{эо}; \quad (1)$$

где  $T_n$  — нормативный срок работы оборудования между ремонтами (определяется как средняя наработка на отказ);

$K_{пр}, K_{из}, K_{эо}$  — коэффициенты, учитывающие тип производства, вид обрабатываемых изделий, условия эксплуатации оборудования;

Для того, чтобы точно рассчитать даты проведения ремонтных работ, необходимо рассчитать межремонтный период, как временной отрезок между двумя очередными плановыми



ремонтами. Длительность этого отрезка времени рассчитывается по формуле

$$T_{MP} = T_{PC} / (\sum T_c + \sum T_t + 1); \quad (2)$$

где  $T_{PC}$  — ремонтный цикл, мес.;

$T_c, T_t$  — время средних и текущих ремонтов в межремонтном цикле;

Во время текущей работы оборудования, в начальный период работы или между двумя очередными плановыми ремонтами, проводится осмотр работы, время которого вычисляется по формуле

$$T_{MO} = T_{MP} / (\sum T_c + \sum T_t + \sum T_o + 1); \quad (3)$$

где  $T_o$  — время осмотров в межремонтном цикле.

Из формул (1)–(3) видно, что условия обеспечения ремонта, включающие в себя запасные детали, их доставка и другие процессы, показанные на рис. 1 не учитываются, что усложняет возможность оценки точных временных издержек поверки, ремонта или замены оборудования. Фактически заранее можно сделать расчет необходимых трудозатрат и необходимых ресурсов для бесперебойной работы оборудования. Однако, текущие изменения в работе приборов, приводящие к частичной или полной его остановке вносят соответствующие коррективы в необходимость доставки необходимых запасных частей или самого прибора на место ремонта. Эти изменения происходят случайно и привносят дисбаланс в циклическую форму осмотров и ремонта оборудования.

На основании структуры межремонтного цикла разного типа оборудования на предприятии составляют графики капитального, среднего и текущего ремонтов, а также периодических профилактических осмотров. Для оборудования, которое локализовано внутри предприятия, такие графики составляют достаточно просто, приведенных формул для этого достаточно (рис. 3).

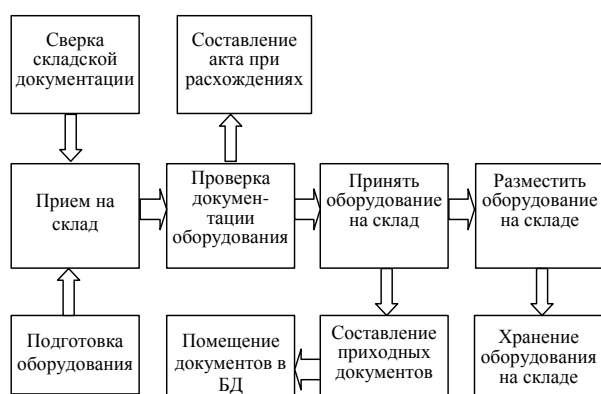


Рис. 3. Упрощенный бизнес-процесс помещения оборудования на склад

В случае, когда оборудование в ходе своего жизненного цикла распределено между разными предприятиями и доставку осуществляют разные предприятия, головному предприятию

необходимо выполнять достаточно сложный расчет.

На рис. 3 и 4 показан процесс помещения на склад оборудования и отгрузки его со склада, видно что он является достаточно сложным и может быть затратным по времени, учитывая тип, вес, сложность оборудования. Поэтому движение оборудования от точки отправки до пункта назначения при сложном маршруте, который захватывает две-три промежуточные точки, и разный тип перемещения (автотранспортный, воздушный, речной) требуют серьезной логистической проработки.

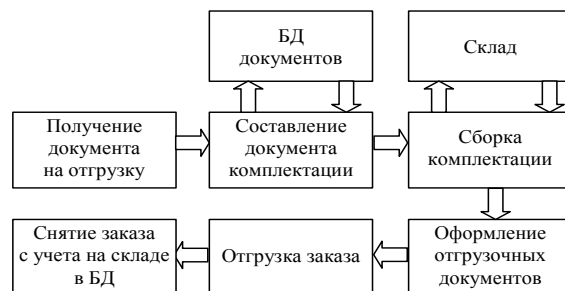


Рис. 4. Упрощенный бизнес-процесс отгрузки оборудования со склада

Минувя временные этапы доставки, установки оборудования на предприятии, процессы работы, обслуживания, поверки и ремонта, ситуацию можно отобразить так, как показано на рис. 5.

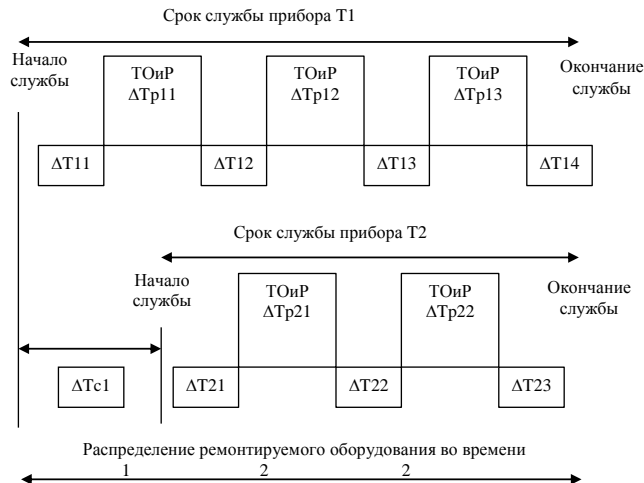


Рис. 5. Распределение процессов ремонта и эксплуатации нефтегазового оборудования во времени

Заметим, что время службы каждого вида оборудования является уникальным и может составлять от одного года до десяти и более лет. За время производственной деятельности возникает итерационный процесс замены одних видов оборудования на другие ввиду срока окончания их службы, появления более совершенных типов оборудования, поломки и т. д. Создать систему организации логистики доставки оборудования таким образом, чтобы производственная деятельность была непрерывной, — сложная задача, требующая своего решения. Логичным является проведение технического обслуживания

ния и ремонта (ТОиР) оборудования одного типа в одно время, но в реальности возникают ситуации, когда ТОиР части оборудования по тем или иным причинам проходит в разное время. Следовательно, имеется распределение во времени ТОиР оборудования относительно условно первого оборудования (как точки отсчета) на некоторое время смещения  $\Delta T_c$ .

Общее время работы  $i$ -го оборудования определяется как

$$T_i = \sum_{j=1}^N \Delta T_{ij} + \sum_{j=1}^{N-1} \Delta T_{pij}, \quad (4)$$

где

$$\Delta T_{ij} = T_{ij}(t+1) - T_{ij}(t); \quad \Delta T_{pij} = T_{pij}(t+1) - T_{pij}(t);$$

$T_{ij}(t+1)$ ,  $T_{ij}(t)$  — интервалы времени работы оборудования или ремонта.

В ходе эксплуатации оборудования происходит увеличение набега времени  $T_i = T_i + \Delta T_c$  (отрезки времени  $\Delta T_c$  являются случайными), что ведет к уменьшению ритмичности проведения ТОиР, вызывает турбулентные процессы и усложняет управление бизнес-процессами, возрастают риски принятия неверных тактических решений, ведущих к снижению темпов работы предприятий, утерям оборудования при транспортировке и т. п.

Графически данный процесс изображен на рис. 6.

На рис. 6  $N$  — общее количество видов оборудования;  $S_i$  — количество оборудования, проходящего ТОиР в исходное время;  $S_n$  — количе-

ство оборудования, проходящего ТОиР со сдвигом во времени. Общее количество оборудования  $N$  штук остается неизменным, но распределение проводимых ТОиР в процессе эксплуатации изменяется вследствие набега времени  $\Delta T_c$ .  $P(t)$  на рис. 6 — функция вероятности выхода из строя оборудования — для простоты показана линейной вида  $P(t) = -At + N$ , где  $A$  — коэффициент износа оборудования. Увеличение дисперсии ТОиР характеризуется скоростью увеличения  $S_n$  относительно  $S_i$  от одного цикла  $T_i$  к другому:  $DS = \Delta S_n / T_i = (N - S_i) / T_i$  ( $DS$  — показатель изменения скорости ремонтируемого числа оборудования по графику относительно числа оборудования вне графика).

Заметим, что выход разного типа оборудования из строя, изменение параметров является случайным процессом, вероятность которого можно оценить, так как понятно, что со временем при эксплуатации надежность работы прибора падает. Сложность эксплуатации оборудования еще больше увеличивает вероятность выхода приборов из строя. В данной работе предпринята попытка построить простой и понятный алгоритм, который позволит оценить структуру выхода приборов из строя и, соответственно, продумать логистические операции и их объем, позволяющий обеспечить непрерывную работу предприятия.

Графически данный процесс изображен на рис. 7. Важность показателя  $DS$  заключается в том, что контролируя его значения от цикла к циклу, возможно изменение стратегии проведения работ в области ТОиР (рис. 7).

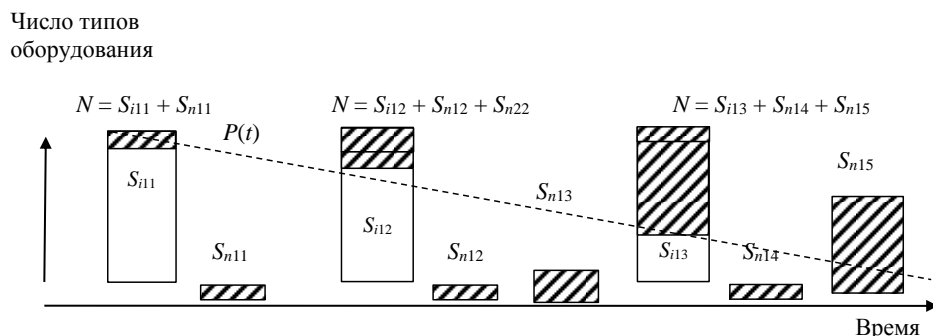


Рис. 6. Динамика распределения процессов ремонта и эксплуатации нефтегазового оборудования во времени

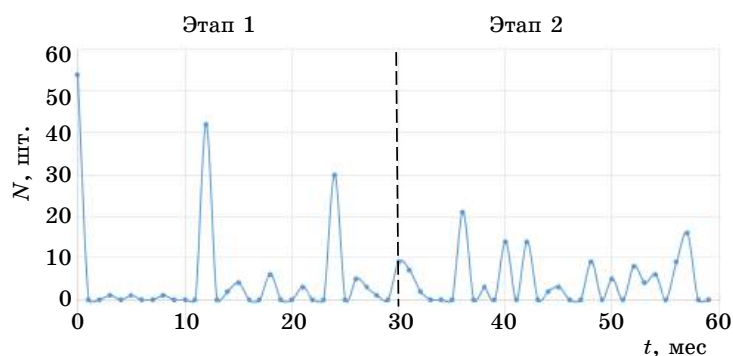


Рис. 7. Этапы функционирования производственного предприятия в области стратегии планирования ТОиР

### Заключение

Приведены описание и частичная формализация бизнес-процессов жизненного цикла оборудования газонефтедобывающего предприятия с распределенной структурой производства. Показаны основные факторы, влияющие на качество функционирования производства, на основании которых возможно проведение оценки уровня мероприятий данного жизненного цикла.

### Литература

1. Rui Zhao, Ruqiang Yan, Zhenghua Chen, Kezhi Mao, Peng Wang, Robert X. Gao. Deep learning and its applications to machine health monitoring // Mechanical Systems and Signal Processing. 2019. № 115. P. 213—237.
2. Шаханов Н. И., Варфоломеев И. А., Ершов Е. В., Юдина О. В. Прогнозирование отказов оборудования в усло-

виях малого количества поломок // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. № 6. С. 36—40.

3. Окладникова Е. Н., Сугак Е. В. Оценка остаточного ресурса безопасной эксплуатации с учетом случайных факторов // Сибирский журнал науки и технологий. 2011. С. 132—136.

4. Прогнозирование вероятности отказа электрооборудования с учетом оценки интегральных показателей технического состояния [Электронный ресурс]. Режим доступа [http://www.ti-ees.ru/fileadmin/f/Conference/2016/4\\_Nazarychev\\_A.N.\\_Prognozirovanie\\_verojatnosti\\_otkaza\\_EHO.pdf](http://www.ti-ees.ru/fileadmin/f/Conference/2016/4_Nazarychev_A.N._Prognozirovanie_verojatnosti_otkaza_EHO.pdf)

5. Савельев А. О., Комагоров В. П., Михалевич С. С. Подход к автоматизированному формированию норм времени на техническое обслуживание средств КИПиА, АСУ ТП и сооружений связи предприятий нефтегазовой отрасли // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 2. С. 202—213.

6. ГОСТ Р 50.1.031-2001 Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1: Стадии жизненного цикла продукции. Дата введения 2002-07-01. — М.: Изд-во стандартов, 2004. — 42 с.

## ESTIMATION OF LEVEL EVENTS OF BUSINESS PROCESSES FOR LIFE CYCLE OF GAS-OIL ENTERPRISE EQUIPMENT

M. Yu. Kataev, S. Yu. Khotnenok

Tomsk State University of control systems and radioelectronics, Tomsk, Russia

*The level of technical condition of the equipment fleet of any enterprise in the course of production activity depends on measures for the purchase, repair, and removal of equipment from the working cycle. The article presents the statement of the problem of assessing the level of measures of the equipment life cycle and describes a possible methodology for solving it, based on the application of business processes. An example of the application of the proposed methodology for a gas and oil producing enterprise is given, the specifics of such enterprises related to the remoteness of the destination and the enterprise carrying out work related to the equipment life cycle are discussed.*

**Keywords:** logistics, enterprise, business process, information analysis.

Катаев Михаил Юрьевич, профессор кафедры "Автоматизированных систем управления".

E-mail: kmy@asu.tusur.ru

Хотненко Сергей Юрьевич, аспирант.

E-mail: sergei.i.khotnenok@tusur.ru

Статья поступила в редакцию 14 мая 2020 г.

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ЭТАЛОННЫМ СИНУСОИДАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

С. В. Федоров, канд. техн. наук

Кумертауский филиал ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,  
Кумертау, Россия

*Описана существующая система управления преобразователями частоты с алгоритмом слежения за эталонным синусоидальным напряжением. Разработано устройство формирования переключающих функций управляющего блока преобразователя частоты для системы управления электроприводом, построенного по принципу слежения за эталонным синусоидальным напряжением. Произведен анализ качества управляющего сигнала для системы частотного управления электроприводом. Описаны преимущества разработанной схемы управления.*

**Ключевые слова:** система управления, преобразователь частоты.

Большинство технологических процессов выполняется с помощью электроприводов, которые являются основными потребителями электроэнергии во многих промышленно развитых странах. Новейшие технологии позволяют применять в этих целях автоматизированные системы управления, позволяющие значительно снизить затраты на электроэнергию за счет оптимизации производственных процессов, а также обеспечить бесперебойную работу самого механизма электропривода. Наибольшее распространение получили частотно-регулируемые электроприводы переменного тока [1].

В качестве устройств, осуществляющих преобразование частоты и напряжения в электроприводах, используют непосредственные частотные преобразователи (НПЧ). Такие преобразователи осуществляют однократное преобразование энергии [2, 3]. При работе данного вида преобразователей нет необходимости в промежуточном аккумулировании энергии [1].

НПЧ отличаются следующими преимуществами:

- высокий КПД благодаря однократному преобразованию электрической энергии;
- возможность двустороннего обмена энергией между питающей сетью и двигателем, что обеспечивает как двигательные, так и тормозные режимы электропривода с рекуперацией энергии в сеть, а также использование нагрузки с низкими коэффициентами мощности;
- возможность использования естественной коммутации тиристоров, что позволяет отказаться от достаточно сложных цепей принудительной коммутации, снижающих надежность и перегрузочную способность преобразователя;
- практически неограниченная мощность НПЧ вследствие сравнительной простоты параллельного наращивания тиристорных цепей и их высокой перегрузочной способности;
- сравнительно небольшие габариты, обусловленные отсутствием в схеме громоздких накопителей энергии.

Цель данной работы — синтез системы управления преобразователем частоты на основе

алгоритма приближения мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения, а также анализ влияния алгоритма формирования управляющих импульсов системы управления преобразователем частоты на качество выходного сигнала.

### Принцип формирования выходного напряжения системами управления НПЧ

Непосредственные преобразователи, к которым относятся матричные преобразователи частоты (ПЧ), представляют собой устройства, синтезирующие форму кривой выходного сигнала. Таким образом, кривую выходного напряжения определенной амплитуды и частоты формируют с помощью последовательного подключения определенных участков многофазного входного напряжения к выходу ПЧ [1].

На способ формирования выходного напряжения влияют следующие параметры [1]:

- число фаз входного напряжения;
- алгоритм работы силовых ключей.

Первый параметр предполагает изменение силовой части ПЧ, второй — изменение системы управления.

Многообразие всех возможных вариантов формирования выходного напряжения, получаемого за счет использования различных алгоритмов, а также самих способов построения алгоритмов определяет сложность задачи их синтеза, которая на данный момент недостаточна изучена [1].

Способ слежения за эталонным синусоидальным напряжением применяют в НПЧ с искусственной коммутацией (ИК) как в замкнутых, так и в разомкнутых следящих системах [1, 4]. Принцип работы системы управления заключается в сравнении эталонного напряжения с напряжениями на входе НПЧ [1, 5]. На основании результатов сравнения данных напряжений по определенным критериям происходит отпирание определенных силовых ключей. В результате на выходе НПЧ формируется напряжение, близкое к синусоидальному.

При использовании способа непосредственно-го приближения мгновенных величин эталонного и выходного напряжений включение ключей НПЧ производят таким образом, чтобы в любой момент времени к нагрузке НПЧ была подведена та фаза источника питания, мгновенное значение напряжения которой ближе всего к мгновенному значению эталонного напряжения (рис. 1). Регулирование напряжения и частоты выходного напряжения осуществляют при помощи изменения частоты и амплитуды эталонного напряжения [1, 4].

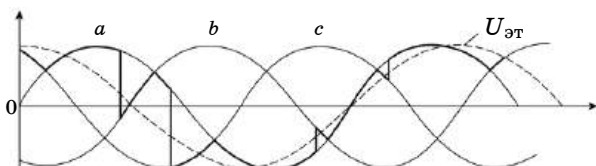


Рис. 1. Способ приближения мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения

Для анализа способа приближения мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения в качестве схемы силовой части предложена мостовая схема трехфазно-трехфазного НПЧ с нулевым выводом (рис. 2) [1].

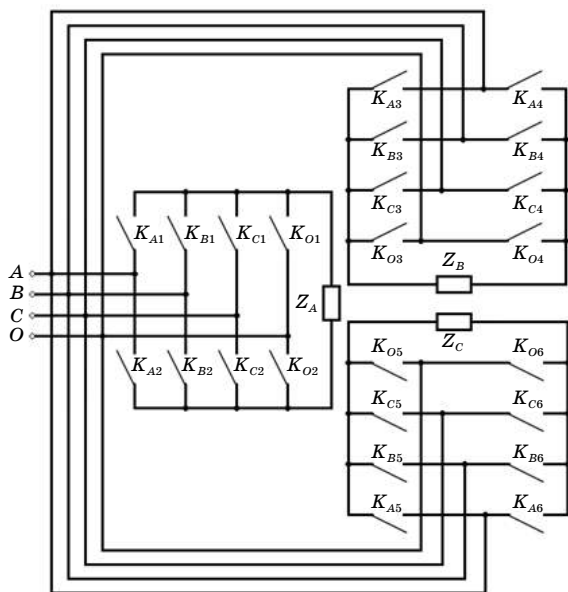


Рис. 2. Мостовая схема трехфазно-трехфазного НПЧ с нулевым выводом

Выходное напряжение НПЧ каждой фазы образуется как из линейных напряжений, формирующихся как разность напряжений двух фаз, так и фазных, формирующихся как разность напряжения фазы и нуля [1].

В результате разности напряжений трех фаз получаем следующие комбинации линейных напряжений:  $U_{AB}$ ,  $U_{AC}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{BA}$ ,  $U_{CA}$ ,  $U_{CB}$ , т. е. на каждую фазу подается шестифазное линейное напряжение [1].

Выражения для этих напряжений имеют следующий вид [1]:

$$U_{AB}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 11 \frac{\pi}{6}\right);$$

$$U_{AC}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 1 \frac{\pi}{6}\right);$$

$$U_{BC}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 3 \frac{\pi}{6}\right);$$

$$U_{BA}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 5 \frac{\pi}{6}\right);$$

$$U_{CA}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 7 \frac{\pi}{6}\right);$$

$$U_{CB}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 9 \frac{\pi}{6}\right).$$

В результате разности напряжений трех фаз и нуля получаем следующие комбинации фазных напряжений:  $U_{A0}$ ,  $U_{0A}$ ,  $U_{B0}$ ,  $U_{0B}$ ,  $U_{C0}$ ,  $U_{0C}$ .

Выражения для этих напряжений имеют следующий вид [1]:

$$U_{A0}(t) = U_m \sin(\omega_{\text{выход}} t);$$

$$U_{0A}(t) = U_m \sin(\omega_{\text{выход}} t - \pi);$$

$$U_{B0}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$U_{0B}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 5 \frac{\pi}{3}\right);$$

$$U_{C0}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 4 \frac{\pi}{3}\right);$$

$$U_{0C}(t) = U_m \sin\left(\omega_{\text{выход}} t - 7 \frac{\pi}{3}\right).$$

Эквивалентной схемой замещения мостовой трехфазно-трехфазного НПЧ с нулевым выводом является двенадцатиоднофазно-трехфазная схема матричного преобразователя частоты с одно-тактным подключением нагрузки (рис. 3) [1].

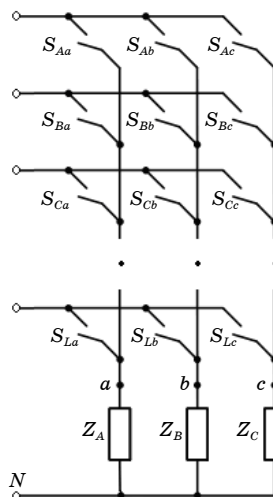


Рис. 3. Двенадцатиоднофазно-трехфазная схема матричного преобразователя частоты



Применение способа непосредственного приближения мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонных напряжений позволяет получить на нагрузке сигнал, максимально приближенный к эталонному (рис. 4) [1].

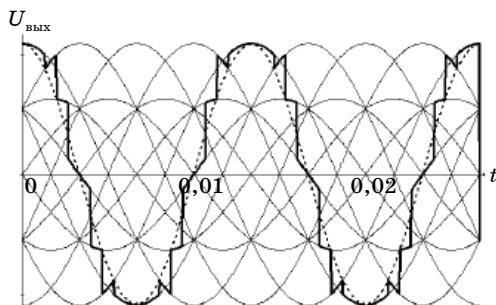


Рис. 4. Выходное напряжение преобразователя частоты при непосредственном приближении мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения

#### Синтез системы управления НПЧ с алгоритмом слежения за эталонным синусоидальным напряжением

Способы слежения за эталонным напряжением применяют в разомкнутых системах управления НПЧ. В таких системах происходит сравнение фаз источника напряжений на входе непосредственного преобразователя частоты с напряжениями, формируемыми задающим генератором. Система управления (рис. 5) состоит из генератора эталонных напряжений (ГЭН), блока сравнения напряжений, формирующего сигналы управления на основе заложенного критерия сравнения (БСФ). Входными сигналами блока сравнения напряжений и формирования сигналов БСФ служат сигналы с выхода блока преобразователя входных напряжений (ПВН) и блока ГЭН [1, 4].

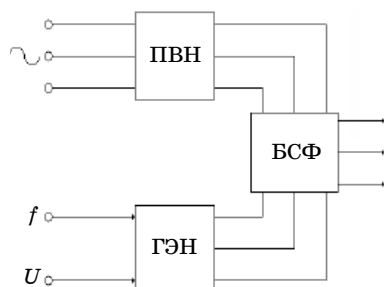


Рис. 5. Упрощенная структурная схема системы управления НПЧ

В качестве БСФ, реализующего способ слежения за эталонным напряжением, разработано устройство формирования переключающих функций системы управления НПЧ. Схема данного устройства приведена на рис. 6—8.

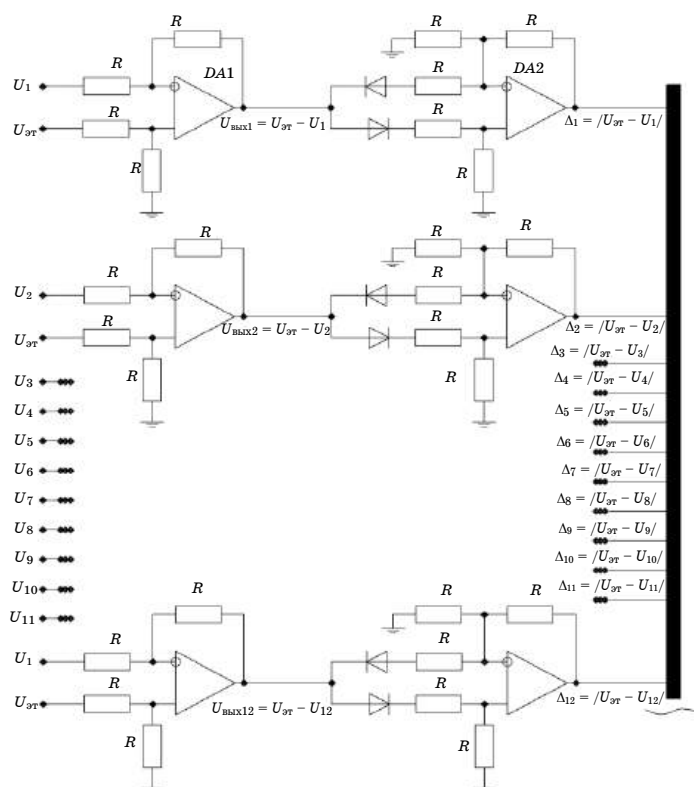


Рис. 6. Устройство управления преобразователем частоты на основе алгоритма приближения мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения (начало)

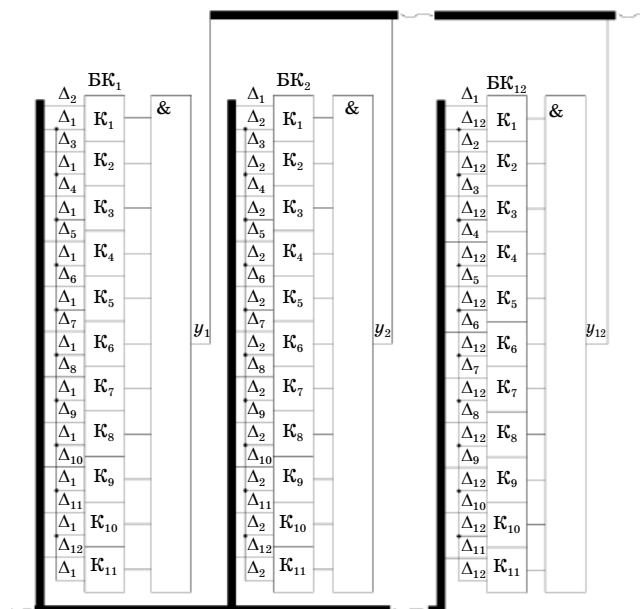


Рис. 7. Устройство управления преобразователем частоты на основе алгоритма приближения мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения (продолжение)

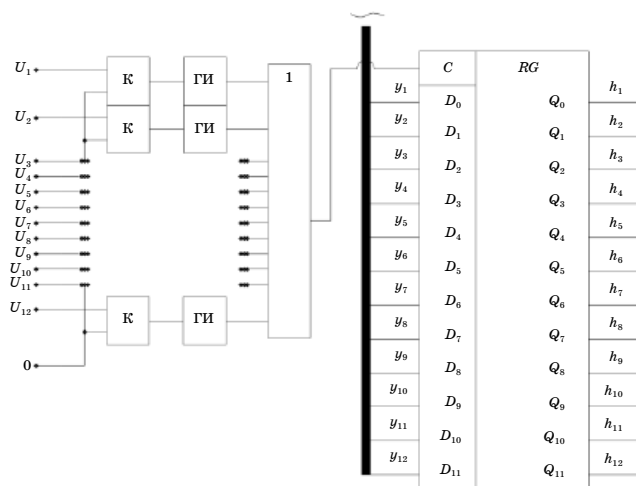


Рис. 8. Устройство управления преобразователем частоты на основе алгоритма приближения мгновенных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения (окончание)

Принцип работы данного устройства заключается в том, что один из сигналов с выхода блока преобразователя входных напряжений  $U_1$  и сигнал с выхода генератора эталонных напряжений  $U_{эт}$  поступают на вход вычитающего усилителя  $DA1$  (рис. 6). Разность этих сигналов  $U_{вых1} = U_{эт} - U_1$  поступает на усилитель  $DA2$ , формирующий модуль сигнала  $\Delta_1 = |U_{эт} - U_1|$ . Остальные сигналы,  $\Delta_2—\Delta_{12}$ , формируются идентичными блоками (рис. 6). Сигналы  $\Delta_1—\Delta_{12}$  характеризуют величины отклонений эталонного сигнала от соответствующих фазных и линейных выходных напряжений.

Далее данные отклонения сравнивают друг с другом с помощью блоков компараторов  $BK_1—BK_{12}$  (рис. 7). Если  $\Delta_1$  оказывается меньше остальных, то сигнал  $y_1$  с выхода  $BK_1$  принимает значение 1. Сигналы  $y_2—y_{12}$  с выхода блоков компараторов  $BK_2—BK_{12}$  принимают значение 0. Это означает, что напряжение  $U_1$  наиболее близко к эталонному, т. е. в данный момент времени необходимо подключить напряжение  $U_1$  к выходу фазы НПЧ.

Сигналы  $y_1—y_{12}$  поступают на вход регистра  $RG$  (рис. 8). Входное двенадцатифазное напряжение ( $U_1, U_2, \dots, U_{12}$ ) подается на входы нуль-детекторов (компараторов)  $K$ . Компараторы  $K$  настраивают так, чтобы их выходные сигналы изменялись от 0 до 1 каждый раз, когда знак их входных сигналов изменяется с отрицательного на положительный в окрестности точки пересечения ноля вольт, т. е. при пересечении какого-либо входного напряжения нулем. Образовавшаяся в момент пересечения входного сигнала с нулем единица с компаратора поступает в генератор импульсов ГИ. Генератор импульсов вырабатывает единичный импульс. Единичные импульсы с выходов ГИ, образованные пересечением входных напряжений ноля вольт, поступают на логический элемент ИЛИ (1), в результате чего образуется импульс  $U_c$ ,

фиксирующий переход через ноль какого-либо напряжения. Далее этот импульс поступает на синхронизирующий вход  $C$  регистра  $RG$  (рис. 8). В момент поступления этого импульса в регистре записывается двоичный 12-разрядный код. На выходе регистра  $RG$  данный код представляет собой переключательные функции  $h_1—h_{12}$ . Таким образом, какая-либо переключательная функция отпирает соответствующие силовые ключи, которые подключают соответствующее входное напряжение к выходу преобразователя частоты. Все остальные переключательные функции равны 0.

#### Анализ качества управляющего сигнала для системы частотного управления электроприводом

Анализ гармонического состава выходного напряжения НПЧ произведен в программе Mathcad 14.0 [6].

Зависимость коэффициента гармоник  $K_r$  от частоты  $f$  выходного напряжения приведена на рис. 9.

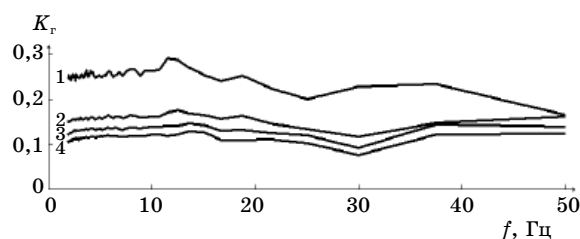


Рис. 9. Зависимость коэффициента гармоник  $K_r$  от частоты  $f$  выходного напряжения НПЧ

На рис. 9 кривая 1 определяет коэффициент гармоник  $K_r$ , если в качестве периода дискретизации  $T_d$  принято время между пересечением какой-либо из 12 фаз нулевого значения. Время дискретизации  $T_d$  составляет величину, равную  $T_0/12$ , где  $T_0$  — период входного 12-фазного сигнала. Значения коэффициента гармоник для кривой 1 изменяются в пределах —  $28,9 \% \geq K_r \geq 16,4 \%$ . Кривая 2 определяет коэффициент гармоник  $K_r$  при периоде дискретизации  $T_0/24$ . Значения коэффициента гармоник для кривой 2 изменяются в пределах —  $17,6 \% \geq K_r \geq 11,6 \%$ . Кривая 3 определяет коэффициент гармоник  $K_r$  при периоде дискретизации  $T_0/36$ . Значения коэффициента гармоник для кривой 3 изменяются в пределах —  $14,5 \% \geq K_r \geq 9,2 \%$ . Кривая 4 определяет коэффициент гармоник  $K_r$  при периоде дискретизации  $T_0/60$ . Значения коэффициента гармоник для кривой 4 изменяются в пределах —  $12,8 \% \geq K_r \geq 7,6 \%$ .

#### Заключение

Разработана схема устройства формирования переключательных функций системы управления НПЧ на основе алгоритма приближения мгно-

венных значений выходного напряжения к мгновенным значениям эталонного напряжения.

Данное устройство позволяет получать на выходе НПЧ напряжение следующего качества [5]:

- $28,9 \% \geq K_r \geq 16,4 \%$  при периоде дискретизации  $T_0/12$ ;
- $17,6 \% \geq K_r \geq 11,6 \%$  при периоде дискретизации  $T_0/24$ ;
- $14,5 \% \geq K_r \geq 9,2 \%$  при периоде дискретизации  $T_0/36$ ;
- $12,8 \% \geq K_r \geq 7,6 \%$  при периоде дискретизации  $T_0/36$ .

Структура, состоящая из отдельных идентичных блоков, позволяет упростить процесс производства, а также применить модульную технологию в изготовлении и обслуживании устройства и всей системы управления в целом.

Результаты сравнения качества выходного напряжения, получаемого с помощью амплитудной модуляции, с существующими способами модуляции [6—9] приведены в таблице.

Значения коэффициента гармоник выходного напряжения

Вид модуляции	Значения коэффициента гармоник выходного напряжения до 50 Гц
ШИМ	$64,9 \% \geq K_r \geq 63,5 \%$
Прямое преобразование	При 12-фазном напряжении $15 \% \geq K_r \geq 11,9 \%$
Амплитудная модуляция	$16,8 \% \geq K_r \geq 8 \%$
Непосредственное приближение мгновенных величин эталонного и выходного напряжений	При 12-фазном напряжении: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>28,9 \% \geq K_r \geq 16,4 \%</math> при периоде дискретизации <math>T_0/12</math>;</li> <li>• <math>17,6 \% \geq K_r \geq 11,6 \%</math> при периоде дискретизации <math>T_0/24</math>;</li> <li>• <math>14,5 \% \geq K_r \geq 9,2 \%</math> при периоде дискретизации <math>T_0/36</math>;</li> <li>• <math>12,8 \% \geq K_r \geq 7,6 \%</math> при периоде дискретизации <math>T_0/36</math></li> </ul>

Разработанное устройство имеет преимущество перед существующими [10—12], заключающееся в отсутствии необходимости задержки импульсов управления на целое число периодов входного напряжения, а также использования опережающего входного напряжения. Этот факт

позволяет упростить систему управления преобразователем частоты.

#### Литература

1. Федоров С. В. Устройство формирования переключающих функций управляющего блока матричного преобразователя частоты для системы частотного управления электроприводом: дисс. ... канд. техн. наук. — Уфа, 2015. — 171 с.
2. Гравовецкий Г. В. Применение переключающих функций для анализа электромагнитных процессов в силовых цепях вентильных преобразователей частоты // Электричество. 1973. № 26. С. 42—46.
3. Жемеров Г. Г., Шинднес Ю. Л. Выбор формы кривой напряжения управления преобразователем частоты с непосредственной связью // Электротехническая промышленность. Преобразовательная техника. 1972. Вып. 1 (25). С. 24—28.
4. Карташов Р. П., Кулиш А. К., Чехет Э. М. Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией. — М.: Техника, 1979. — 152 с.
5. Рутманис Л. А., Дрейманис Я. П., Аржанник О. И. Способы управления преобразователями частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией. — Рига: Зинатне, 1976. — 159 с.
6. Федоров С. В., Бондарев А. В. Спектральный анализ выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты, получаемого путем синтеза синусоиды участками двенадцатифазного входного напряжения исходя из непосредственного приближения мгновенных значений напряжений. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611875 от 12.02.2016 г.
7. Федоров С. В., Бондарев А. В. Спектральный анализ выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты, получаемого с помощью метода прямого преобразования. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660465 от 08.10.2014 г.
8. Федоров С. В., Бондарев А. В. Спектральный анализ выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты, получаемого с помощью широтно-импульсной модуляции. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660062 от 01.10.2014 г.
9. Федоров С. В., Рогинская Л. Э., Бондарев А. В. Устройство формирования переключающих функций системы управления матричным преобразователем частоты // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. www.science-education.ru/120-15973.
10. Крогерис А. Ф., Якубайтис Э. А., Рутманис Л. А., Дрейманис Я. П. Способ управления непосредственным преобразователем частоты. Авторское свидетельство № 601798, Н02М 5/27, 1978.
11. Витко А. В. Устройство для механического сканирования. Авторское свидетельство № 163220, H01Q 3/02. 1964.
12. Сб. "Повышение эффективности устройств преобразовательной техники". Ч. 2. — Киев: Наукова думка, 1972. С. 183—191.

## FREQUENCY CONVERTER CONTROL SYSTEM BASED ON THE ALGORITHM FOR TRACKING THE REFERENCE SINUSOIDAL VOLTAGE

S. V. Fedorov

Kumertau branch of Orenburg State University, Kumertau, Russia

*This article describes the existing control system for frequency converters with an algorithm for tracking the reference sinusoidal voltage. A device for generating switching functions of the frequency converter control unit for an electric drive control system based on the principle of tracking the reference sinusoidal voltage has been developed. The quality of the control signal for the frequency control system of the electric drive is analyzed. The advantages of the developed control scheme over existing schemes are described.*

**Keywords:** control system, frequency converter.

Федоров Сергей Витальевич, доцент.  
E-mail: proinfosystem@gmail.com

Статья поступила в редакцию 6 августа 2020 г.

УДК 001.891.57.33

## АЛГОРИТМ АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ФИЛЬТРА С КОНЕЧНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

В. И. Сурин, канд. техн. наук, З. С. Волкова

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

*Разработан алгоритм применения последовательных математических преобразований с использованием функции дискретного линейного отклика. Процедура построения спектральных функций имеет определенный порядок и направлена на получение адекватных результатов аппроксимации экспериментальной выборки в частотной области. Показано, что использование функции низкочастотного FIR-фильтра в составе сверки совместно с быстрым преобразованием Фурье дает положительные результаты при локализации области образования зародышевой трещины в стали ЭИ847. Рассмотрен теоретический аспект применения низкочастотных фильтров с конечной импульсной характеристикой. Построены поверхностные спектрограммы для каждого рассмотренного этапа аппроксимации.*

**Ключевые слова:** функция дискретного линейного отклика, спектральный анализ экспериментальных данных, FIR-фильтр.

Методы электрофизического неразрушающего контроля, находящиеся в процессе апробации и внедрения, выходят на стадию сертификации в целях более широкого практического применения. Одним из плановых этапов, предшествующих сертификации метода сканирующей контактной потенциометрии (СКП), является этап верификации метода СКП в различных специально выбранных условиях и на специально подготовленных образцах. Данный этап работы поддержан Российским фондом фундаментальных исследований и выделенным грантом по договору № 19-08-00266/19 от 10.01.2019.

Полученные результаты показывают высокую эффективность методов спектрального анализа при интерпретации данных электрофизического контроля [1]. Для анализа структуры сигнала, представленного временным рядом, применяют разнообразные фильтры. Временной ряд — последовательность чисел, отражающих значение протекающего во времени процесса в дискретные, последовательные, обычно равноотстоящие моменты времени. В реальных условиях временной ряд представляет собой смесь детерминированной составляющей (тренда) и случайной компоненты (шума). Анализ временных рядов основан на выборках, представляющих собой наборы чисел, равноотстоящих по времени отсчетов. Спектрограммы, построенные с помощью FIR-фильтра, дают качественные изображения структурных неоднородностей, близкие, а иногда и превосходящие по качеству изображения рефлексов на потенциограммах. Фильтром с конечной импульсной характеристикой  $y(n)$  называют функцию вида

$$y(n) = \sum_{p=0}^{M-1} x(n-p)h(p),$$

где  $x(p)$  — выборка экспериментальных данных;  
 $h(p)$  — дискретный импульсный отклик.

### Фильтры с конечной импульсной характеристикой

Линейная инвариантная во времени система характеризуется своим откликом на импульс Дирака. Если сигнал изменяется дискретно во времени, говорят о функции дискретного линейного отклика.

Для построения функции дискретного импульсного отклика примем шаг выборки равным  $T = 1$  с. Дискретные значения амплитуды сигналов контроля будем обозначать  $\varphi(n)$  и при этом использовать фильтры с конечным импульсным откликом, которые удовлетворяют условию

$$L\varphi(n) = \sum_{p=0}^{M-1} \varphi(p)h(n-p), \quad (1)$$

где  $L$  — линейный дискретный оператор, инвариантный во времени:

$$L\delta(n) = h(n);$$

$\delta(n)$  — дельта-функция Дирака.

Если импульсный отклик  $h(n)$  строится на конечной выборке, фильтр называют конечным. Диаграмма, представленная на рис. 1, поясняет действие FIR-фильтра на конечной выборке.

По определению, линейный дискретный оператор  $L$  инвариантен во времени, если при входном сигнале  $\varphi(n)$  с задержкой  $p$  выполнено условие

$$\varphi_p(n) = \varphi(n-p) \quad (2)$$

и на выходе также получается значение с задержкой  $p$  [3]:

$$L\varphi_p(n) = L\varphi(n-p). \quad (3)$$

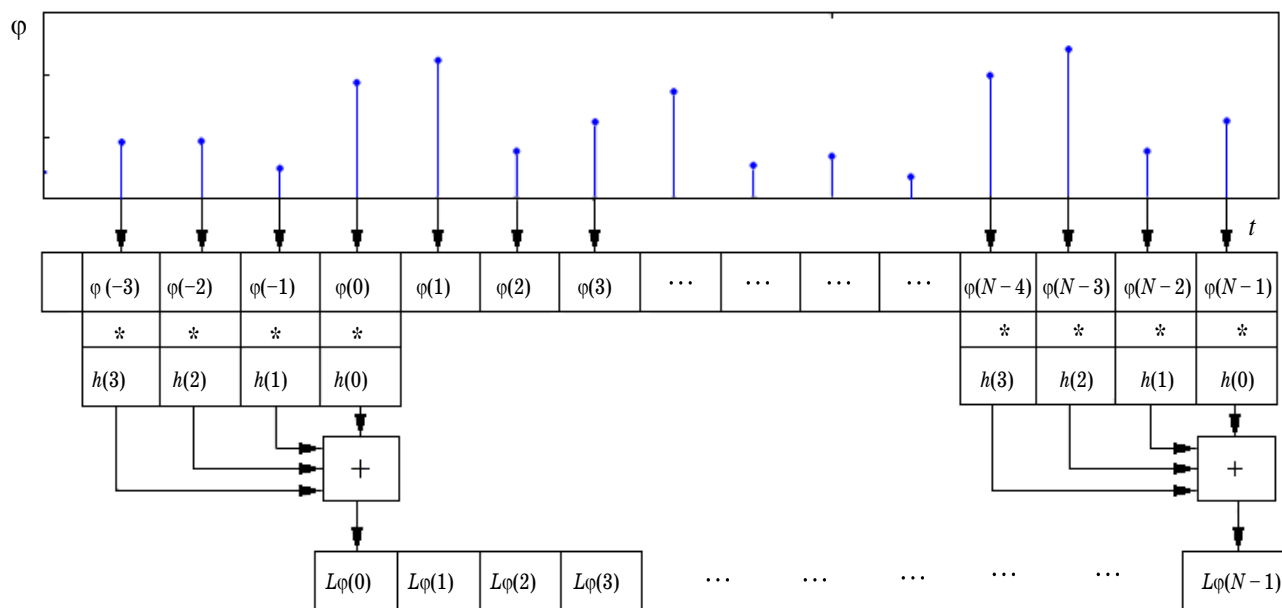


Рис. 1. Действие FIR-фильтра на конечной выборке функции сигнала  $\varphi(t)$ . В верхней части рисунка показана временная зависимость функции сигнала

На ограниченной выборке FIR-фильтр осуществляет преобразование входного вектора  $\varphi$  длиной в  $m$  отсчетов в выходной вектор  $L\varphi$ , или функцию линейного оператора, длиной также  $m$  отсчетов посредством умножения  $k$  отсчетов входного вектора на соответствующее им число коэффициентов  $h$  с последующим суммированием (рис. 1). Таким образом, FIR-фильтр представляет собой обычную свертку.

Передаточную функцию фильтра определим как функцию вида

$$\hat{h}(k) = \sum_{n=0}^{M-1} h(n)e^{-ikn}. \quad (4)$$

Ряд Фурье является частным случаем преобразования Фурье для суммы Дирака. Если функцию  $\varphi(t)$  можно представить в виде

$$\varphi(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \varphi(n)\delta(t-n),$$

то ее передаточная функция равна

$$\hat{\varphi}(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \varphi(n)e^{-ikn}.$$

При обработке данных программируемые амплитудные дискриминаторы (ПАД) позволяют применять FIR-фильтры на разных уровнях фиксации (SLS) [2]. Для визуализации результатов эксперимента необходимо построить матрицу размером  $m \times n$ , где  $m$  — число отсчетов,  $n$  — число измерительных дорожек (треков), а на пересечении строк и столбцов расположены значения спектральной функции линейного оператора. Эффективность локализации неоднородностей с помощью разработанного метода

связана с применением разнообразных оконных функций в качестве дискретного импульсного отклика  $h(n)$ .

Использование прямоугольной оконной функции имеет ряд ограничений, поскольку она имеет значительные боковые максимумы модуля и поэтому обладает неприемлемой в ряде случаев локализацией неоднородностей. В этом смысле функции Хеннинга и Хемминга более гладкие и лучше подходят для задач локализации структурных неоднородностей на низких частотах [3].

Для уменьшения расчетной погрешности использовали быстрое преобразование Фурье на заданной экспериментальной выборке. В методе СКП в качестве функции  $\varphi(n)$  использована контактная разность потенциалов [4].

### Экспериментальная часть

Потенциометрические измерения выполнены на программно-аппаратном комплексе *Elphys-LAB*-ИДС мобильной информационно-диагностической системы, размещенной на ноутбуке Asus X554L. Для проведения измерений в режиме ручного детектирования разработан ПАД измерительных сигналов с регулируемой шкалой амплитудной дискриминации в диапазоне 40 дБ. Назначение дискриминатора заключается в отсечке тех значений амплитуды сигнала, которые выше установленного уровня, что позволяет исследовать распределение электрического потенциала на разных уровнях фиксации сигнала [5]. Узкополосный фильтр позволяет настраивать ПАД по амплитуде, начиная с уровня десятых микровольт, с шагом 0,1 мкВ, широкополосный — от единиц и до десятков милливольт. Измерительная система управляет



ся OS Windows, частота дискретизации измерений составляет 1 Гц.

Плоские образцы из стали ЭИ847 размером  $170 \times 50 \times 2$  мм были изготовлены фрезерованием из листового проката с последующей полировкой рабочей поверхности до шероховатости  $R_a$  не хуже 0,3 мкм. Для измерения разности электрических потенциалов применяли датчики с электрофизическими преобразователями из меди М-2 и низкоуглеродистой стали Ст3. Механическое перемещение датчика по поверхности образца осуществляли по восьми измерительным дорожкам (трекам), четыре из которых принадлежали левой части образца (относительно продольной оси симметрии) и четыре — правой. Длина трека составляла около 90 мм, а расстояние между треками — примерно 3 мм. При средней скорости сканирования 5 мм/с время одного сета измерений изменяли в пределах двухминутного интервала. В процессе испытаний при увеличении нагрузки на поверхностных потенциограммах наблюдали мозаичную картину изменения потенциалов, связанную с проявлением динамической волнистости и шероховатости [6].

Испытания на растяжение проводили на электромеханической разрывной машине INSTRON-5982. Во время испытаний записывали диаграмму растяжения в координатах нагрузка—удлинение образца. Нагрузку повышали ступенчато, при пересчете на напряжение на ~30—50 МПа, после каждого текущего режима испытаний. Каждый цикл с заданными значениями нагрузки завершали полной разгрузкой образца и фиксировали изменение его формы, а также измеряли шероховатость рабочей поверхности.

В течение одной недели после испытаний образец выдерживали в разгруженном состоянии при нормальных условиях, затем испытания возобновляли, начиная с более высокого уровня нагрузки. В процессе эксперимента на каждом режиме измеряли температуру поверхности образца термопарой, показания которой в пределах погрешности, как и температура неподвижного преобразователя, соответствовала комнатной температуре (22—24 °С). Всего было проведено пять циклов испытаний в интервале напряжений от 12 до 680 МПа.

#### Алгоритм локализации области образования зародышевой трещины в частотной области с применением FIR-фильтра

Рассмотрим алгоритм применения последовательных математических преобразований к экспериментальной выборке с использованием FIR-фильтра. На рис. 2 показана потенциограмма экспериментальных данных, в центре которой видно изображение области образования зародышевой трещины.

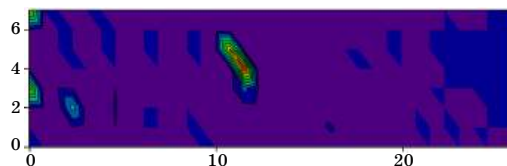


Рис. 2. Потенциограмма результата испытаний стали ЭИ847 на уровне фиксации  $SLS = 4,086$ . В центре видно изображение области образования зародышевой трещины.

По оси абсцисс обозначено число отсчетов измерений, по оси ординат — номера измерительных дорожек

Применение быстрого преобразования Фурье к экспериментальной выборке позволяет получить вид поверхностной спектральной функции (рис. 3). На рис. 3, а показан вид модуля спектральной функции, а на рис. 3, б — вид модуля мнимой части спектральной функции. И в том, и в другом случае выявляются две структурные неоднородности, расположенные примерно симметрично относительно центральной части рисунка.

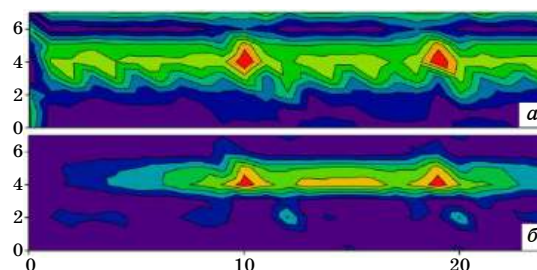


Рис. 3. Вид модуля спектральной функции (а) и модуля мнимой части спектральной функции (б) на уровне фиксации  $SLS = 4,086$

Применим к экспериментальным результатам преобразование конечного импульсного отклика. В качестве функции отклика используем функцию, график которой показан на рис. 4.

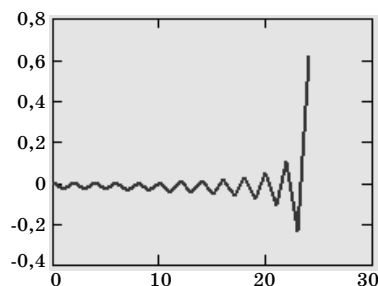


Рис. 4. Вид функции низкочастотного FIR-фильтра. По оси абсцисс отложено число отсчетов измерений, по оси ординат — значения функции (в условных единицах)

Результат свертки функции отклика и дискретного преобразования Фурье приведен на рис. 5.

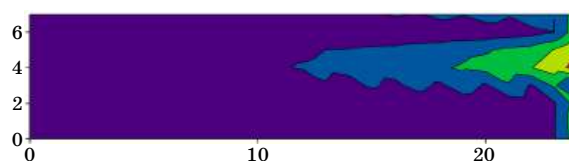


Рис. 5. Вид модуля спектральной функции свертки на уровне фиксации  $SLS = 4,086$

Используя новую функцию, представленную как сумма преобразования Фурье и функции свертки [7], с задержкой (сдвиг по индексу суммирования), в результате получаем частичную локализацию области образования зародышевой микротрещины в частотной области (рис. 6). Однако полученный результат не может быть признан удовлетворительным. Поэтому были проведены дополнительные расчеты с применением дискретного преобразования Фурье.

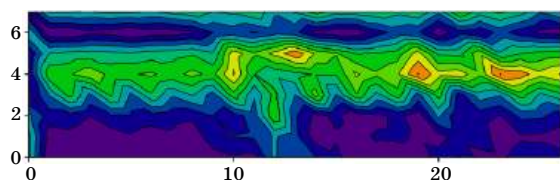


Рис. 6. Вид модуля суммы двух спектральных функций

Взятие повторного преобразования Фурье от суммы двух указанных функций позволяет локализовать зародыш трещины в центральной части образца (рис. 7), а процедура сдвига функции по индексу суммирования решает окончательно задачу о локализации области образования зародышевой трещины (рис. 8).

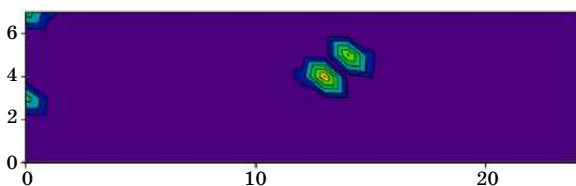


Рис. 7. Вид модуля спектральной функции повторного преобразования Фурье

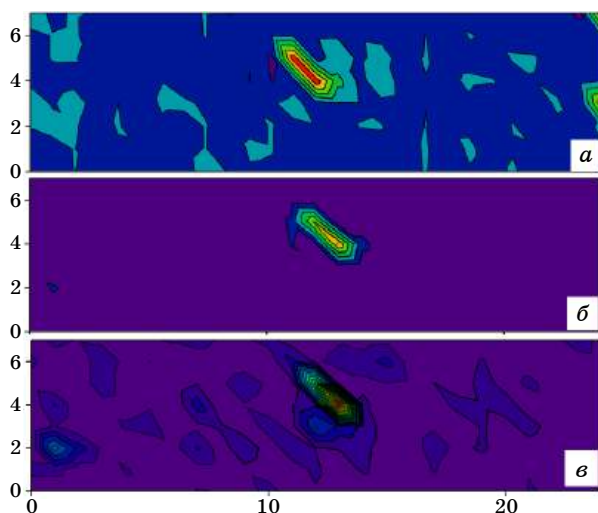


Рис. 8. Вид модуля реальной части спектральной функции (а), модуля спектральной функции (б) и модуля мнимой части спектральной функции (в)

Следует отметить, что наибольшее сходство полученных результатов с результатом, показанным на рис. 2, наблюдается для модуля мнимой части спектральной функции (рис. 8, б). В этом случае, так же как и на рис. 2, в центральной части образца локализован "двойник" зародыша трещины.

### Заключение

Применение разработанного алгоритма аппроксимации позволяет с помощью функции конечного импульсного отклика выявлять структурные неоднородности в материалах в низкочастотной области излучений волн упругих напряжений. Наилучший вариант аппроксимации получен в результате поэтапного последовательного использования преобразования Фурье в сочетании с функцией свертки и применения низкочастотной фильтрации.

Работа поддержана Российским фондом  
фундаментальных исследований  
и выделенным грантом по договору  
№ 19-08-00266/19 от 10.01.2019.

### Литература

1. Alwaheba A. I., Surin V. I., Ivanova T. E., Ivanov O. V., Beketov V. G., Goshkoderov V. A. Detection of defects in welded joint by scanning contact potentiometry. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 2020.
2. Абу Газал А. А., Джумаев П. С., Осинцев А. В., Польский В. И., Сурин В. И. Экспериментальное исследование процесса разрушения стали ЭИ847 методами структурного анализа // Письма о материалах. 2019. Вып. 1. № 9. С. 33—38.
3. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. — М.: Мир, 2005.
4. Сурин В. И., Евстюхин Н. А. Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов: учеб. пособие. — М.: МИФИ, 2008.
5. Surin V. I., Abu Ghazal A. A., Albqoor Abeer Spectral analysis of diagnostic signals based on integral transforms // Modern problems of theory machines. 2016. Iss. 2. P. 37—47.
6. Abu Ghazal A. A., Dzhumayev P. S., Osintsev A. V., Polski V. I., Surin V. I. Physio-mechanical materials testing using scanning contact potentiometry method: KnE Materials Science, 15th International School-Conference "New materials — Materials of innovative energy. — Dubai, UAE, 2017 ("Knowledge E"). publishing@knowledgee.com
7. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. — М.: Связь, 1980.

---

## ALGORITHM FOR APPROXIMATING EXPERIMENTAL DATA BASED ON A LOW-PASS FILTER WITH A FINITE IMPULSE RESPONSE

V. I. Surin, Z. S. Volkova

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

*An algorithm for applying sequential mathematical transformations using the discrete linear response function has been developed. The procedure for constructing spectral functions has a certain order and is aimed at obtaining adequate results of approximating the experimental sample in the frequency domain. It is shown that the use of the function of the low-frequency FIR filter as part of the convolution, together with the fast Fourier transform, gives positive results in the localization of a seed crack in steel EI847. The theoretical aspect of low-pass filters with a finite impulse response is considered and surface spectrograms are constructed for each considered stage of approximation.*

*Keywords:* discrete linear response function, spectral analysis of experimental data, FIR filter.

---

Сурин Виталий Иванович, заведующий лабораторией.

E-mail: VISurin@mephi.ru

Волкова Зинаида Сергеевна, ведущий инженер.

E-mail: volkovazs@rambler.ru

*Статья поступила в редакцию 15 сентября 2020 г.*

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

В. Н. Балинец; Ю. В. Башмакова; Ж. Исабаева; Л. В. Журавлева, канд. техн. наук  
Московский государственный технический университет им. Баумана, Москва, Россия

*Рассмотрен процесс электронного конструкторско-технологического документооборота на предприятиях электронной промышленности. Даны рекомендации по анализу производственных процессов, в которых учтены основные требования к обработке электронной технической документации. Проанализированы особенности внедрения системы электронного документооборота, что позволяет повысить эффективность процессов документооборота предприятия и упростить систему контроля состояния его деятельности. Обобщены основные трудности внедрения и принципы, которыми следует руководствоваться при переходе к электронному документообороту.*

**Ключевые слова:** жизненный цикл, электронный технический документооборот, 3D-печать, электронный документ, автоматизация.

Современное цифровое производство нельзя представить без интегрированных систем управления данными об изделии, основанных на CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support — постоянном развитии и поддержке жизненного цикла) технологиях [1]. Наряду с термином CALS часто используют термин PLM (Product Lifecycle Management). Данные технологии представляют собой организацию процессов разработки, производства, послепродажного сервиса, эксплуатации изделий путем информационной поддержки процессов их жизненного цикла (ЖЦ) на основе стандартизации методов представления данных на каждой стадии ЖЦ и безбумажного электронного обмена данными [1]. Они формируют набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное (электронное) взаимодействие участников процессов проектирования, производства, испытаний и т. д. [2].

Одним из существенных элементов организации информационной поддержки изделий (ИПИ) на предприятии является электронный технический документооборот, который неосуществим без использования архива конструкторской и технологической документации (КД и ТД). Поэтому первоочередная задача большинства крупных промышленных предприятий — организация электронного архива КД и ТД на основе существующего бумажного архива подлинников [1—3]. В соответствии с концепцией развития информационных технологий в оборонно-промышленном комплексе в целях построения единого информационного пространства (ЕИП) на предприятиях активно внедряют электронный документооборот. Это необходимо для разработки, согласования, хранения, внесения изменений, обращения электронной технической документации (ЭТД) и сопровождения состава изделия в электронном виде [4, 5].

Анализ в области управления документооборотом предприятий показал, что даже относительно небольшой проект может породить

огромное количество документов. Предположения о том, что с появлением компьютеров число бумаг уменьшится, не оправдались. Подсчитано, что в среднем сейчас производится в два раза больше документов, чем десять лет назад. Наряду с простыми "бумажными" копиями приходится оперировать и электронными документами — текстовыми и графическими файлами, что приводит к трудностям при работе с документами, их поиске и редактировании. С развитием компьютеризации остро встает вопрос надежности хранения информации, например об удалении нужного документа или о доступе к данным тем, кто не имеет на это права. Наличие систематизированного подхода к работе с документами (иначе называемого документооборотом) на предприятии определяется степенью зрелости предприятия [6].

Документооборот может отсутствовать у организаций, осуществляющих неформальное управление. Однако если в управлении компаний и в организации процессов установлен некий формализм, то рано или поздно возникает необходимость введения упорядоченной документарной основы и его картирования [7]. В конечном итоге образуется документооборот. Документооборотом необходимо управлять, в противном случае через некоторое время появятся проблемы, связанные с утратой документов или несанкционированным доступом к ним [8]. С ростом компании, появлением все более глобальных задач возникает целый ряд проблем, среди которых можно выделить следующие [9—11]:

- увеличивающиеся объемы обрабатываемых конструкторско-технологических документов, управление которыми невозможно производить имеющимися средствами;
- скорость прохождения документа по маршруту согласований и утверждений становится низкой, что приводит к замедлению протекания процессов предприятия;

- руководство предприятия не в состоянии контролировать документооборот предприятия, принимать адекватные решения по управлению процессами становится практически невозможно;

- отсутствие системы контроля за назначением и исполнением поручений;

- имеющиеся средства управления документооборотом устаревают и не соответствуют более требованиям предприятия.

При всех видимых достоинствах применения электронного архива существует один значительный недостаток, связанный со структурой хранения электронной документации. При необходимости подобрать всю документацию на изделие приходится вначале определять по спецификациям состав документации, входящей в изделие (состав изделия) и лишь потом подбирать ее по десятичному номеру из электронного архива. При этом затрачивается много времени, так как состав одного изделия может включать более 5 000 сборочных единиц и деталей [12—20]. Решением этих проблем может стать внедрение системы электронного документооборота на предприятии не от набора данных, а от функций реализуемых производственных процессов.

Система электронного документооборота (СЭД) — это совокупность идеологии (концепции) и специального программного обеспечения, обеспечивающих регулирование потока документов, осуществление контроля над их состоянием и их обработку в сетевой среде [13—15].

С помощью СЭД документы можно объединять в логические блоки с возможностью их архивного хранения и осуществления простого поиска. Основная задача функционирования системы документооборота заключается в систематизации всего объема документов на бумажных или электронных носителях. СЭД должна обеспечивать сохранность документов от потери и порчи и иметь возможность их быстрого восстановления.

Системы документооборота внедряют для решения широкого круга задач. Среди наиболее значимых можно выделить [13—15]:

- оптимизацию процессов обработки документов и автоматизацию механизма их выполнения и контроля;

- поддержание эффективного накопления, управления и хранения данных и знания об изделиях и процессах;

- обеспечение действенного управления благодаря автоматическому контролю выполнения, прозрачности деятельности всей организации на всех возможных уровнях;

- экономии средств за счет уменьшения издержек на управление потоками документов в организации;

- исключение необходимости или существенное упрощение и удешевление хранения бумажных документов за счет наличия оперативного электронного архива;

- контроль деятельности предприятия в целом (анализ деятельности подразделений, выявление "горячих точек" в деятельности).

### Концепция конструкторско-технологического документооборота

Анализируя текущее состояние цифровой трансформации отраслей промышленности, можно констатировать, что в данный момент на большинстве предприятий используют смешанный документооборот, включающий согласование КД в бумажном и электронном видах [14, 15].

Системы электронного документооборота позволяют оперативно объединять исполнителей из различных подразделений внутри предприятия в сквозные производственные процессы, которые контролируются руководством предприятия как единое целое. В эту систему входят средства электронного обмена сообщениями и маршрутизации, которые позволяют организовать непосредственный обмен результатами работы между участниками процесса, производя при этом мониторинг выполнения работ по проектированию, а также обеспечить полное включение в процесс всех задействованных подразделений предприятия.

В большинстве случаев под документооборотом понимают систему управления документами. Однако это несколько разные понятия. Понятие документооборота подразумевает методы организации движения документов внутри предприятия, между группами пользователей или отдельными лицами (некую идеологию). Под движением следует понимать передачу прав на их использование и контроль исполнения. Модули маршрутизации документов представляют собой модули систем управления документами (СУД), которые отвечают за движение документов.

*Документооборот* — система передвижения в организации всех документов с даты их создания или получения до завершения исполнения, отправки адресату или архивирования.

Основной единицей документооборота является электронный документ [1—5]. Документ — записанная информация на материальном носителе с идентифицирующей меткой. *Электронный документ* — документ, в котором информация представлена в электронно-цифровой форме. Это не просто один файл, а совокупность файлов разного типа (составных частей документа), снабженная *регистрационной карточкой*. Это неотъемлемый признак системы электронного документооборота. Она содержит набор реквизитов, таких как, название организации, вид документа, отметки о согласованиях и утверждениях, даты, адреса сторон и т. д., и позволяет регистрировать, распознавать и находить документ, контролировать исполнительскую дисциплину, отслеживать историю документа и архивировать его. Документ является

базовым инструментом управления: все управление в организации осуществляется через документы.

Стандартная система документооборота состоит из двух основных блоков: статического (электронный архив) и динамического (электронная обработка). Первый блок обеспечивает первичную регистрацию и хранение документов (регистрация входящей и исходящей информации, поиск, хранение созданных документов), а второй — организацию информационных потоков (маршрутов движения документов в процессе обработки), по которым проходят документы, контроль исполнения, групповую работу над документом и т. п. [1, 2].

Согласно ГОСТ 2.051-2006 электронный документ (ДЭ) состоит из двух частей: содержательной и реквизитной. Содержательная часть включает в себя информацию об изделии, реквизитная состоит из структурированного по назначению набора реквизитов. Электронный документ — это документ, выполненный как структурированный набор данных, создаваемых программно-техническим средством (рис. 1).

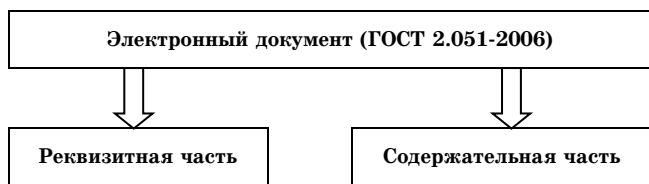


Рис. 1. Состав электронного документа

Если предприятие только начинает свою работу, то есть возможность с самого начала правильно организовать документооборот. Если же уже есть большой архив, то существует два решения [1, 5, 14, 15]:

- переводить в электронную форму всю накопленную информацию сразу;
- осуществлять перевод архива в обращение к документам.

Очевидно, второй путь более экономичен.

Также нужно решить, разворачивать систему документооборота на всем предприятии сразу или выбрать независимый отдел, на котором «обкатать» ее применение (локальная автоматизация). Так как установка корпоративной системы стоит недешево, то из экономических соображений второй путь более приоритетный. Значительным фактором является качество системы и обучение сотрудников работы с ней.

Показатель эффективности применения СЭД определяется тем, насколько документы определяют информационное содержание деятельности предприятия.

В отдельных случаях СЭД может выступать в качестве интегрирующего инструмента для передачи документов между исходными системами и системами, которые их потребляют, когда прямая связь на уровне структурированных данных между этими системами не нужна.

Например, предприятие имеет систему управления взаимодействием с заказчиками (CRM) и систему планирования ресурсов предприятия (ERP). При этом требуется, чтобы в CRM фиксировались ежеквартальные отчеты из ERP о поставках товара определенному клиенту, дополненные комментариями экспертов. Данные отчеты лучше всего хранить в СЭД. Благодаря интеграции ERP и СЭД документ автоматически создается и сохраняется, возможно также автоматическое закрепление документа за карточкой клиента. Все эти операции могут происходить автоматически (следует отметить, что приведенный пример является чисто теоретическим и на самом деле может не иметь практического смысла; интеграция любых информационных систем имеет смысл только тогда, когда четко обозначена ее цель) [5, 14, 15–17].

Не менее важной задачей предприятия является задача управления знаниями. На данный момент по-настоящему решенной ее назвать сложно. СЭД не могут эффективно решить эту задачу. СЭД лишь позволяют собирать информацию и представлять ее в удобном виде. Имеющиеся средства управления знаниями не столь эффективны. Проблема заключается в том, что алгоритмы работы с текстовыми данными, основанные на статистических методах, являются слишком грубым инструментом [18]. Smart-системы будущего смогут содержательно анализировать смысл текста, пока что такие системы только развиваются, поэтому об управлении знаниями в системах СЭД можно говорить только условно [21–23].

СЭД обрабатывает большое количество документов разных типов, видов и назначения. Четкое разделение обязанностей и функций между сотрудниками предприятия положительно влияет на правильную организацию работы с документами. Для повышения ответственности каждого работника необходимо четко формализовать его обязанности, что поможет исключить дублирование операций при работе с документами (рис. 2).



Рис. 2. Состав документов предприятия



В зависимости от цели создания документы подразделяют на [1, 2]:

- распорядительные (приказ, указание);
- организационные (положение, устав, инструкция, протокол);
- информационно-справочные (справка, докладная или объяснительная записка, акт);
- производственные (чертежи, спецификации, карты);
- личные (автобиография, заявление, доверенность).

Рассматривая общий поток документов организации по признаку возникновения и использования, можно выделить следующие группы:

- внутренние (созданные в организации и не выходящие за ее пределы) — распорядительная, справочно-информационная производственная документация;
- входящие (поступающие в организацию) — документы вышестоящих органов управления: постановления, решения, приказы, указания, инструктивно-методические письма; документы других организаций: письма, решения, акты; обращения граждан и т. д.;
- исходящие (отправляемые в другие организации) — письма, планово-отчетная документация.

Документы распределяются в организации в соответствии с функциями подразделений и исполнителей. Данные функции зафиксированы в положениях о структурных подразделениях и в должностных инструкциях исполнителей. В за-

висимости от типа документа предусматриваются различные пути его обработки и ведения [1, 14, 15, 18—20].

Значительное воздействие на надлежащее исполнение документов оказывает качественная организация контроля над этим процессом. Все документы должны подвергаться контролю.

### Классификация производственной документации

В данной работе основное внимание уделено обработке и управлению конструкторско-технологической документации. Поэтому принципы обработки документов данного типа рассмотрим подробнее.

В ходе анализа процессов предприятия производили анализ основных типов документов, используемых в производственном цикле. Результаты анализа представлены на рис. 3.

Всю техническую документацию делят на две группы: конструкторские документы и технологические документы. Конструкторские документы представляют собой графические и текстовые документы. К текстовым документам относят спецификации, ведомости, табличные документы, расчетные документы, записки и указания.

Графические документы можно разделить на чертежи и схемы. Среди чертежей можно выделить следующие типы: чертежи деталей, сборочные чертежи, чертежи общего вида, габаритный чертеж, электромонтажный, установочный чертеж.

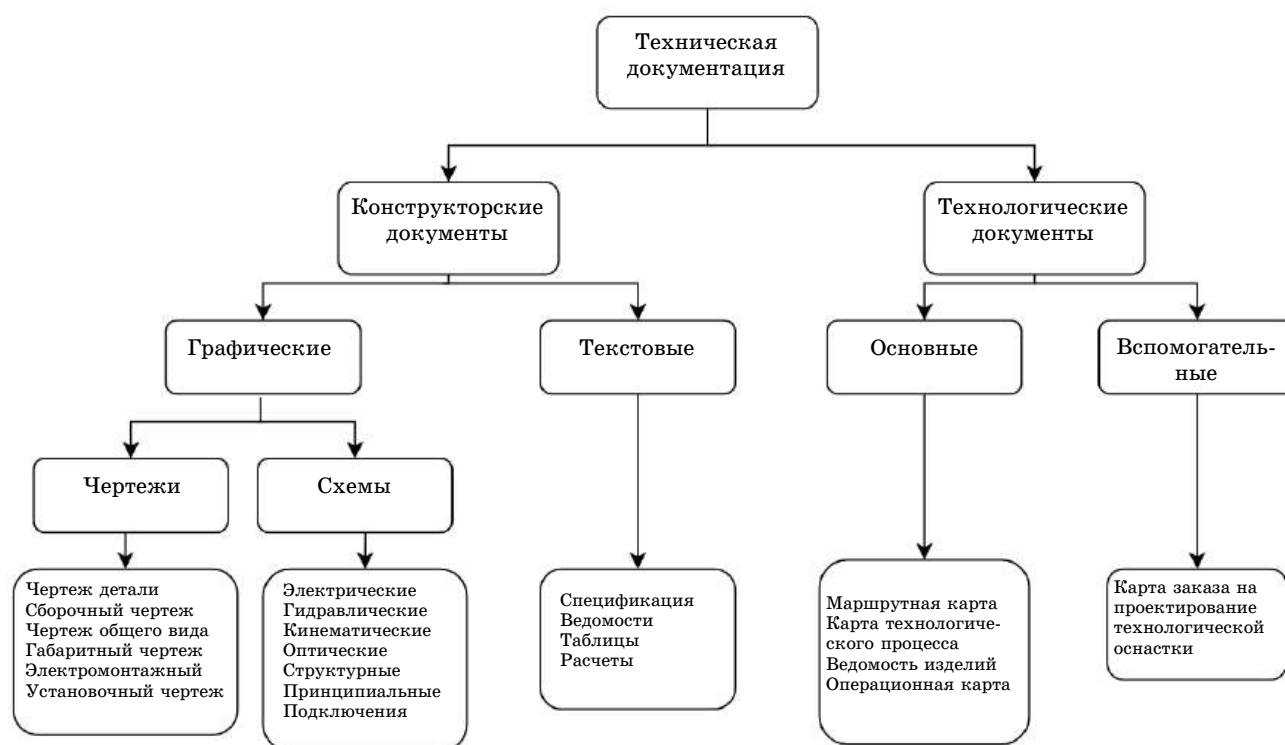


Рис. 3. Классификация документов по виду данных

Схемы представлены следующими видами: структурные, функциональные, принципиальные, а также типами: электрические, гидравлические, пневматические, оптические.

Весь объем технологической документации можно разделить на два класса: основные и вспомогательные. К основным относят маршрутные карты, карты технологического процесса, операционные карты. К вспомогательным относят карты заказа на проектирование технологической оснастки и другие.

Каждый тип документа на предприятии имеет свой маршрут обработки, начиная от создания и заканчивая помещением документа в архив. Жизненный цикл ЭТД состоит из следующих стадий [1, 2]:

- создание ЭТД (создание реквизитной и содержательной частей ЭТД);
- выпуск ЭТД;
- распространение и использование ЭТД, а также подготовка предложений по внесению изменений;
- внесение изменений в ЭТД по ИИ;
- аннулирование ЭТД;
- уничтожение ЭТД (удаление всех данных реквизитной и содержательной частей ЭТД).

Для успешной организации электронного документооборота необходимо должным образом подойти к вопросу осуществления контроля и регулирования состояния и процессов жизненного цикла каждого электронного документа.

#### **Анализ моделей конструкторско-технологического документооборота**

Особенность создания электронного документооборота предприятия производственного типа заключается в необходимости хранения огромного количества чертежей (хранящихся как в векторных, так и в растровых форматах, в том числе и со сквозной параметрической связью) и связанных с ними документов (спецификаций, технической документации и т. п.). Интеграция документов в специализированных форматах САПР с системой электронного документооборота является сложной и неоднозначной задачей. Производственные предприятия выдвигают жесткие требования к срокам хранения старых версий документов при появлении их новых версий. Это приводит к значительному увеличению объема хранимой документации.

И наконец, на промышленных предприятиях также используют офисное программное обеспечение, интеграция которого в систему электронного архива крайне желательна. Большинство предлагаемых на рынке систем управления документооборотом ориентировано исключительно на работу с офисными приложениями и документами или с технической документацией (чертежами). Естественно, что при этом управлять всей документацией, связанной с каким-либо проектом, невозможно. Происходит нару-

шение целостности обработки информации и, как следствие, увеличение стоимости и сроков выполнения работ. По этой причине пристального внимания заслуживают модели, которые обеспечивают интеграцию офисного и технического документооборота в единое целое.

Для предприятий характерен факт "производства" огромного числа документов. Данная проблема является одной из самых актуальных. Если анализировать причины возникновения такой ситуации, то можно прийти к следующим положениям:

- инструменты для создания документов стали лучше (более легкие способы создания и редактирования документов означают, что будет производиться больше документов);
- необходимость архивного хранения возросла (намного чаще стало требоваться редактировать, распространять и хранить архивные документы (и все их модификации) в течение многих лет для большого числа людей (данные об изделиях, гарантийные обязательства, финансовые документы и т. п.));
- требования к эффективности возросли (меньшее число сотрудников должно оперировать тем же количеством информации, т. е. возрастает нагрузка на каждого сотрудника);
- сокращение производственного цикла (требуется качественное выполнение работы в более сжатые сроки и дешевле, чем раньше, внедряются технологии "параллельной обработки");
- увеличение пропускной способности средств коммуникации (создается большее количество документов в более короткие сроки, и распространяются они значительно шире).

Многие руководители недооценивают негативное влияние плохого управления документами на производительность. Они считают, что время поиска документа — это нюанс, который не влияет на продуктивность. Однако плохое управление данными может вызвать до половины всех проблем, связанных с "неожиданной" задержкой сроков выполнения проекта. "Ручные" процедуры, разработанные для бумажных документов, неприемлемы для электронных документов независимо от размеров организации. Фактически небольшие организации платят больше за неэффективный документооборот, чем их большие конкуренты. Малые фирмы не могут позволить себе лишние затраты, возникающие из-за несоответствия документов и их обработки. Они могут привлечь меньше сотрудников для преодоления критических ситуаций и меньше финансовых резервов для устранения их последствий. Они быстрее теряют свою конкурентоспособность, когда низкая надежность и слабая защита системы приводит к ошибкам.

Спецификой промышленных предприятий, производящих технические изделия, является применение средств САПР. Система автоматизации документооборота должна быть открытой

для дополнения поддержки новых и перспективных САПР и их форматов данных.

Современные СЭД содержат следующие обязательные типовые компоненты [5]:

- хранилище карточек (атрибутов) документов;
- хранилище документов;
- функциональные компоненты;
- средства для перевода информации с бумажных носителей в электронную форму.

Хранилище атрибутов документов служит для хранения карточки, которая представляет собой набор полей, содержащих информацию о документе [7]. Для любой системы документооборота вводится понятие "тип документа" (например, договор, чертеж, спецификация, файл загрузки программы для станка с ЧПУ и т. д.). Каждый тип документа имеет свою собственную карточку [7]. Имеются обязательные поля, являющиеся общими для всех документов, и специальные поля, которые соответствуют документам определенного типа.

Для формирования хранилища карточек возможно использование:

- собственного хранилища;
- облачного хранилища;
- средств среды, на основе которой построена СУБД.

Хранилище атрибутов (под атрибутом понимают характерное свойство, признак, отличительную особенность документа) можно настроить под хранение карточек, оно может осуществлять функции разработки сложных карточек, которые могут иметь большую вложенность типов, а также использовать результирующие алгоритмы поиска информации в карточках.

Невозможность использования стандартных ресурсов имеющейся информационной среды и зависимость от поставщика СЭД являются важной проблемой. Проблематично задать нужную гибкость при создании карточек документов, особенно когда есть необходимость сложной структуры. Перед разработчиками встает сложный выбор: можно разработать простую, при этом эффективную структуру хранения данных, но потерять гибкость при создании карточек либо иметь громоздкую структуру, характеризующуюся достаточной гибкостью за счет эффективности, прозрачности работы системы. При использовании внешнего хранилища возникает трудность миграции с одной версии СЭД на другую. Зачастую эта ситуация склоняет пользователей к консерватизму, когда дело касается перехода на новые версии.

Пользуясь ресурсами информационной среды, на которой создана СЭД, возможно использовать механизмы среды и средства резервного копирования, репликации, поиска и т. д. Проблемы данного подхода состоят в необходимости наличия определенной среды для работы системы управления документами, а также в ограничениях, наложенных конкретной средой на структуру ее баз данных.

Среди современных СЭД, получивших широкое распространение, можно отметить TechnologiCS ([www.technologies.ru](http://www.technologies.ru)), Directum ([www.directum.ru](http://www.directum.ru)), LotsiaPDM PLUS ([www.lotsia.com](http://www.lotsia.com)), T-FLEX TDM ([www.tflex.ru](http://www.tflex.ru)), OPTIMA-WorkFlow ([www.optima-workflow.ru](http://www.optima-workflow.ru)), ЛоцманOPD ([pdmonline.ru](http://pdmonline.ru)), Docvision ([docsvision.com](http://docsvision.com)), LanDocs ([landocs.ru](http://landocs.ru)) и другие. Сравнительный анализ TechnologiCS и Lotsia PDM PLUS приведен в табл. 1, 2.

Таблица 1

Сравнение преимуществ TechnologiCS и Lotsia PDM PLUS

TechnologiCS	Lotsia PDM PLUS
Охватывает всю последовательность задач, начиная от разработки конструкторской спецификации до выдачи заданий в производство и отслеживания фактического хода работ	Соответствует требованиям отечественных стандартов, в то же время ориентирована на поддержку международных стандартов
Является инвариантной по отношению к пользователям. Возможности системы задействуются пользователем по мере необходимости, в зависимости от текущих задач	Гибкость и масштабируемость: поддержка различных СУБД и возможность работы в гетерогенной среде позволяют выбрать наилучшее решение с учетом уже имеющейся на предприятии рабочей среды
Возможна глубокая настройка под специфические требования конкретного предприятия или для интеграции с другими программными продуктами и системами	Высокая защищенность данных от несанкционированного доступа, физическая и логическая сохранность данных и одновременная работа большого числа пользователей
Открытая система. Для настройки не требуется глубоких познаний в области СУБД и программирования	Поддержка наиболее распространенных операционных систем (MS Windows NT, MS Windows 2000/2003/XP/Vista, Novell NetWare); легкая переносимость

Таблица 2

Сравнение недостатков TechnologiCS и Lotsia PDM PLUS

TechnologiCS	Lotsia PDM PLUS
Сложный базовый интерфейс конечного пользователя. Требуется адаптация под конкретные требования в процессе внедрения	Интеллектуальный интерфейс, который, однако, может быть значительно упрощен с помощью различных настроек
Отсутствует WEB-интерфейс программы	Существенное падение скорости поиска по мере разрастания базы документов
Для формирования отчетов необходимо наличие MS Excel или OpenOffice	Не располагает собственной системой автоматизированного проектирования, что вынуждает использовать решения сторонних разработчиков

Таким образом, несмотря на обилие преимуществ у различных систем электронного документооборота, можно сделать вывод, что универсальная система еще не разработана. Любая из существующих СЭД нуждается либо в доработке под собственные нужды, либо в большом количестве специалистов, которые будут осуществлять ее внедрение на конкретном производстве.

#### Методика оценки состояния модели документооборота

При оценке состояния документооборота выделяют характеристики от:

- базы данных фактографической информации (ось F) (характеристики, свойства объектов, которые собираются, систематизируются и обрабатываются);
- полнотекстовых источников информации (ось D) (содержащих текстовые описания);
- регламентов хождения документов (ось R) (утвержденных процедур обработки документации).

Исследование практики многих предприятий подтвердило, что создание системы делопроизводства должно основываться на пространственной модели, объединяющей все три направления [5, 14, 15].

Рассмотрим методику построения модели документооборота для предприятия, основанную на движении по трем направлениям [12].

Направления автоматизации документооборота (поддержка фактографической информации, возможность работы с полнотекстовыми документами, поддержка регламента хождения документов) определяют трехмерное пространство свойств, где по некоторой траектории движется рассматриваемое решение, проходя различные стадии в своем развитии (рис. 4).

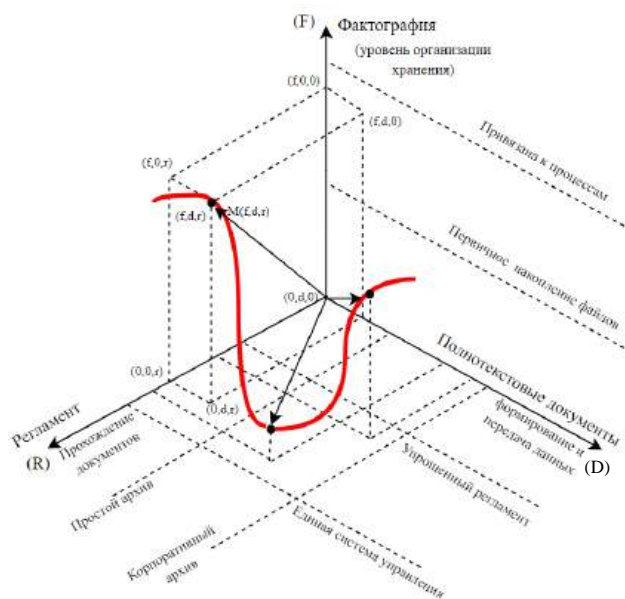


Рис. 4. Моделирование системы электронного документооборота

Анализ деятельности многих предприятий показал, что движение по каждому из этих направлений в отдельности повлечет на саму суть работы предприятия, а также помочь заказчику действительно упорядочить работу, не может.

Положение точки в системе (F, D, R) указывает состояние системы документооборота. Уровень развития и состояния введения системы документооборота на предприятии можно отследить по положению этой точки.

Представленная модель документооборота позволяет точно понять, куда следует двигаться, чего не хватает в данный момент и как пользоваться уже существующими системами авторизации. Достаточно только знать нынешнее состояние организации делопроизводства на каждом необходимом предприятии.

График кривой в пространстве координат (F, D, R) показывает процесс автоматизации делопроизводства на предприятии. При этом крутизна кривой пропорционально влияет на быстроту процесса модернизации, а значения трех координат в прямой зависимости показывают уровень автоматизации, по которому можно определить количество проблем с организацией своей собственной деятельности.

Большое влияние на реализацию успешного внедрения системы автоматизации документооборота в структуру предприятия оказывает квалификация персонала и его знания инструментов, предлагаемых платформой. Перед процессом внедрения системы нужно удостовериться, что в компании или на внешнем рынке есть достаточное количество квалифицированных специалистов в этой области.

#### Заключение

Электронный технический документооборот является основой цифровой трансформации промышленности, которая призвана сформировать условия для уменьшения сроков разработки, увеличения качества и снижения затрат на производство изделия. Исходя из этого можно сделать вывод, что развитие современного цифрового предприятия непосредственно связано с внедрением цифрового документального пространства во все стадии ЖЦ изделия.

В работе сформулированы основные положения внедрения системы электронного документооборота. Использование методов цифровой трансформации для обеспечения эффективного управления и прозрачности деятельности организации на всех уровнях позволит значительно ускорить и улучшить работу с документами, а также оптимизировать ее по временному и экономическому критериям.

#### Литература

1. Гунин Л. Н., Конева Э. В. Создание электронного архива конструкторской и технологической документации на основе имеющегося архива на бумаге как составляющая CALS-технологий // Вестник Верхне-Волжского отделения Академии технологических наук РФ. 2004. № 1(10). С. 65—68.

2. Суханов А. А., Рязанцев О. Н., Артизов С. А., Бриндилов А. Н., Незапенков Н. И., Карташев А. В., Елизаров П. М., Судов Е. В. Концепция развития ИПИ технологий для продукции военного назначения, поставляемой на экспорт. — НИЦ САС "Прикладная логистика", 2013.
3. Иванова Н. С. Сравнительные характеристики систем электронного документооборота для промышленных предприятий города Омска // Математические структуры и моделирование. 2008. № 8. С. 116—125.
4. Баранов А. Н. Анализ уязвимостей современных систем электронного документооборота. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018.
5. Кашенков А. В., Гунин Л. Н., Хранилов В. П. Внедрение электронного технического документооборота с использованием PDM-системы на предприятии радиоприборостроения // Автоматизация в промышленности. 2011. № 10. С. 23—26.
6. Власов А. И., Карпунин А. А., Ганев Ю. М. Системный подход к проектированию при каскадной и итеративной модели жизненного цикла: тр. Междунар. симпозиума "Надежность и качество". 2015. Т. 1. С. 96—100.
7. Власов А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Картирование потока создания ценностей в концепции "Бережливое производство" // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 2. С. 23—27.
8. Власов А. И., Ганев Ю. М., Карпунин А. А. Система 5S-технология создания эффективного рабочего места в концепции "Бережливое производство" // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 1. С. 65—68.
9. Власов А. И., Карпунин А. А., Новиков И. П. Системный анализ технологии обмена и хранения данных BLOCKCHAIN // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3(55). С. 75—83.
10. Журавлева Л. В., Толкачев А. В., Мухтарова А. А. Анализ перспектив развития цифрового общемирового пространства // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. № 4. С. 67—73.
11. 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.
12. Власов А. И. Концепция визуального анализа сложных систем в условиях синхронных технологий проектирования // Датчики и системы. 2016. № 8-9(206). С. 19—25.
13. Журавлева Л. В., Лебедев А. С. Формализация информации по прототипам технологической оснастки для сборки электронной аппаратуры // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 2. С. 67—72.
14. Власов А. И., Михненко А. Е. Информационно-управляющие системы для производителей электроники // Производство электроники. 2006. № 3. С. 15—21.
15. Власов А. И., Михненко А. Е. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // Производство электроники. 2006. № 4. С. 5—12.
16. Гусев М. Р., Чехляев А. Ю., Шумкин Н. С. Моделирование производственных процессов с помощью метода ARCHIMATE // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. № 4. С. 20—28.
17. Кузнецов Н. О., Иванова Г. С. Выбор архитектуры платформы рекомендательных систем с ограничением доступа // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. № 4. С. 81—84.
18. Глушко А. А., Бусов В. Д., Передерин К. К. Методы алгоритмического проектирования искусственного интеллекта // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. № 2. С. 72—88.
19. Баранова Е. А., Ничушкина Т. Н. Проблемы формирования отчетов в системе интрансменеджер // Технологии инженерных и информационных систем. 2018. № 3. С. 3—8.
20. Ничушкина Т. Н., Гузий Е. А., Федоренков В. В. Сравнительный анализ способов конвертирования структур данных между базами данных платформы "1с: предприятие" // Технологии инженерных и информационных систем. 2018. № 3. С. 115—122.
21. Grigoriev P. V., Krivoshein A. I., Shakhnov V. A., Filin S. S., Migalin V. S., Vlasov A. I. Smart management of technologies: predictive maintenance of industrial equipment using wireless sensor networks // Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2018. V. 6. № 2. P. 489—502.
22. Yudin A. V., Shakhnov V. A., Usov K. A., Salmina M. A., Vlasov A. I. Design methods of teaching the development of internet of things components with considering predictive maintenance on the basis of mechatronic devices // International J. Applied Engineering Research. 2017. V. 12. № 20. P. 9390—9396.
23. Cook D., Das S. Smart Environments. Technologies, protocols and applications. — Hoboken NJ: Wiley-Interscience, 2005.

## PROSPECTIVE TECHNOLOGIES IN ELECTRONIC DESIGN AND TECHNOLOGICAL DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEMS

V. N. Balinets, Yu. V. Bashmakova, Zh. Isabayeva, L. V. Zhuravleva  
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

*The issues of electronic design and technological document circulation at enterprises of electronic industry are considered. Recommendations on analysis of production processes are given, which take into account the main requirements for processing of electronic technical documentation. The peculiarities of the electronic document management system implementation were analyzed, which allows to increase efficiency of the enterprise document management processes and simplify the system of monitoring the state of its activity. Summarizes the main implementation difficulties and principles that should guide the transition to electronic document management.*

**Keywords:** lifecycle, electronic technical document management, 3D printing, electronic document, automation.

**Балинец Виктория Николаевна**, студентка кафедры "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры".

E-mail: vbalinets@gmail.com

**Башмакова Юлия Викторовна**, студентка кафедры "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры".

E-mail: fogel09@mail.ru

**Исабаева Жамила**, студентка кафедры "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры".

E-mail: zhamilyaiss@gmail.com

**Журавлева Людмила Васильевна**, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры".

E-mail: fogel09@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24 сентября 2020 г.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

Е. И. Митрушкин, д-р техн. наук

АО «Научно-исследовательский институт автоматической аппаратуры  
им. академика В. С. Семенихина», Москва, Россия

*Показаны порядок и результаты проектирования объекта автоматизации — составной части распределенной автоматизированной системы.*

**Ключевые слова:** распределённая автоматизированная система, объект автоматизации, уровни и порядок проектирования, интеграция комплексов объекта, общеобъектовая документация.

### О термине "Объект автоматизации"

Одним из современных направлений автоматизации является создание распределенных автоматизированных систем (РАС). Каждая РАС — это совокупность рассредоточенных частей, объединенных телекоммуникационной сетью (сетями) и линиями дальней связи, предназначенная для реализации информационных технологий достижения общих целей [1]. Эти отдельные части РАС могут быть рассредоточены территориально (по земле), акваториально (по водной поверхности), под водой и землей, в космосе, а в общем случае — пространственно. Каждая выделенная часть РАС — это пространственно и функционально обособленная часть РАС с собственным персоналом, комплексами средств автоматизации, связи и жизнеобеспечения деятельности, а также инфраструктурой (хотя отдельные части РАС могут быть и неавтоматизированными).

К сожалению, термины "Объект" и "Объект автоматизации" имеют в инженерной практике неоднозначное и не всегда удачное толкование. Так, термин "Объект автоматизации" зачастую используют в таких трактовках:

- Пространственно обособленная материальная часть распределенной системы, на которой внедрены или предполагается использовать средства автоматизации [2]. Это участок деятельности системы, организация или учреждение, в котором производится автоматизация происходящих в нем процессов и для которого установлены четкие границы и правила деятельности (место, время, исполнители, ресурсы и т. д.). Это может быть территория, здание, помещение, подразделение, цех, магазин, установка, выполняющая технологический процесс, и многое другое. Примерами могут быть управляющие, управляемые, информационные и другие объекты системы.

- Процессы деятельности структурных подразделений заказчика, подлежащие автоматизации (исследование, проектирование, управление, бизнес-процессы и т. д.). На взгляд автора, в этих случаях корректней использовать термины "автоматизируемый процесс" в рамках объекта автоматизации, "процесс автоматизации" или "предмет автоматизации".

Многолетний опыт автора в проектировании РАС подтверждает корректность и универсальность первой трактовки термина "Объект автоматизации" (и аналогичного термина "Объект информатизации" [3]). Поэтому примем именно эту трактовку.

### Состояние проблемы

Несмотря на широкое внедрение объектов автоматизации, фактически не регламентированы требования к составу и содержанию общеобъектовой документации, необходимой для последующего проектирования составных объектов. Существующие стандарты "Единой системы конструкторской документации" (ЕСКД), как правило, ориентированы на создание сосредоточенного изделия и не распространяются на РАС в целом и её объекты автоматизации.

Поэтому сложилась практика, когда состав общеобъектовой документации определяет главный конструктор РАС по согласованию с заказчиком. Состав этой документации каждый главный конструктор, естественно, стремится минимизировать, а это негативно сказывается на качестве проектирования РАС и её составных частей, а также на эксплуатации и развитии системы.

Как показывает опыт, без общеобъектовой документации создание, эксплуатация и развитие объектов автоматизации крайне затруднительны, это приводит порой к необходимости полной замены отдельных комплексов и даже объекта в целом, что занимает много времени и крайне нерентабельно.

Все это обуславливает необходимость и актуальность инженерной задачи формирования порядка и результатов проектирования объектов автоматизации РАС, регламентирования перечня и содержания общеобъектовой документации.

### Уровни проектирования РАС в целом

Проектирование объекта автоматизации РАС — это творческая деятельность, направленная на решение следующих задач [4]:

- воплощение замысла или требований технического задания в виде совокупности виртуальных и материальных представлений;



- разработка оптимального плана их реализации в виде новых и заимствованных системотехнических решений, методов, средств и документов;

- оформление комплектов общеобъектовой документации для последующего производства, эксплуатации и утилизации объекта автоматизации (ОА).

Место проектирования в процессе создания объекта автоматизации приведено на рис. 1.

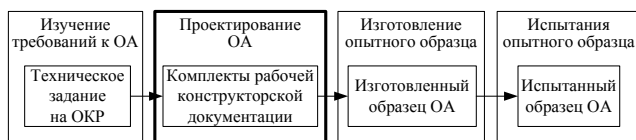


Рис. 1. Место проектирования в процессе создания объекта автоматизации

Проектирование базируется на системотехнических и организационных принципах, нарушение которых приводит к значительным потерям времени и ресурсов. Виды принципов проектирования приведены в [1].

Научной и практической основой проектирования является системный подход, который заключается в нахождении способа разделения единого целого на части без потери свойств целого. Системный подход определяет многоуровневость проектирования "сверху—вниз" — от проектирования РАС в целом до проектирования её объектов автоматизации, комплексов, устройств, узлов, элементов и материалов. Восьмиуровневая последовательность проектирования с отражением обратных связей для корректировок первоначальных замыслов и решений представлена на рис. 2.

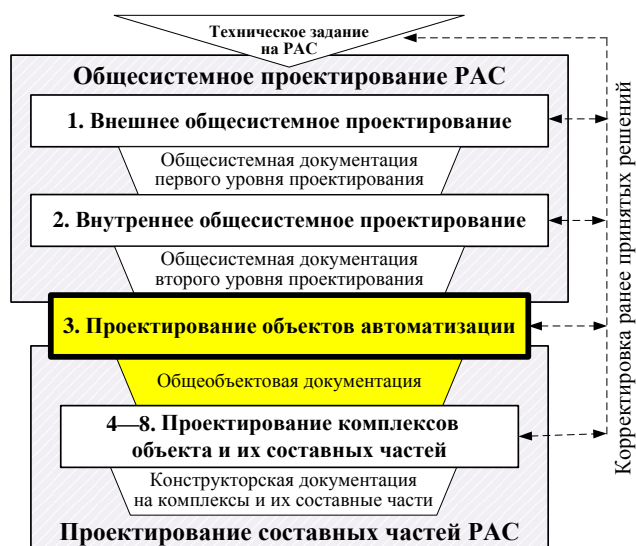


Рис. 2. Многоуровневая последовательность проектирования РАС

Внешнее общесистемное макропроектирование направлено на реализацию замысла заказ-

чика или общих требований к системе и отвечает на вопрос: "Что получит пользователь от внедрения системы?". В результате формулируются требования к системе, ожидаемый эффект для пользователя или внешней среды от внедрения РАС, обосновывается, как и почему именно так должна действовать система. Чем сложнее система, тем важнее роль этого уровня. Результатом этого уровня является разработанная общесистемная документация как основа дальнейшего проектирования. Виды и результаты проводимых работ приведены в [4].

Внутреннее общесистемное проектирование служит для формирования облика РАС в целом — совокупности организационных и системотехнических решений (информационных и телекоммуникационных технологий), отвечает на вопрос: "Как должна быть построена и функционировать РАС?". Виды и результаты проводимых работ приведены в [4].

Третий уровень проектирования направлен на формирование облика каждого объекта автоматизации в целом (на основе функций объекта, определённых на предыдущем уровне) и распределение функций между его компонентами, отвечает на вопрос: "Как должен быть построен и функционировать каждый объект автоматизации РАС?".

Нижележащие уровни проектирования обеспечивают создание всех комплексов и их частей для каждого автоматизируемого объекта как физических единиц оборудования, отвечают на вопрос: "Как должна быть построена и функционировать каждая часть объекта автоматизации?".

### Виды комплексов объектов автоматизации

Ключевым понятием третьего уровня проектирования является комплекс — функционально и конструктивно законченная совокупность средств для выполнения взаимосвязанных функций, но не соединённых изготовителем сборочными операциями.

Для автоматизации объектов используют следующие основные комплексы:

- Комплекс средств автоматизации (КСА), реализующий функции оперативного управления, информатизации и телекоммуникации РАС. Разновидностью КСА является комплекс узла телекоммуникационной сети, реализующий автоматическую коммутацию пакетов, сообщений или каналов.

- Комплекс средств связи (КСС) для подключения КСА к проводным, радио, космическим и другим каналам связи.

- Комплекс средств жизнеобеспечения (КСЖ) для защиты объекта автоматизации и поддержания его работы в целом, КСА, КСС, оперативного и эксплуатационного персонала.

Вариант применения этих комплексов приведен на рис. 3.

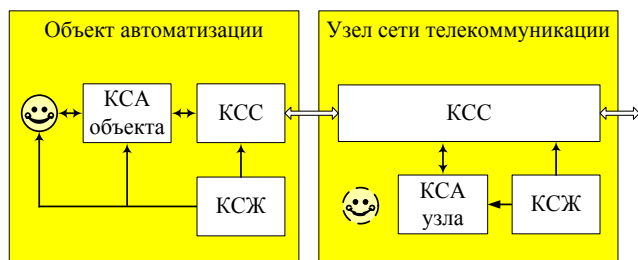


Рис. 3. Вариант применения комплексов

### Порядок проектирования объекта автоматизации

В настоящее время практически отсутствует научно обоснованная методология проектирования третьего уровня проектирования — построения оптимального (наилучшего, предпочтительного) варианта автоматизированного объекта. Поэтому используют один из возможных порядков действия, схема которого приведена на рис. 4.



Рис. 4. Схема проектирования объекта автоматизации

Схема третьего уровня проектирования содержит следующие основные работы [5].

1. Обследование существующего объекта автоматизации (в том числе неавтоматизированного). Производится с привлечением представителей пользователя — специалистов в сущности

и специфике объекта. На основании обследования уточняются общая цель (цели) и задачи объекта, его место и роль в системе, границы и связи с внешней средой, организационная структура объекта, функциональная структура (перечень, содержание, взаимосвязи и периодичность выполнения функций), материальные и информационные внутренние и внешние потоки, "узкие места" объекта, рекомендации по повышению эффективности его деятельности и т. д. Результаты обследования могут быть представлены в виде архитектуры существующего объекта — описания и характера взаимодействия важнейших частей, набора решений по организации объекта.

2. Разработка общеобъектовых решений по построению, функционированию, применению и развитию каждого объекта автоматизации. Учитываются функции объекта, определенные на предыдущем уровне, и ранее внедренные сохраняемые части объекта. Формируются основные части объекта автоматизации, распределяются функции между частями объекта, определяется возможность использования существующих (ранее внедренных) частей объекта, разрабатываются способы соединения различных частей.

3. Формирование возможных (альтернативных) вариантов или концепций построения объекта автоматизации. Учитываются функции каждой части, сохраняемые (ранее внедренные) части объекта. Разрабатываются варианты построения (концепции) каждого объекта автоматизации и интеграции различных комплексов одного объекта.

Число вариантов зависит от степени понимания задачи (проблемы), таланта, опыта и добросовестности разработчиков. Это творческий этап, требующий больших интеллектуальных усилий.

Возможно, ни один из вариантов полностью не удовлетворит поставленные требования. Тогда формируют новые варианты, включающие лучшее из рассмотренного. Такие работы иногда называют оптимизацией.

Для формирования вариантов используют различные виды действий и научных подходов (таблица).

Виды действий и научных подходов

Приём	Отдельное действие решения задачи для достижения частичной цели
Способ	Упорядоченные действия при решении задачи для достижения цели
Метод	Научно и практически обоснованный, обобщённый, общепринятый способ решения задачи, достижения цели
Методика	Совокупность методов, способов, приёмов и действий решения задачи, достижения цели
Методология	Учение об организации теоретической или практической деятельности (совокупность методов, методик и критериев решения задач и проблем)

К наиболее распространённым методам относятся:

- мозговой штурм — коллективный поиск решений, их широкое обсуждение с последующей коллективной критикой. Коллективный эмоциональный настрой может обеспечить формирование принципиально новых и плодотворных идей;

- структурирование проблемы — последовательная её декомпозиция на всё более частные, менее сложные подпроблемы и перевод их в практически решаемые задачи;

- аналогия — использование ассоциаций в похожих и даже в далеких от решаемой проблемы областях;

- инверсия — изменение известного решения проблемы на противоположное и т. д.

4. Оценка эффективности каждого варианта производится по результатам исследований их характеристик, моделирования и макетирования важнейших решений.

5. Выбор оптимального (предпочтительного) варианта для реализации производится путём сопоставления эффективности всех вариантов.

При выборе учитывают факторы риска: неадекватность требований к системе, недостаток сведений об условиях эксплуатации, сложность организационных, технических и производственных проблем, превышение затрат и т. д.

К возможным ограничениям" относят лимит времени для проведения выбора, недостаточную компетентность или личную заинтересованность отдельных лиц, принимающих решения, и т. д.

Иногда, по мнению разработчиков, несколько вариантов заслуживает дальнейшего рассмотрения и подробного исследования. Тогда выбор откладывается до получения результатов ниже лежащих уровней проектирования.

6. Оформление общеобъектовой документации, являющейся основой дальнейшего проектирования составных частей объекта.

### **Варианты сосуществования и интеграции разнородных комплексов**

Оснащение объекта автоматизации производится, как правило, путём постепенного внедрения разнородных комплексов. Подобная практика неизбежна, т. к. обусловлена крайней сложностью решения всех задач автоматизации в едином замысле в рамках одной опытно-конструкторской работы (ОКР), спецификой предприятий-разработчиков, развалом существовавшей кооперации, скудостью финансирования работ и другими факторами.

При наличии на объекте уже существующих комплексов возможно несколько подходов к внедрению или объединению комплексов [6]. Рассмотрим эти подходы.

1. Автономное функционирование различных комплексов, обработка информации в кото-

рых производится независимо. Этот вариант наиболее прост, однако избыточен технически и системно, что приводит к ряду нежелательных последствий, в том числе:

- невозможности оперативного автоматического интегрирования информации руководству и оперативному расчёту объекта от всех его комплексов;

- невозможности использования уникальных или громоздких средств одного КСА пользователями других КСА (например, плоттеров);

- неоправданному дублированию одних и тех же средств автоматизации в различных комплексах (в том числе средств передачи данных);

- использованию большого числа линий связи для подключения каждого комплекса к телекоммуникационным сетям для информационного взаимодействия с другими объектами системы;

- использованию для одного объекта нескольких системных и сетевых адресов (независимых для каждого КСА) и т. д.

2. Создание интегрированного комплекса объекта путём сопряжения и совместного функционирования разнородных существующих и новых комплексов. Данный вариант обеспечивает оперативное и обобщённое представление информации от всех комплексов объекта, а также совместное использование средств автоматизации, телекоммуникации, связи и жизнеобеспечения. При этом возможны следующие виды интеграции для коллективного использования различных ресурсов объекта:

- информационная интеграция для обобщённого представления информации от разных комплексов, коллективного использования уникальных средств автоматизации на каждом объекте;

- телекоммуникационная интеграция для сокращения неоправданного общего количества средств обмена данными и каналов связи на каждом объекте путём коллективного их использования всеми комплексами объекта, а также для использования любым комплексом в своих интересах каналов передачи данных других комплексов объекта;

- связанная интеграция для сокращения общего количества средств и каналов связи путём коллективного их использования;

- жизнеобеспечивающая интеграция для сокращения общего количества средств жизнеобеспечения путём коллективного их использования.

Пример построения мобильного объекта управления, состоящего из двух КСА (управляющего и информационно-аналитического), с использованием информационной, телекоммуникационной, связанной и жизнеобеспечивающей интеграций приведен на рис. 5.



Рис. 5. Интеграция комплексов мобильного объекта управления

При интеграции комплексов предусматривают:

- межсистемные шлюзы для объединения различных подсистем РАС;
- межсетевые шлюзы для объединения телекоммуникационных сетей;
- вновь разрабатываемые протоколы технического (физического) подключения и информационного взаимодействия комплексов объекта (внутриобъектового взаимодействия) по всем функциональным трактам РАС (для преобразования сообщений, форматов и кодограмм);
- единую систему безопасности информации;
- частичную доработку ранее внедрённых на объекте комплексов для обеспечения их информационного взаимодействия с другими комплексами объекта, безопасности информации, регистрации информации, взаимного контроля функционирования и т. п.

Следует отметить, что несмотря на то, что этот "эволюционный" вариант наиболее перспективен по оперативным и экономическим соображениям, его реализации могут помешать "политические" отношения между организациями-разработчиками комплексов.

3. Создание единого полнофункционального комплекса, реализующего все функциональные задачи объекта и непосредственно взаимодействующего со всеми объектами автоматизации РАС. Этот вариант целесообразен при автоматизации объекта "на пустом месте" одним главным конструктором. Он эффективен также как "революционный" при замене существующих на объекте комплексов.

#### Результаты проектирования объекта автоматизации

Результатом третьего уровня проектирования является общеобъектовая документация. Она служит базой для последующего проектирования составных частей объектов автоматизации. Их созданием могут заниматься различные ор-

ганизации (предприятия, подрядчики) и коллективы, но с обязательным соблюдением общеобъектовых решений. В состав общеобъектовой документации, определяемый особенностями РАС, могут входить:

1. Перечень общеобъектовых документов.

2. Общеобъектовое техническое описание — совокупность решений по построению, внешнему и внутреннему взаимодействию, функционированию и этапности создания объекта автоматизации, являющееся отражением общесистемной документации:

- перечень основополагающей нормативно-технической документации (НТД) на объект;
- общая цель (цели) создания или совершенствования объекта;
- назначение и состав объекта;
- перечень задач объекта, подлежащих автоматизации;
- воздействующие факторы и прогнозы их количественных значений, в том числе виды взаимодействия с другими системами, естественные факторы и условия внешней среды (климатические, механические и другие), злонамеренные воздействия противника;
- концепция объекта в целом (или даже несколько концепций) — воплощение замысла в виде комплекса согласованных взглядов, основных положений и организационно-технических решений, определяющих архитектуру (облик) объекта;
- облик объекта и основные решения по построению, размещению, интеграции, взаимодействию и функционированию объекта в целом, его комплексов и других составных частей;
- виды организации процессов объекта (структурная, функциональная, информационная, протокольная, телекоммуникационная и другие):
  - организационная структура объекта (виды и статус составных частей объекта — коллективов людей, отдельных исполнителей, комплексов и т. д.);
  - функциональная организация (распределение функций и информационных связей, потоков и трафиков между составными частями организационной структуры);
  - информационная организация (состав, виды и формы существования, преобразования и представления документов и информации в системе);
  - протокольная общесистемная и внутриобъектовая организация (функциональные протоколы информационного взаимодействия, адресование, форматы, кодирование сообщений и т. д.);
  - телекоммуникационная организация (сети, линии связи, каналы передачи данных, методы обеспечения достоверности и коммутации);
  - комплексная система обеспечения безопасности объекта, в том числе защиты информации;

- облик каждого комплекса (функции, виды информации и характеристики на основе декомпозиции функций и характеристик объекта на каждый комплекс);

- общий алгоритм функционирования объекта, алгоритмы реализации основных функций, режимы функционирования и основы применения объекта, контуры и общее поведение РАС после внедрения объекта;

- организация, этапность и основные сроки подготовки, оснащения, испытаний, эксплуатации и обслуживания объекта автоматизации, виды и квалификация персонала, центры ЗИПа и т. д.;

- кооперация научных, проектных, производственных и иных организаций;

- предварительная оценка ресурсов и денежных затрат для проведения дальнейших работ;

- критерии эффективности и ожидаемый вклад объекта в общую эффективность РАС;

- основные направления дальнейшего совершенствования и развития объекта.

3. Техничко-экономическое обоснование — оценка целесообразности и затрат на создание и эксплуатацию объекта автоматизации.

4. Формуляр на объект автоматизации.

5. Комплект проектов технических (тактико-технических) заданий на разработку каждого комплекса объекта (с декомпозицией общих требований к задачам и характеристикам объекта, общих финансовых и временных ресурсов и общей инфраструктуры по составным частям объекта).

6. Комплект протоколов подключения и взаимодействия комплексов между собой, а также комплект протоколов информационного взаимодействия с комплексами других объектов.

7. Проектная документация для подготовки объекта автоматизации к размещению комплексов и создания инфраструктуры. Отвечает на вопросы: "Как подготовить объект?" и "Как и какими инженерными подсистемами обеспечить комплексы?". Её разработка проводится по результатам последующего проектирования комплексов, а специалистов этих работ называют проектировщиками.

8. Итоговые документы работы, перечень которых определяет ГОСТ 24.203 [7].

## Выводы

1. Предложенные порядок и результаты проектирования объекта автоматизации — составной части распределённой автоматизированной системы — в наиболее полной степени, по мнению автора, отражают оптимальную организацию проектирования объекта.

2. Предложенный вариант интеграции различных комплексов объекта обеспечивает:

- оперативное и интегральное представление всей необходимой информации руководству и оперативному расчёту объекта;

- сокращение неоправданного общего количества средств автоматизации и линий связи на каждом объекте;

- предпосылки для сокращения оперативного и эксплуатационного персонала объекта.

3. Предложенный состав общеобъектовой документации обеспечивает оптимальную организацию создания, эксплуатации и дальнейшего развития объекта автоматизации, а также может быть положен в основу корректировки действующих ГОСТов.

## Литература

1. Митрушкин Е. И. Системотехника. Инженерные основы автоматизированных систем: учеб. пособие. — М.: Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), 2013. — 200 с.

2. ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

3. ГОСТ Р 51275-2006 Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения.

4. Митрушкин Е. И., Гольдин В. В. Проектирование распределённой автоматизированной системы // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 4. С. 27—33.

5. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Стадии создания.

6. Митрушкин Е. И. Интеграция разнородных комплексов автоматизируемого объекта: тр. VIII Российской науч.-техн. конф. "Новые информационные технологии в системах связи и управления". 4—5 июня 2009 г. Калуга. — Калуга: Изд-во научной литературы Н. Ф. Бочкаревой, 2009. С. 92—96.

7. ГОСТ 24.203-80 Требования к содержанию общесистемных документов.

## DESIGN OF OBJECT OF AUTOMATION

E. I. Mitrushkin

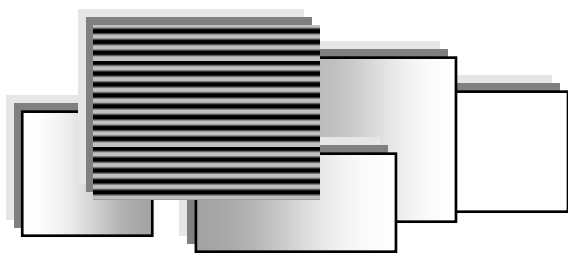
Stock Company "Research Institute for Automated Apparatus named after academician V. S. Semenikhin",  
Moscow, Russia.

*The procedure and results of designing an automation object, an integral part of a distributed automated system, are proposed.*

**Keywords:** distributed automated system, automation object, design levels and order, integration of object complexes, general object documentation.

Митрушкин Евгений Иванович, ученый секретарь, профессор.  
E-mail: 89629785042@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25 августа 2020 г.



## ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 004.38+004.9

### СОХРАНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ В СЛУЧАЕ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ БУЛЕВЫХ УРАВНЕНИЙ И ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТОВ\*

П. А. Правильщиков, канд. техн. наук

ФГБУН "Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН", Москва, Россия

*Рассмотрен процесс решения прямой и обратной задачи для булевых уравнений, а также для решения прямой и обратной задачи построения тестов для комбинационных устройств (КУ). Исследован процесс решения этих задач в виде специфической формы движения в дискретном лабиринте  $\Lambda$ . Доказано, что движение в лабиринте  $\Lambda$  характеризуется законом сохранения количества информации (ЗСКИ), который тесно связан с законом сохранения перебора (ЗСП).*

**Ключевые слова:** количество информации, закон сохранения перебора, закон сохранения количества информации, классические и квантовые компьютеры, классические и квантовые  $D$ -алгоритмы.

Исследуем проблему сохранения количества информации для задач  $\check{D}$  и  $\check{I}$ .

На решение булевых уравнений и построение тестов расходуется много времени,  $\Delta t_{\check{D}}$  и  $\Delta t_{\check{I}}$ , а также энергии,  $\hat{E}_{\check{I}}$  и  $\hat{E}_{\check{D}}$ , для того чтобы получить решение ( $\Delta t_{\check{D}}$  — время решения задачи  $\check{D}$ ,  $\Delta t_{\check{I}}$  — время решения  $\check{I}$ ,  $\hat{E}_{\check{I}}$  и  $\hat{E}_{\check{D}}$  — энергия). Отсюда постановка задачи достаточно проста: на что расходуется время  $\Delta t_{\check{D}}$  и  $\Delta t_{\check{I}}$  и энергия  $\hat{E}_{\check{I}}$  и  $\hat{E}_{\check{D}}$ ? Ответ прост: на получение результата решения с помощью классических  $D$ -алгоритмов или с помощью квантовых  $D$ -алгоритмов ( $QD$ -алгоритмов) задач  $\check{D}$  и  $\check{I}$ . В случае решения  $\check{D}$  и  $\check{I}$  результатом решения будет информация (сведения)  $I_{\check{D}}$  в случае задачи  $\check{D}$ , либо информация  $I_{\check{I}}$  в случае задачи  $\check{I}$ . Информация  $I_{\check{D}}$  и  $I_{\check{I}}$  будет получена в форме  $N$ -мерных гиперкубов  $C_{Q\check{D}}$  и  $C_{Q\check{I}}$ . На основе кубов  $C_{Q\check{D}}$  и  $C_{Q\check{I}}$  можно определить количество информации  $\check{I}_{\check{D}}$  и  $\check{I}_{\check{I}}$ . Возникает вопрос:  $\check{I}_{\check{D}} = ? \check{I}_{\check{I}}$ . Далее будет доказано, что  $\check{I}_{\check{D}} = \check{I}_{\check{I}}$ .

Здесь для задач  $\check{D}$  и  $\check{I}$  сформулирован и доказан закон сохранения количества информации (ЗСКИ). Этот закон тесно связан в ЗСП и, по сути, является его следствием [1]. Чтобы проиллюстрировать ЗСКИ рассмотрим схему Шнейдера или комбинационное устройство Шнейдера (КУ Шнейдера, КУШ) [2].

#### Исправное и неисправное КУШ

Исправное КУШ представлено на рис. 1. Число  $n$  входов КУШ (т. е. число аргументов в булевом уравнении) равно 4. КУШ одновременно реализует 3 булевых функции:  $f_1 = z_1(x_1, x_2, x_3)$ ,  $f_2 = z_2(x_1, x_2, x_3, x_4)$  и  $f_3 = z_3(x_2, x_3, x_4)$ , т. е.  $m = 3$  (см. рис. 1):

$$\begin{cases} z_1 = x'_2(x_1 + x_3) \\ z_2 = x'_1(x_2 + x_3) + x'_2(x_1 \vee x_3) + \\ + x'_3(x_2 + x_4) \vee x'_4(x_2 + x_3). \\ z_3 = x'_3(x_2 + x_4) \end{cases} \quad (1)$$

Число  $R$  рангов в КУШ (рис. 1) равно 7 ( $R = 7$ ;  $\rho = \overline{1, R}$ ). С рангом  $\rho$  связано множество  $M_\rho$  (см. рис. 1):  $M_1 = \{\phi_{1,1}, \phi_{1,2}, \phi_{1,3}, \phi_{1,4}\}$ ;  $M_2 = \{\phi_{2,1}, \phi_{2,2}\}$ ;  $M_3 = \{\phi_{3,1}, \phi_{3,2}, \phi_{3,3}\}$ ;  $M_4 = \{\phi_{4,1}\}$ ;  $M_5 = \{\phi_{5,1}, \phi_{5,2}, \phi_{5,3}, \phi_{5,4}\}$ ;  $M_6 = \{\phi_{6,1}, \phi_{6,2}\}$ ;  $M_7 = \{\phi_{7,1}\}$ . Приведем таблицу моделирования КУШ (табл. 1).

\* Данная работа является дополнением и развитием работы [1]. В [1] ударение сделано на ЗСП в случае решения прямой и обратной задачи (задачи  $\check{D}$  и задачи  $\check{I}$ ) в случае решения булевых уравнений и построения тестов.



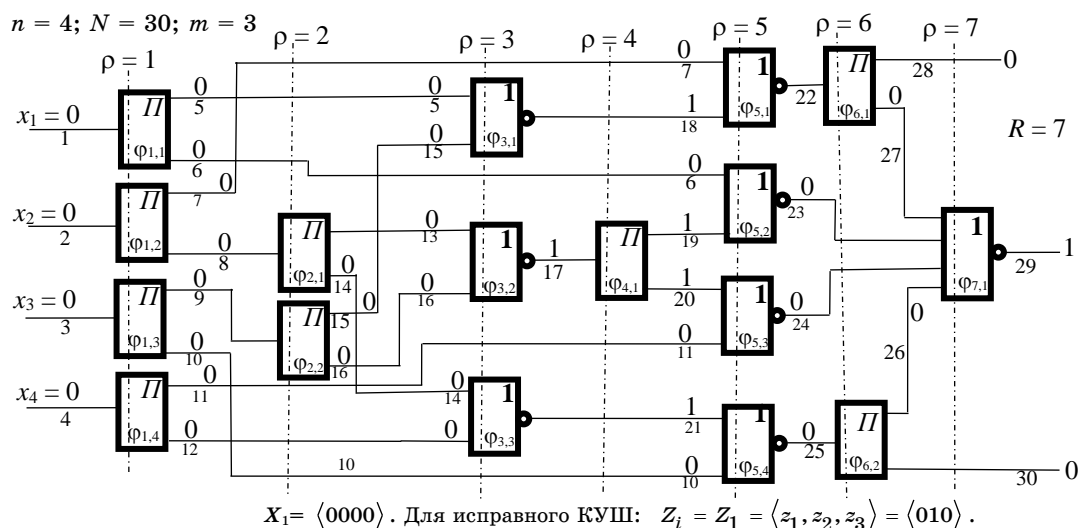


Рис. 1. Моделирование исправного КУШ (входной вектор  $X_1 = (0000)$ )

Таблица 1

Таблица моделирования исправной схемы Шнейдера

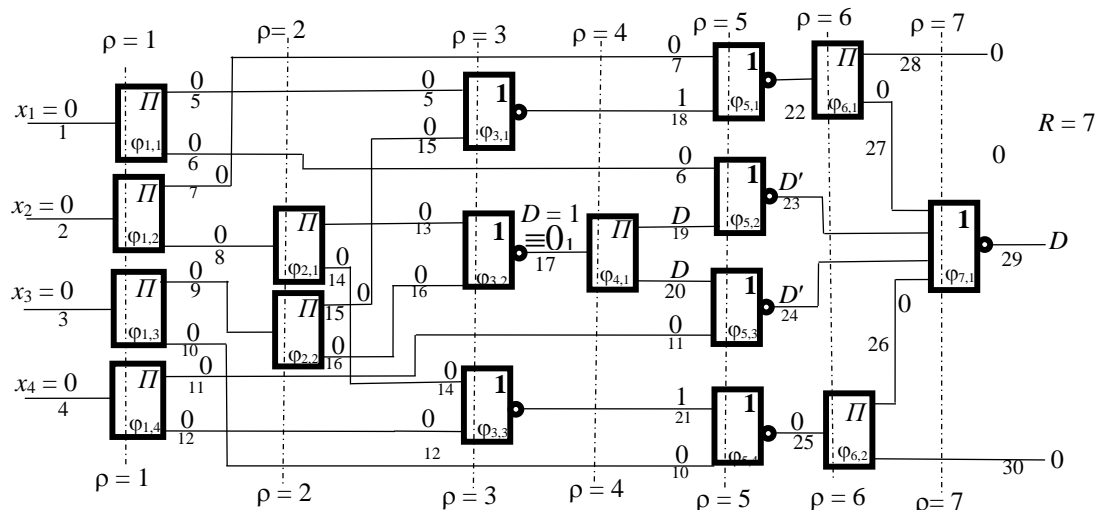
№	$X_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	$Z_i$
1	$\langle 0000 \rangle$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$\langle 010 \rangle$
2	$\langle 0001 \rangle$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$
3	$\langle 0010 \rangle$	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$
4	$\langle 0011 \rangle$	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$
5	$\langle 0100 \rangle$	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$
6	$\langle 0101 \rangle$	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$
7	$\langle 0110 \rangle$	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$
8	$\langle 0111 \rangle$	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$
9	$\langle 1000 \rangle$	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$
10	$\langle 1001 \rangle$	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	$\langle 101 \rangle$
11	$\langle 1010 \rangle$	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$
12	$\langle 1011 \rangle$	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$
13	$\langle 1100 \rangle$	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$
14	$\langle 1101 \rangle$	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$
15	$\langle 1110 \rangle$	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$
16	$\langle 1111 \rangle$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$\langle 010 \rangle$

Говоря о векторах  $X_i$  в табл. 1 заметим, что при решении задачи  $\bar{D}$  всякий заданный вектор  $X_i$  (как и выходной  $Z_i$ ) в процессе использования классических или QD-алгоритмов приобретает "информационный вес".\* Длина  $m$  выходного вектора  $Z_i \equiv_{017} \langle z_1, z_2, z_3 \rangle$  равна 3 (см. (1)).

На рис. 2 приведено КУШ с одиночной константной неисправностью (ОКН) в дуге 17:  $\equiv \omega_j \equiv 0_j$ .

\* Такая трансформация не является новостью для многих отраслей знания. Так, в экономике песок — рыхлая осадочная порода на берегу реки (естественный материал с точки зрения геологии) не имеет стоимости — стоимостного (финансового) веса. Но если его погрузить на самосвал и доставить на какую-либо стройку на подсыпку грунта, то тот же самый речной песок (естественный материал) превращается в товар, имеющий стоимость.

Приведена таблица моделирования неисправного КУШ (табл. 2). Символ  $D$  на рис. 2 в исчислении кубических комплексов используется для проявления неисправности  $\equiv \omega_j \equiv 0_j$ . Для проявления неисправности  $\equiv \omega_j \equiv 1_j$  используется символ  $D'$  (не  $D$ ). Если  $\equiv \omega_j \equiv 0_j$ , то символ  $D$  обозначает 1. Табл. 1 и 2 показывают, что КУШ можно рассматривать как некий гиперкуб с 16 гранями. На каждой грани такого гиперкуба записано двоичное число в виде строки из табл. 1 либо табл. 2. Как кубик игральной кости в каждом опыте, т. е. при каждом броске этот гиперкуб может падать одной гранью вверх. Тогда математическая вероятность выпадения каждого двоичного числа исходя из симметрии гиперкуба равна  $1/16$ .



$X_1 = \langle 0000 \rangle$ . Для исправного КУШ:  $Z_1 = \langle 010 \rangle$ .

Для КУШ с неисправностью  $\omega_{17} = \equiv 0_{17}$   $Z_1 = \langle 000 \rangle$ .

Рис. 2. Моделирование КУШ с ОКН  $\omega_{17} \equiv 0_{17}$  (входной вектор  $X_1 = \langle 0000 \rangle$ )

Таблица 2

Таблица моделирования неисправной схемы Шнейдера ( $\omega_j = 0_{17}$ )

$\mathbf{N}_2$	$\mathbf{X}_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	$\mathbf{Z}_{i=0_{17}}$	
1	$\langle 0000 \rangle$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$	
2	$\langle 0001 \rangle$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$	
3	$\langle 0010 \rangle$	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$	
4	$\langle 0011 \rangle$	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$	
5	$\langle 0100 \rangle$	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$	
6	$\langle 0101 \rangle$	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$	
7	$\langle 0110 \rangle$	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$	
8	$\langle 0111 \rangle$	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$	
9	$\langle 1000 \rangle$	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$	
10	$\langle 1001 \rangle$	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	$\langle 101 \rangle$	
11	$\langle 1010 \rangle$	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$	
12	$\langle 1011 \rangle$	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	$\langle 100 \rangle$
13	$\langle 1100 \rangle$	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$	
14	$\langle 1101 \rangle$	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	$\langle 001 \rangle$	
15	$\langle 1110 \rangle$	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$	
16	$\langle 1111 \rangle$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$\langle 010 \rangle$	

На рис. 2 у КУШ, как и у исправного КУШ на рис. 1,  $\text{dom } X = \{X_1, X_2, \dots, X_{16}\} = \{\langle 0000 \rangle, \langle 0001 \rangle, \dots, \langle 1111 \rangle\}$  и  $|\text{dom } X| = 2^n = 2^4 = 16$ . Число рангов  $R$  осталось неизменным ( $R = 7$ ). В табл. 2 приведено моделирование неисправного КУШ. На рис. 2 в дугах 19, 20 также устанавливается сигнал  $D$  из-за возникновения неисправности  $\equiv 0_{17}$ . По этой же причине в дугах 23 и 24 появляется символ  $D'$ , а затем в дуге 29 опять появляется символ  $D$ . Символы  $D$  и  $D'$  "высвечивают" существенный путь  $\pi_{0_{17}, 29}$  [2, 3]. Табл. 2 отличается от табл. 1 только в 3 строках: 1, 2 и 9, которые слева озаглавлены векторами  $X_1 = \langle 0000 \rangle$ ,  $X_2 = \langle 0001 \rangle$  и  $X_9 = \langle 1000 \rangle$ . Это объясняется тем, что только на этих 3 векторах выполняется условие проявления неисправности  $\equiv 0_{17}$  в дуге 17 КУШ, что обозначено символом  $D$  [3, с. 67].

На векторе  $X_1 = \langle 0000 \rangle$  выполняется также и условие транспортировки сигнала  $\hat{S}_0$  неисправности  $\equiv 0_{17}$  до выходной дуги 29 [3, с. 67, 230,

246]. Это значит, что в КУШ при подаче на его входы вектора  $X_1 = \langle 0000 \rangle$  появился существенный путь  $\pi_{0_{17}, 29}$  от дуги 17 с  $\equiv 0_{17}$  до дуги 29 — одного из выходов КУШ. Выполнение условий проявления и транспортировки для  $\equiv 0_{17}$  означает, что вектор  $X_1$  — единственный вектор, обнаруживающий  $\equiv 0_{17}$  в дуге 29.

Из табл. 1 и 2 видно, что вектор  $X_1$  обнаруживает  $\equiv 0_{17}$  (см. строку 1 в табл. 1 и строку 1 в табл. 2). Поэтому для того, чтобы выписать прообраз конечного куба  $C_q$  для КУШ с  $\equiv 0_{17}$ , выполним по координатной операции "сложение по модулю 2" двух первых строк в табл. 1 и 2 (см. табл. 3). Подчеркнем, что куб  $C_q$  является конечным результатом выполнения  $D$ -алгоритма и содержит символы  $D$  и  $D'$ , которых нет в прообразе этого куба, т. е. в табл. 3. В табл. 3 первая строка — 1-я строка из табл. 1, вторая строка — 1-я строка из табл. 2. В строке 3 записан результат операции "сложение по модулю 2" двух первых строк табл. 3.

Таблица 3

Сложение по модулю 2

№	$X_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	$\langle 0000 \rangle$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	$\langle 0000 \rangle$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	$\oplus$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0

Иными словами, в строке 3 табл. 3 записан прообраз конечного куба  $C_Q$ . Чтобы получить куб  $C_Q$ , заменим в табл. 3 единицы в строке 3 символами  $D$  и  $D'$  по правилам  $D$ -исчисления. В результате куб  $C_Q$  будет иметь вид

$$C_Q = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 28 & 29 & 30 \\ C_Q = & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D & 0 & D & D & 0 & 0 & D' & D' & 0 & 0 & 0 & 0 & D & 0 \end{matrix}$$

Далее куб  $C_Q$  нам не понадобится, так как для определения величины  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  или  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$ , которые получают в результате решения задачи  $\tilde{D}$  и задачи  $\tilde{I}$ , проще использовать прообразы  $C_Q$  в табл. 3 (строки 1 и 2). Для этого вычислим вероятности в некоторых координатах схемы.

#### Определение количества информации $\tilde{I}_{\tilde{D}}$ и $\tilde{I}_{\tilde{I}}$ в случае решения задачи $\tilde{D}$ и задачи $\tilde{I}$

Решив  $\tilde{D}$ , получим информацию  $I_{\tilde{D}}$  конечного куба  $C_{\tilde{D}} = C_Q$ . Решив  $\tilde{I}$ , получим информацию  $I_{\tilde{I}}$  в виде конечного куба  $C_{\tilde{I}} = C_Q$ .\* Заметим, что куб  $C_{\tilde{D}}$ , как и куб  $C_{\tilde{I}}$ , может быть не полностью определенным. Для полностью определенного вектора  $X_i$  в соответствии с постулатами детерминированности для исправного и неисправного КУ и ЗСП [1, 4—7]  $C_{\tilde{D}} = C_{\tilde{I}}$ . Теперь, построив и проанализировав табл. 1—3, можно увидеть три компоненты информации  $I_{\tilde{D}}$ , полученной в результате решения задачи  $\tilde{D}$ :  $I_{\text{нез}}$ ,  $I_{\text{зав}}$  и  $I_{\pi_{\omega_j}}$ . Следовательно:

$$I_{\tilde{D}} = I_{\text{нез}} + I_{\text{зав}} + I_{\pi_{\omega_j}}. \quad (2)$$

Из тех же табл. 1—3 можно также видеть три компоненты общей информации  $I_{\tilde{I}}$ , полученной в результате решения  $\tilde{I}$ :  $I_{\text{нез}}$ ,  $I_{\text{зав}}$  и  $I_{\pi_{\omega_j}}$ . Следовательно:

$$I_{\tilde{I}} = I_{\text{нез}} + I_{\text{зав}} + I_{\pi_{\omega_j}}. \quad (3)$$

В (2) и (3) информация  $I_{\text{нез}}$  — это сведения о том, в каких дугах схемы Шнейдера значения  $a_j$  (либо 0, либо 1) не изменяются в зависимости от события  $\tilde{\alpha}_j$ , связанного с возникновением в дуге  $j$  неисправности  $\omega_j$ . Иными словами, значения  $a_j$  в дугах КУ не зависят от события  $\tilde{\alpha}_j$ . Такие значения в исправной схеме будем обозначать символом  $a_j$ . Противоположное событие,

происходящее из-за появления  $\omega_j$ , будет обозначать символом  $\bar{a}_j$ . Информация  $I_{\text{нез}}$  включает в себя и информацию  $I_{X_i}$  о полностью (или неполностью) определенном векторе  $X_i$ , при подаче которого на входы схемы обнаруживается  $\omega_j$ . Для КУШ вектор  $X_i = X_i = \langle 0000 \rangle$  полностью определен. Информация  $I_{\text{зав}}$  содержит сведения о том, в каких дугах КУШ и как изменяются значения  $a_j$  (см. также табл. 2 и 3) в зависимости от события  $\tilde{\alpha}_j$ . В случае  $\tilde{\alpha}_j$  каждое значение  $a_j$  переходит в противоположное значение  $\bar{a}_j$ . Эти сведения и говорят о сигнале  $\hat{S}$  о наличии  $\omega_j$ , который передается от дуги  $j$  до выходной дуги 29 КУШ. Это и означает, что значение  $a_j$  (как и противоположное значение  $\bar{a}_j$ ) зависит от события  $\tilde{\alpha}_j$ .\*\* Информация  $I_{\pi_{\omega_j}}$  — это сведения о возникновении в схеме существенного пути  $\pi_{\omega_j}$  от дуги  $j$ , где появляется неисправность  $\omega_j$ , до одного из внешних выходов КУШ, что и приводит к обнаружению  $\omega_j$  вектором  $X_i$  (см. табл. 3).

Для того чтобы определить количество информации, которое содержится в информации каждого вида ( $I_{\text{нез}}$ ,  $I_{\text{зав}}$  и  $I_{\pi_{\omega_j}}$ ) следует определить вероятности  $p_j$  появления значений  $a_j$  либо  $\bar{a}_j$  в дугах КУШ (т. е. в координатах куба  $C_Q$ ). Но сначала, используя табл. 1—3, для  $\omega_{17}$  определим множества дуг, в которых содержится информация видов  $I_{\text{нез}}$ ,  $I_{\text{зав}}$  и  $I_{\pi_{\omega_j}}$ . Информация  $I_{\text{нез}}$  содержится в дугах множества  $M_{\text{нез}} = \{1, 2, \dots, 16, 18, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 30\}$  и  $m_{\text{нез}} = |M_{\text{нез}}| = 24$ . Информация  $I_{\text{зав}}$  содержится в дугах множества  $M_{\text{зав}} = \{17, 19, 20, 23, 24, 29\}$  и  $m_{\text{зав}} = |M_{\text{зав}}| = 6$ . Информация  $I_{\pi_{\omega_j}}$  содержится в дугах множества  $M_{\pi_{\omega_j}}$ , которые соответствуют внутренним условиям проявления и внутренним условиям транспортировки сигнала  $\hat{S}$  [3, 5, 8]. Множество  $M_{\pi_{\omega_j}}$  приведено далее. Анализ табл. 1—3 показывает, что количество  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  ин-

\* Подчеркнем, что здесь  $I_{\tilde{D}}$  и  $I_{\tilde{I}}$  в виде куба  $C_{\tilde{D}}$  и куба  $C_{\tilde{I}}$  рассматриваются в качестве сведений как данные, как сообщения, но не как количество информации.

\*\* Формально событие  $A$  называется зависимым от события  $B$ , если вероятность события  $A$  меняется в зависимости от того, произошло событие  $B$  или нет [9, с. 46].

формации, полученной в результате решения задачи  $\tilde{D}$ , как и общее количество  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$  информации, полученной в результате решения задачи  $\tilde{I}$ , равно сумме трех компонент:

$$\tilde{I}_{\tilde{D}} = \tilde{I}_{\tilde{I}} = \tilde{I} = \tilde{I}_{\text{нез}} + \tilde{I}_{\text{зав}} + \tilde{I}_{\pi=\omega_j}, \quad (4)$$

где  $\tilde{I}_{\text{нез}}$  — компонента количества  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  информации  $\tilde{D}$ , либо количества  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$  информации  $\tilde{I}$ , которая не зависит от события  $\tilde{\alpha}_j$ . Другими словами, значение  $a_j$  в каждой дуге  $j$  КУШ не изменяется и в табл. 1 и 2, а в третьей строке табл. 3 в каждой дуге  $k$  стоит ноль. По сути, выражение (4) служит формулировкой ЗСКИ.

В (4) символ  $\tilde{I}_{\text{зав}}$  обозначает ту компоненту,  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  или  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$ , количества информации задачи  $\tilde{D}$  либо задачи  $\tilde{I}$ , которая зависит от события  $\tilde{\alpha}_j$  (см. табл. 1, 2 и 3).

В табл. 3 в каждой дуге  $k$  стоит значение 1. Каждая дуга  $k$  входит в множество дуг  $M_{\pi=0_{17,29}} = \{17, 19, 20, 23, 24, 29\}$ . Третьей составляющей в (4) является то количество  $\tilde{I}_{\pi=\omega_j}$  информации, которое определяется возникновением существенного пути  $\pi=0_{17,29}$  [3, 5, 8]. Сам путь  $\pi=0_{17,29}$  состоит из множества дуг  $M_{\pi=0_{17,29}}$ . Событие  $\sigma_1$  — это возникновение пути  $\pi=0_{17,29}$ , что означает произведение  $\sigma_2 \cdot \sigma_3$  двух событий:  $\sigma_1 = \sigma_2 \cdot \sigma_3$ , где событие  $\sigma_2$  — появление условий проявления  $\equiv \omega_j$ , а событие  $\sigma_3$  — появление условий транспортировки сигнала  $\hat{S}$  [3]. Здесь сигнал  $\hat{S}$  проходит от дуги 17 до дуги 29 (рис. 3).

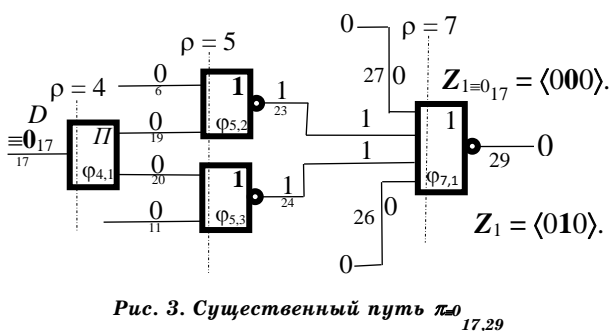


Рис. 3. Существенный путь  $\pi=0_{17,29}$

Противоположное событие  $\bar{\sigma}_1$  — также произведение  $\bar{\sigma}_2 \cdot \bar{\sigma}_3$  двух событий:  $\bar{\sigma}_2$  — непоявление условий проявления и  $\bar{\sigma}_3$  — непоявление условий транспортировки. Если отсутствует одно из этих условий или оба, то  $\sigma_1$  не реализуется. Из табл. 1, 2 и 3 видно, что  $\equiv 0_{17}$  обнаруживается вектором  $X_1 = \langle 0000 \rangle$  и вероятность  $p_{X_1}$  подачи его на входы равна  $1/16$  (0,0625). Следовательно, на этом векторе  $X_1$  выполняются

условия проявления и транспортировки. Это означает, что появился существенный путь  $\pi=0_{17,29}$  от дуги 17 с неисправностью  $\equiv 0_{17}$  до дуги 29 (см. рис. 2 и 3). В соответствии с терминологией технической диагностики путь  $\pi=0_{17,29}$  является многомерным и состоит из двух путей соединений ( $\tilde{n} = 2$ ): пути  $\rho_{1,17,29}$  и пути  $\rho_{2,17,29}$ , так как сигнал  $\hat{S}$  проходит от дуги 17 одновременно по параллельным дугам 19 и 20, а также по дугам 23 и 24 и сходится в дуге 29 ("сходящееся разветвление"). Первый путь  $\rho_{1,17,29}$  содержит множество дуг  $M_{\rho_{1,17,29}} = \{17, 19, 23, 29\}$ , а второй путь  $\rho_{2,17,29}$  — множество  $M_{\rho_{2,17,29}} = \{17, 20, 24, 29\}$ . Тогда

$$\begin{aligned} M_{\pi=0_{17,29}} &= M_{\rho_{1,17,29}} \cup \rho_{2,17,29} = \\ &= \{17, 19, 20, 24, 23, 29\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Теперь рассмотрим исправное и неисправное КУШ как два объекта, на входы которых подаются входные векторы  $X_i \in \text{dom } X$ . Всякий вектор  $X_i \in \text{dom } X$  получается с помощью генератора случайных чисел (ГСЧ) с равной вероятностью  $1/16$  (0,0625). В случае, когда число  $\tilde{N}$  векторов  $X_i$ , полученных с помощью ГСЧ, достаточно велико, то в соответствии с теоремой Бернулли вероятность  $p_{j,0}$  или  $p_{j,1}$  появления значений 0 или 1 в дугах исправного и неисправного КУШ (рис. 1 и 2) будет равна частоте  $w_{j,0}$  или  $w_{j,1}$  появления этих значений в табл. 1 и 2 моделирования на всех 16 векторах  $X_i \in \text{dom } X$ . Иными словами,  $p_{j,0} = w_{j,0}$  и  $p_{j,1} = w_{j,1}$ .

Существенный путь  $\pi=0_{17,29}$  от дуги 17 до дуги 29 образуется при подаче на входы КУШ только одного вектора  $X_1 = \langle 0000 \rangle$ . Для вектора  $X_1$  вероятность  $p_{X_1} = 1/16$  и, следовательно, вероятность возникновения двумерного пути  $\pi=0_{17,29}$  также равна  $1/16$  (0,0625). Но чтобы образовался путь  $\pi=0_{17,29}$  необходимо возникновение события  $\sigma_1 = \sigma_2 \cdot \sigma_3$ . Событие  $\sigma_2$  для данного конкретного случая (т. е. условия проявления неисправности  $\equiv 0_{17}$  в КУШ) также состоит из произведения событий:  $\sigma_2 = \sigma_4 \cdot \sigma_5$ , где событие  $\sigma_4$  состоит в одновременном появлении двух нолей в дугах 13 и 14, что влечет появление 1 в дуге 17 и означает выполнение внутреннего условия проявления  $\equiv 0_{17}$  в дуге 17 (см. рис. 1, 2 и 3).

Для возникновения события  $\sigma_3$  (т. е. выполнения внутреннего условия транспортировки сигнала  $\hat{S}$  от дуги 17 до дуги 29) необходимо одновременное появления нолей в дугах 6, 11, 26, 27 (см. рис. 3). Таким образом,  $\sigma_3 = \sigma_6 \cdot \sigma_7 \cdot \sigma_8 \cdot \sigma_9$ , где  $\sigma_6$  — событие, состоящее в появлении 0 в дуге 6,  $\sigma_7$  — появление 0 в дуге 11,  $\sigma_8$  — появление 0 в дуге 26 и  $\sigma_9$  — появление 0 в дуге 27. Отсюда

$$\sigma_1 = \sigma_2 \cdot \sigma_3 = \sigma_4 \cdot \sigma_5 \cdot \sigma_6 \cdot \sigma_7 \cdot \sigma_8 \cdot \sigma_9. \quad (6)$$

Из (6) следует, что возникновение события  $\sigma_1$  равно произведению событий  $\sigma_4 \cdot \sigma_5 \cdot \sigma_6 \cdot \sigma_7 \cdot \sigma_8 \cdot \sigma_9$ . Но из анализа табл. 2 и 3 можно видеть, что такое произведение возможно только при подаче на входы КУШ лишь одного вектора,  $X_1 = \langle 0000 \rangle$ , и вероятность  $p_{X_1}$  подачи с помощью ГСЧ вектора  $X_1$  на входы схемы равна  $1/16$ . Следовательно, величина  $\tilde{I}_{\pi \equiv 0_j}$  определяется вероятностью  $1/16$  и его можно будет использовать далее в соответствии с (4). Но сначала вычислим две составляющие,  $\tilde{I}_{\text{нез}}$  и  $\tilde{I}_{\text{зав}}$ , как следует из (2) и (3). Для этого необходимы две таблицы, содержащие вероятности появления значений 0 и 1 в дугах исправного и неисправного КУШ (см. табл. 1 и 2).

#### Вычисление вероятностей в координатах КУШ

Так как  $\forall X_i \in \text{dom } X$  получен с помощью ГСЧ, в соответствии с теоремой Бернулли вероятность  $p_{j,0}$  появления 0 в дугах исправного КУШ равна частоте  $w_{j,0}$  появления 0 в табл. 1, т. е.  $p_{j,0} = w_{j,0}$ .

Аналогично для  $\forall X_i \in \text{dom } X$  вероятность  $p_{j,1}$  появления 1 в дугах исправного КУШ равна частоте  $w_{j,1}$  появления 1 в табл. 1, т. е.  $p_{j,0} = w_{j,0}$ .

Это означает, что если последовательность  $\Phi = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_l\}$  векторов  $X_i \in \text{dom } X$ , полученных с помощью ГСЧ и подаваемых на входы КУШ, достаточно длинная, то этот случай соответствует теореме Бернулли. Тогда имеем ситуацию, во многом аналогичную бросанию игральной кости: всегда будут выпадать цифры от 1 до 6. Приравняем частоту  $w_{j,0}$  или частоту  $w_{j,1}$  событий появления значения 0 или значения 1 в дугах КУШ с вероятностью  $p_{j,0}$  или вероятностью  $p_{j,1}$  их появления в КУШ (см. табл. 4 и 5) для исправного КУШ.

Приведем таблицу вероятностей появления значения 0 и значения 1 в дугах неисправного КУШ (см. табл. 6 и 7) ( $p_{j,0 \equiv 0_{17}} = w_{j,0 \equiv 0_{17}}$ ).

Теперь можно вычислить количество информации, т. е. величины  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  или  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$ , которое получают в результате решения задачи  $\tilde{I}$  и  $\tilde{D}$ . Для этого используем формулу (4) и табл. 1—7.

Таблица 4

Вероятности появления значения 0 в дугах исправного КУШ ( $p_{j,0} = w_{j,0}$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$p_{j,0}$	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$p_{j,0}$	8/16	13/16	12/16	12/16	12/16	12/16	10/16	10/16	10/16	10/16	10/16	10/16	10/16	14/16	10/16

Таблица 5

Вероятности  $p_{j,1}$  появления значения 1 в дугах исправного КУШ ( $p_{j,1} = w_{j,1}$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$p_{j,1}$	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$p_{j,1}$	8/16	3/16	4/16	4/16	4/16	4/16	6/16	6/16	6/16	6/16	6/16	6/16	6/16	2/16	6/16

Таблица 6

Вероятность появления значения 0 в узлах неисправного КУШ ( $\omega_j = \equiv 0_{17}$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$p_{j,0 \equiv 0_{17}}$	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$p_{j,0 \equiv 0_{17}}$	8/16	1	12/16	1	1	12/16	10/16	8/16	8/16	10/16	10/16	10/16	10/16	15/16	10/16

Таблица 7

Вероятность появления значения 1 в узлах неисправного КУШ ( $\omega_j = \equiv 0_{17}$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$p_{j,1 \equiv 0_{17}}$	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$p_{j,1 \equiv 0_{17}}$	8/16	0	4/16	0	0	4/16	6/16	8/16	8/16	6/16	6/16	6/16	6/16	1/16	6/16

Вычисление количества  $\tilde{I}$  информации

$$\tilde{I} = \tilde{I}_{\tilde{D}} = \tilde{I}_{\tilde{I}}$$

В соответствии с ЗСП [5] в случае решения  $\tilde{D}$  конечный куб  $C_{Q\tilde{D}}$  равен конечному кубу  $C_{Q\tilde{I}}$  задачи  $\tilde{I}$ :  $C_{Q\tilde{D}} = C_{Q\tilde{I}} = C_{Q\tilde{D}}$ . Следовательно, необходимо вычислить количество информации  $\tilde{I}$  в соответствии с (4). Сначала вычислим величину  $\tilde{I}_{\text{нез}}$  в выражении (4). Отметим, что  $\tilde{I}_{\text{нез}}$  вычисляется как сумма частных информаций в отдельных дугах КУШ для вектора  $X_1 = \langle 0000 \rangle$  [9, с. 481—483]. Чтобы вычислить  $\tilde{I}_{\text{нез}}$  составим таблицу с результатами вычисления вспомогательной функции  $\eta(p_j)$  [9, с. 473] для дуг из множества  $M_{\text{нез}} = \{1, 2, \dots, 16, 18, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 30\}$  и  $m_{\text{нез}} = |M_{\text{нез}}| = 24$  (табл. 8).

Тогда

$$\tilde{I}_{\text{нез}} = (15 \cdot 0,5) + (6 \cdot 0,424) \approx 10 \text{ дв. ед.}^*$$

Теперь вычислим количество  $\tilde{I}_{\text{зав}}$  в выражении (4) для вектора  $X_1 = \langle 0000 \rangle$  — единственного входного вектора, обнаруживающего неисправность  $\equiv 0_{17}$ . Так как значение в дугах множества  $M_{\text{зав}} = \{17, 19, 20, 23, 24, 29\}$  ( $m_{\text{зав}} = |M_{\text{зав}}| = 6$ ) изменяется в зависимости от наличия неисправности  $\equiv 0_{17}$ : значение  $a_j$  переходит в противоположное значение  $\bar{a}_j$ , будем вычислять  $\tilde{I}_{\text{зав}}$  как полную информацию в дугах КУШ для вектора  $X_1$ , т. е. как сумму вспомогательной функции  $\eta(p_j)$  появления значения 0 и значения 1 в одной и той же дуге  $j$  в исправном и неисправном КУШ [9, с. 481—483].

В табл. 9 и далее приведены результаты вычислений  $\tilde{I}_{\text{зав}}$ .

$$\begin{aligned} \tilde{I}_{\text{зав}} &= (0,453 + 0) + (0,5 + 0) + (0,5 + 0) + \\ &+ (0,424 + 0,5) + (0,424 + 0,5) + (0,169 + 0,087) = \\ &= 3,557 \text{ дв. ед.} \end{aligned}$$

Вычислим количество  $\tilde{I}_{\pi \equiv \omega_j}$  в выражении

(4). Определение величины  $\tilde{I}_{\pi \equiv \omega_j}$  иногда можно считать избыточным. Однако для заданного КУ и вектора  $X_i$  величина  $\tilde{I}_{\pi \equiv \omega_j}$  помогает опреде-

лить множество неисправностей  $\equiv \omega_j$  в дугах, через которые проходит существенный путь  $\pi_{\equiv \omega_j, z}$  (например,  $\pi_{\equiv 0_{17}, 29}$  в схеме Шнейдера включает в себя все дуги множества  $M_{\text{зав}} = \{17, 19, 20, 23, 24, 29\}$ ). Множество таких неисправностей обозначим символом  $M_{\pi_{\omega_j, z}}$ . В данном случае мно-

жество  $M_{\pi_{\omega_j, z}} = M_{\pi_{\equiv 0_{17}, 29}} = \{\equiv 0_{17}, \equiv 0_{19}, \equiv 0_{20}, \equiv 1_{23}, \equiv 1_{24}, \equiv 0_{29}\}$ ,  $|M_{\pi_{\equiv 0_{17}, 29}}| = 6$ . Таким образом,

для КУШ и для пары  $(X_1, \equiv 0_{17})$ , где вектор  $X_1 = \langle 0000 \rangle$  — единственный вектор, который обнаруживает неисправность  $\equiv 0_{17}$ , величина

$$\begin{aligned} \tilde{I}_{\pi_{\omega_j, z}} &= \tilde{I}_{\pi_{\equiv 0_{17}, 29}} = -(1/16 \log_2 1/16) = \\ &= -[1/16 \log_2 2^{-4}] = [1/16 \cdot (-4)] = 1/4 = 0,25 \text{ дв. ед.} \end{aligned}$$

В соответствии с (4)

$$\begin{aligned} \tilde{I} &= \tilde{I}_{\tilde{D}} = \tilde{I}_{\tilde{I}} = \tilde{I}_{\text{нез}} + \tilde{I}_{\text{зав}} + \tilde{I}_{\pi \equiv \omega_j} = \\ &= 10 + 3,557 + 0,25 = 13,807 \text{ дв. ед.} \end{aligned}$$

Таблица 8

Значения функции  $\eta(p_j)$  для дуг КУШ из множества  $M_{\text{нез}}$  ( $\eta(p_j) = -p_j \log_2 p_j$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$X_1 \langle 0000 \rangle$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\eta(p_j)$	$-(8/16 \cdot (-1)) = S$	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	16	18	21	22	25	26	27	28	30			
$X_1 \langle 0000 \rangle$	0	1	1	0	0	0	0	0	0			
$p_j, 1, \equiv 0_{17}$	$-(8/16 \cdot (-1)) = S$	$-(4/16 \cdot (-2)) = S$	S	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424			

Таблица 9

Значения функции  $\eta(p_j)$  в дугах исправного и неисправного КУШ из множества  $M_{\text{зав}} = \{17, 19, 20, 23, 24, 29\}$  ( $\eta(p_j) = -p_j \log_2 p_j$ ).

	17		19		20		23		24		29	
	Исп.	Неисп. $\equiv 0_{17}$	Исп.	Неисп. $\equiv 0_{17}$	Исп.	Неисп. $\equiv 0_{17}$	Исп.	Неисп. $\equiv 0_{17}$	Исп.	Неисп. $\equiv 0_{17}$	Исп.	Неисп. $\equiv 0_{17}$
$a_j/\bar{a}_j$	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
$p(p_{\equiv 0_{17}})$	3/16	1	4/16	1	4/16	1	10/16	8/16	10/16	8/16	14/16	15/16
$\eta(p_j)$	0,453	0	0,5	0	0,5	0	0,424	0,5	0,424	0,5	0,169	0,087

\* Используются такие "заезженные" понятия, как бит оперативной памяти (ОП), кубит регистра КК. Также известно, что количество информации измеряется в битах. Чтобы не путать биты ОП с битами количества информации, далее будем использовать термин "двоичная единица" (дв. ед.).



Таким образом, в результате решения задачи  $\check{D}$  и задачи  $\check{I}$  была получена величина для  $\check{I} = \check{I}_{\check{D}} = \check{I}_{\check{I}} = 13,807$  дв. ед. В соответствии с ЗСП для этого пришлось потратить  $\Delta t = R = 7$  вдеп. В случае классических параллельно-последовательных  $D$ -алгоритмов на платформе классического процессора-ускорителя с тактовой частотой 3 ГГц

$$1 \text{ вдеп} = \tau \cdot \Theta \approx 10,0,333 \cdot 10^{-9} \approx 3,33 \cdot 10^{-9} \text{ с},$$

где  $\tau$  — время выполнения элементарной операции  $\alpha_j$  с помощью комбинационного блока  $B_j$  в классическом процессоре-ускорителе для решения булевых уравнений и построения тестов [5];  $\Theta$  — период колебаний, когда тактовая частота  $\nu = 3$  ГГц. Тогда для схемы Шнейдера в соответствии с (3) время решения задачи  $\check{D}$  и задачи  $\check{I}$  одинаково и равно  $\Delta t$ :

$$Pr = \Delta t = R = 7 \text{ вдеп} \approx 7,3,33 \cdot 10^{-9} \approx 23 \cdot 10^{-9} \text{ с}.$$

Возможно, что время  $\Delta t$  может несколько увеличиться в зависимости от "накладных расходов", которые в общем случае трудно точно подсчитать, но время  $\Delta t$  не превысит 1 с. Следовательно, для КУШ и вектора  $X_i$  за время решения  $\Delta t$  задачи  $\check{D}$  и задачи  $\check{I}$  ( $\Delta t \leq 1$  с) с помощью классического компьютера будет получено количество  $\check{I}$  информации, равное  $\approx 14$  дв. ед. Но это только для одного полностью определенного вектора  $X_i$ . Если же необходимо построить тупиковый тест  $T_k$ , который обнаруживает все 60 ( $30 \times 2 = 60$ ) неисправностей  $\equiv \omega_j$ , то можно сделать приблизительную оценку  $\check{I}_k$  информации, которая будет получена в результате построения теста  $T_k$ . С учетом того что длина теста  $T_k$  для КУШ обозначена символом  $l$ , приблизительная оценка  $\check{I}_k$  будет иметь вид

$$\check{I}_k = l \cdot \check{I}. \quad (7)$$

Следовательно,  $\check{I}_k$  равна  $\approx l \cdot 14$  дв. ед. Однако величина  $l$  не известна. Необходимо строить тест  $T_k$ , но здесь построение теста  $T_k$  не приводится.

Рассмотрен случай, когда полностью определенный вектор  $X_1$  является единственным вектором, обнаруживающим неисправность  $\equiv \omega_j = \equiv 0_{17}$  в КУШ. ЗСКИ выполняют тогда, когда сравнивают результат решения задачи  $\check{D}$  с результатом решения задачи  $\check{I}$ , а также результат вычисления количества информации  $\check{I}_{\check{D}}$  с результатом вычисления информации  $\check{I}_{\check{I}}$ . В соответствии с ЗСКИ  $\check{I}_{\check{D}} = \check{I}_{\check{I}} = \check{I}$ . Этот результат главным образом основан на ЗСП, относительно

прост и очевиден. Однако часто случается так, что вектор  $X_i$ , полученный в результате решения задачи  $\check{I}$ , является не полностью определенным. Предположим, что для некоторого КУ вектор  $X_i$  может быть не полностью определенным, например  $\check{X}_1 = \langle \sim 111 \rangle$ . Вектору  $\check{X}_1$  соответствуют два полностью определенных вектора:  $X_8 = \langle 0111 \rangle$  и  $X_{16} = \langle 1111 \rangle$ . Подчеркнем, что в этом случае задача  $\check{D}$  должна решаться для двух полностью определенных векторов:  $X_8$  и  $X_{16}$ . Результатом решения  $\check{D}$  будут два конечных полностью определенных куба: куб  $C_{Q,1}$  и куб  $C_{Q,2}$ . Результат решения задачи  $\check{I}$  также должен быть полностью определенным: два куба  $C_{Q,1}$  и  $C_{Q,2}$ . В этом случае  $\check{I}_{\check{D}} = \check{I}_{\check{I}}$  и ЗСКИ будет выполнен. Если в результате задачи  $\check{I}$  будет получено множество  $\chi$  не полностью определенных векторов, то множество  $\chi$  следует превратить в множество  $X$  полностью определенных векторов и для каждого вектора  $X_i \in X$  следует решить задачу  $\check{D}$ , вычислить величину  $\check{I}_{\check{D}}$  и сравнить ее с величиной  $\check{I}_{\check{I}}$ , вычисленной для каждого из соответствующих кубов  $C_{Q,i}$ .

Еще одно замечание касается особенностей квантовых решений задачи  $\check{D}$  и задачи  $\check{I}$ , что связано со специфической процедурой считывания (измерения) регистра КК в случае квантового решения. Как правило, в результате задачи  $\check{I}$  будет получено только одно решение — один вектор  $X_i$ . Поэтому придется приложить дополнительные усилия и потратить дополнительное время, чтобы осуществить проверку  $\check{I}_{\check{D}} = \check{I}_{\check{I}}$ .

**Теорема.** В соответствии с формулировкой закона сохранения количества информации (ЗСКИ) количество  $\check{I}_{\check{D}}$  информации, полученное в результате решения прямой задачи (задачи  $\check{D}$ ) с помощью полного  $D$ -алгоритма, равно количеству информации  $\check{I}_{\check{I}}$ , полученной в результате решения обратной задачи (задачи  $\check{I}$ ) с помощью полного  $D$ -алгоритма:  $\check{I}_{\check{D}} = \check{I}_{\check{I}}$  (см. (4)).

Сформулированная теорема является следствием, выведенным из ЗСП. Доказательство приводится в приложении.

## Заключение

В основе теории информации лежит понятие вероятности, тесно связанное с понятием возможности и случайности. Математической экспликацией возможности является понятие вероятности, которое входит в выражение (4) для вычисления количества  $\check{I}_{C_Q}$ -информации. В [9] утверждается, что в природе нет ни одного физического явления, в котором не присутствовали бы в той или иной мере элементы случайно-

сти. В теории алгоритмов исследуются не только детерминированные, но и вероятностные алгоритмы, ищущие решение, используя ГСЧ. Такие алгоритмы используют и для построения тестов. С другой стороны, известно много детерминированных дискретных алгоритмов, решающих задачи путем полного перебора. Примером служат те же  $D$ -алгоритмы, которые детерминировано найдут решение задачи, если оно существует. Здесь сделана попытка непротиворечиво соединить классическую теорию информации Шеннона с детерминизмом  $D$ -алгоритмов в процессе решения некоторых задач, например задач  $\tilde{D}$  и  $\tilde{I}$  в случае построения тестов для КУ, либо SAT-задачи (частный вариант задачи  $\tilde{I}$ ) в случае решения булевых уравнений. При этом решение осуществляется с использованием полных классических или квантовых  $D$ -алгоритмов, выполняющих перебор. Использование  $QD$ -алгоритмов обосновано тем, что квантовые алгоритмы эффективно выполняют полный перебор. Появление КК и квантовых алгоритмов ставит задачу соединения полного перебора и количественной оценки информации, полученной в результате решения задачи

$\tilde{D}$  и  $\tilde{I}$ .

Об объединении теории информации с детерминизмом полных  $D$ -алгоритмов можно говорить только после определения количества информации, т. е. после вычисления величины  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  и величины  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$ . Определение величин  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  и  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$  в результате дает ответ на поставленный вопрос: на что тратится время в результате решения прямой и обратной задачи (задачи  $\tilde{D}$  и задачи  $\tilde{I}$ ) в каждом конкретном случае. Изложен метод вычисления количества  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  информации, полученной в результате решения задачи  $\tilde{D}$  и количества  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$ -информации, полученной в результате решения задачи  $\tilde{I}$ . Получен также ответ на важный вопрос:  $\tilde{I}_{\tilde{D}} = ? \tilde{I}_{\tilde{I}}$ . Доказано равенство  $\tilde{I}_{\tilde{D}} = \tilde{I}_{\tilde{I}}$  (см. (4)). Выражение (4) является аналитической формой ЗСКИ (см. теорему).

Метод вычисления количества информации с использованием  $D$ -алгоритмов можно использовать и в случае решения алгебраических уравнений [10], а также для решения дифференциальных уравнений [11] (напомним, что построение тестов для аналоговых устройств можно свести к решению дифференциальных уравнений [11]). Это делается во многом так же, как и для решения булевых и алгебраических уравнений, в силу толерантности  $D$ -алгоритмов для объектов диагностирования разных классов [12]. Этот же подход можно использовать не только для решения задач *computer* и *control science*, но и для решения некоторых физических задач (см. утверждение Уилера: *'It from*

*bit'*, т. е. "Все из бита" в [1]). Это объясняется тем, что решение некоторых физических задач относительно просто сводится к решению прямых или обратных задач в случае алгебраических либо дифференциальных уравнений. Следовательно, используя такой же подход при решении задачи  $\tilde{D}$  или задачи  $\tilde{I}$  в физике, можно теоретически (априори) определить величину  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$  при решении обратной задачи или величину  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  в случае решения прямой задачи.

В этом случае величины  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  и  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$  можно проверить в ответах, получаемых в опытах с помощью измерительной аппаратуры на вопросы "да—или—нет". Слово "априори" (до опыта) очень важно. В экспериментальной физике и в инженерной практике часто требуется определить вероятности событий, а затем и количество информации, когда непосредственное экспериментальное воспроизведение самих событий затруднено. Подобные эксперименты оказываются непомерно сложными и дорогостоящими, а часто и невозможными [9].

#### ПРИЛОЖЕНИЕ

*Доказательство теоремы.* В соответствии с постулатом детерминированности для КУ и постулатом детерминированности для классических и квантовых  $D$ -алгоритмов [1], а также в соответствии с ЗСП [6, 7] в результате решения задачи  $\tilde{D}$  или задачи  $\tilde{I}$  будет получен один и тот же конечный куб  $C_Q$  (см. табл. 1 и 2). Известно, что одни и те же сведения или одни и те же сообщения содержат одинаковое количество информации [9]. Следовательно, в случае решения задачи  $\tilde{D}$  будет получена информация  $I_{\tilde{D}}$  в виде конечного куба  $C_{Q\tilde{D}}$ , а в случае решения задачи  $\tilde{I}$  будет получена информация  $I_{\tilde{I}}$  в виде конечного куба  $C_{Q\tilde{I}}$ . Но так как в соответствии с ЗСП конечный куб  $C_{Q\tilde{D}} = C_{Q\tilde{I}} = C_Q$ , т. е. в случае решения обеих задач конечный куб одинаков, информация  $I_{\tilde{D}}$  равна информации  $I_{\tilde{I}}$ , следовательно, и количество информации  $\tilde{I}_{\tilde{D}} = \tilde{I}_{\tilde{I}}$  (см. формулировку ЗСКИ в (4)). Повторим, что тождественно равные сведения (одна и та же информация:  $I_{\tilde{D}} = I_{\tilde{I}}$ ), полученные в разных процессах (в разных опытах, физических или вычислительных экспериментах) имеют равное количество информации\*. Отсюда количество  $\tilde{I}_{\tilde{D}}$  информации  $I_{\tilde{D}}$ , полученной в результате решения прямой задачи  $\tilde{D}$ , будет равно количеству  $\tilde{I}_{\tilde{I}}$  информации  $I_{\tilde{I}}$ , полученной в результате решения обратной задачи  $\tilde{I}$ :  $\tilde{I}_{\tilde{D}} = \tilde{I}_{\tilde{I}} = \tilde{I}$  (см. (4), что и требовалось доказать.

\*Если в двух опытах будет по одному разу брошена игральная кость и оба раза выпадет одна и та же цифра, например цифра 6, то в первом опыте будет получено количество информации, равное  $\approx 0,431$  дв. ед. Во втором опыте будет получено тоже количество информации  $\approx 0,431$  дв. ед.

## Литература

1. Правильщиков П. А. Законы сохранения в информатике // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 3. С. 20—28.
2. Schneider P. R. On the necessity to examine D-chains in diagnostic test generation — an example // IBM Journal Research and Development. 1967. № 1. P. 114.
3. Карбский В. В., Пархоменко П. П., Согомонян Е. С., Халчев В. Ф. Основы технической диагностики. Кн. 1. — М.: Энергия, 1976. — 346 с.
4. Правильщиков П. А. Симметрия диагностического лабиринта и закон сохранения перебора // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 1996. № 3. С. 38—52.
5. Правильщиков П. А. Закон сохранения перебора и естественный параллелизм D-алгоритмов для построения тестов и моделирования в технической диагностике // Автоматика и телемеханика. 2004. № 7. С. 156—199.
6. Правильщиков П. А. "Физическая" теорема Нётер в фотонике и computer science". Ч. I // Прикладная физика. 2005. № 6. С. 144—154.
7. Правильщиков П. А. "Физическая" теорема Нётер в фотонике и computer science". Ч. II // Прикладная физика. 2006. № 1. С. 95—109.
8. Roth J. P. Diagnosis of automata failures: a calculus and method // IBM J. Research and Development. 1966. № 7. P. 18—32.
9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1964. — 576 с.
10. Правильщиков П. А. Квантовое превосходство и решение алгебраических уравнений // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2018. № 3. С. 49—60.
11. Подольский С. Я., Правильщиков П. А. Моделирование и диагностирование аналоговых БИС // Вопросы оборонной техники. 1990. № 4(68). С. 20—25.
12. Правильщиков П. А. Элементы диагностической теории толерантности и подобия // Автоматика и телемеханика". 1992. № 10. С. 141—160.

## THE CASE OF SOLVING DIRECT AND INVERSE PROBLEMS FOR BOOLEAN EQUATIONS AND THE GENERATION TESTS

P. A. Pravilshchikov

Federal State Government-Financed Scientific Establishment V. A. Trapeznikov  
Institute for Control Sciences of RAS, Moscow, Russia

*The process of solving the direct and inverse problem for Boolean equations, as well as the process of solving the direct and inverse problem of the generation tests for combined devices. Here the process of solving these problems is investigated in the form of a specific form of movement in a discrete labyrinth  $\Lambda$ . Earlier it was proved that the motion in the maze  $\Lambda$  is characterized by the conservation enumeration law. In this work, it is proved that the movement in the labyrinth  $\Lambda$  is also characterized by the law of conservation of the amount of information — a law that is closely related to the conservation enumeration law.*

**Keywords:** quantity of information, brute force conservation laws, information quantity conservation law, classical and quantum computers, classical and quantum D-algorithms.

Правильщиков Павел Алексеевич, ведущий научный сотрудник.  
E-mail: pravilshchikov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28 августа 2020 г.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е. А. Рыбальская, канд. эконом. наук

Псковский областной институт повышения квалификации работников образования, г. Псков, Россия

*Дано описание используемых информационно-коммуникационных технологий в образовательной системе с возможными вариантами развития дистанционного образования.*

**Ключевые слова:** онлайн-обучение, дистанционное образование, информационные образовательные технологии, образовательные коммуникационные платформы.

В системе образования Российской Федерации все больше внимания уделяется развитию электронных образовательных интернет-ресурсов. Одной из важнейших проблем в образовательной сфере является процесс эффективного использования информационно-коммуникационных технологий. Под электронным обучением понимают организацию учебного процесса с применением содержащейся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий, технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, способствующих передаче по линиям связи указанной информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников.

В 2015 г. в России разработаны "Методические рекомендации по реализации дополнительных профессиональных программ с использованием дистанционных образовательных технологий, электронного обучения и в сетевой форме", в которых регламентированы понятия "полностью дистанционное обучение" и "частичное использование дистанционных образовательных технологий" для дополнительного профессионального образования [1]:

- полностью дистанционное обучение подразумевает использование такого режима обучения, при котором обучающийся осваивает образовательную программу полностью удаленно с использованием специализированной дистанционной оболочки (платформы), функциональность которой обеспечивает организация. Все коммуникации с педагогическим работником осуществляются посредством указанной оболочки (платформы);

- модель, при которой происходит частичное использование дистанционных образовательных технологий при реализации дополнительных профессиональных программ, очные занятия чередуются с дистанционными.

Среди технологий, применяемых в процессе дистанционного обучения, наибольшее распространение получили [2]:

- кейсовая (форма дистанционного обучения, основанная на предоставлении обучаю-

щимся информационных образовательных ресурсов в виде специализированных наборов учебно-методических комплексов с использованием различных видов носителей информации (кейсов));

- интернет-технология способ дистанционной передачи информации, основанный на использовании глобальных и локальных компьютерных сетей для обеспечения доступа обучающихся к информационным образовательным ресурсам и для формирования совокупности методических, организационных, технических и программных средств реализации и управления учебным процессом независимо от места нахождения его субъектов);

- телекоммуникационная (основанная на использовании преимущественно спутниковых средств передачи данных и телевидения, а также глобальных и локальных сетей для обеспечения взаимодействия обучающихся с преподавателем и между собой и доступа обучающихся к информационным образовательным ресурсам, представленным в виде цифровых библиотек, видеолекций и других средств обучения).

Для дистанционного онлайн-обучения всем его участникам (ученикам и преподавателям/учителям) необходима платформа, где они смогут коммуницировать друг с другом, проводить онлайн уроки, публиковать и проверять домашние задания и проводить тесты. Каждую из этих задач может выполнять множество различных онлайн-платформ (рисунок).

Для коммуницирования могут подойти уже существующие платформы (сайт школы, если в нем была предусмотрена подобная функция, Дневник.ру), сторонние форумы для обучения, например созданная в США платформа Piazza, формат которой позволяет сотрудничать в едином пространстве, иметь редактор LaTeX, выделенный синтаксис и блокировку кода, возможность задавать вопросы и делать сообщения, требующие немедленных действий, имеет полностью настраиваемые онлайн-опросы. В случае отсутствия подобных платформ их заменой могут послужить социальные сети и мессенджеры, в большинстве которых предусмотрена функция создания групп [3].

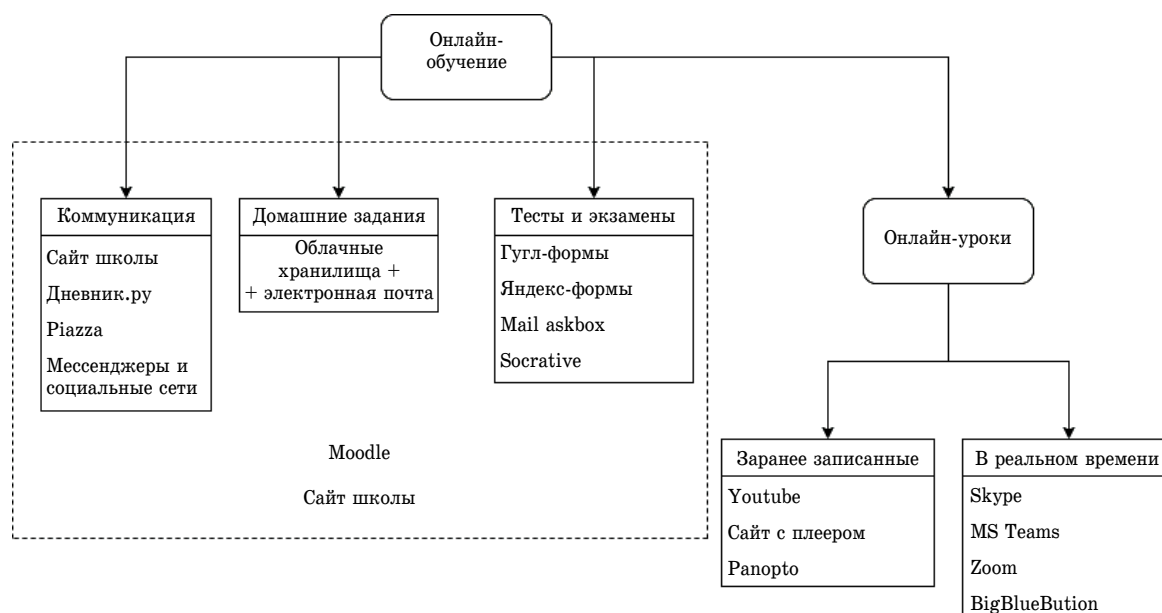


Схема формирования онлайн обучения в образовательных организациях

Онлайн-уроки можно проводить в двух форматах:

1. Онлайн-урок в реальном времени, для проведения которого могут подойти как более общие платформы для онлайн-связи, например Skype, Microsoft Team или Zoom, так и специализированные для проведения онлайн-уроков сайты, например BigBlueButton (система веб-конференций, предназначенная для онлайн-обучения, обеспечивает обмен аудио- и видеослайдами, чатом и экраном в реальном времени; учащиеся участвуют в обмене значками эмодзи, опросами и комнатами для обсуждения);

2. Заранее записанное занятие, в случае которого ограничение существует лишь в том факте, есть ли у сайта плеер для проигрывания видео. Самый популярный пример — Youtube, который предусматривает функцию скрытия ролика для нежелательных лиц с предоставлением доступа лишь определенному кругу людей. Также для уроков существуют и специализированные платформы. Примером является Panopto (программное обеспечение для потокового вещания для масштабной трансляции безопасных видеопотоков), куда преподаватель может выложить урок с собственной веб-камеры, которая может быть направлена на доску, со слайдами презентации и тайм-кодами в зависимости от части урока при возможности формирования заметок участниками во время проведения урока.

Для публикации домашнего задания от сервиса требуется наличие возможности сохранения и выдачи доступа к файлам размером вплоть до 500 Мб и возможностью впоследствии выставить оценку за работу. Для подобных задач могут подойти уже существующие облачные хранилища, такие как Гугл. Диск, Яндекс. Диск или облако Мейл.ру, с отправкой оценки по электронной почте или в форуме, которые уже оговаривались раньше.

Для проведения онлайн-тестов требуется платформа, которая сможет запоминать ответы ученика на конкретные вопросы в письменном виде. Для этого могут подойти как сервисы для создания форм опросов (Гугл- и Яндекс-формы или мейл Askbox), так и специализированные сайты для проведения онлайн-тестов (Socrative, позволяет создавать индивидуальные викторины, которые могут включать любую комбинацию множественного выбора). В обоих случаях для проверки можно использовать ФИО обучающегося или его код в базе данных образовательной организации, если таковой присутствует.

Каждая из этих систем может существовать по отдельности и просто использоваться по мере необходимости, но также существуют платформы, совмещающие в себе множественный функционал. Примером может служить платформа Moodle, позволяющая создавать отдельные предметы, в рамках которых можно публиковать обучающий материал, проводить тесты и проверять домашнее задание. Помимо прочего Moodle позволяет интеграцию антиплагиата для проверок заданий с развернутым ответом.

Подобные задачи также могут быть заменены сайтом образовательной организации, в который могут быть встроены все указанные задачи [4].

Выбор модели образовательной организацией, осуществляющей дистанционное обучение, обуславливается существованием:

- разработанной нормативной базы (подразумевает локальные нормативные акты и документы, регламентирующие применение дистанционных технологий в образовательной деятельности организации);

- имеющейся материально-технической базы (предполагает наличие необходимых информационно-технических средств для осуществления дистанционного образования как со стороны

образовательного учреждения, так и со стороны обучающихся);

- соответствующей подготовки кадрового персонала [5].

Для того чтобы дистанционное обучение было эффективным, необходима сильная мотивация обучающегося. Поскольку весь учебный материал необходимо осваивать самостоятельно, обучающийся должен обладать необходимыми качествами: силой воли, чувством ответственности, способностью к эффективному самоконтролю. Поддерживать необходимый ритм занятий, сохранять работоспособность и воспринимать большое количество новой информации без внешнего контроля удается далеко не всем.

Препятствием к получению дистанционного образования нередко является недостаточная компьютерная грамотность обучающихся. Выполнение заданий в электронной форме требует знания соответствующих компьютерных программ (текстовых редакторов, программ составления графиков, схем, формул, подготовки презентаций и т. п.).

Значительной проблемой дистанционного образования является недостаточный уровень контроля качества знаний обучающихся со стороны преподавателей. Работы, присланные по электронной почте, не являются надежным средством контроля, т. к. преподаватель не может быть уверен в том, что учащийся выполнил их самостоятельно и при их подготовке не использовал учебные пособия, информацию с интернет-сайтов, другие источники.

Развитие информационно-коммуникационных технологий в сфере образования должно быть связано с созданием информационных образовательных программ нового поколения на

основе технологий виртуальной реальности, моделирующих учебный процесс (виртуальных образовательных программ, моделирующих ситуацию учебного процесса: лекцию, семинар, экзамен и т. д., построенную по принципу компьютерной игры с виртуальным участием обучающегося и преподавателя), и осуществляться в направлении более активного использования дистанционно-коммуникационных образовательных технологий, так как это инструмент активного самостоятельного обучения, проходящего под чутким, но не навязчивым руководством со стороны опытных преподавателей. Дистанционные технологии позволяют сделать учебный процесс по-настоящему интересным, и восприятие даже самого сложного учебного материала проходит намного легче.

#### Литература

1. Методические рекомендации по реализации дополнительных профессиональных программ с использованием дистанционных образовательных технологий, электронного обучения и в сетевой форме, направленные письмом Министерства образования и науки РФ от 21 апреля 2015 г. № ВК-1013/06.
2. Берг О. Тренинги и обучение // Кадровый вопрос. 2013. № 10.
3. Плюсы и минусы дистанционного образования. Информационный сайт "Мое образование" [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://moeobrazovanie.ru/plusy\\_i\\_minusy\\_distancionnogo\\_obrazovaniya.html](https://moeobrazovanie.ru/plusy_i_minusy_distancionnogo_obrazovaniya.html) (дата обращения: 26.07.2017).
4. Об утверждении порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ. Приказ Минобрнауки РФ от 09.01.2014 № 2.
5. Журавлев В. Ю. Особенности и иллюзии дистанционного образования: мат. XVII Межд. науч. конф. "Решетневские чтения". В 2 ч. Сиб ГАУ. Красноярск. Ч. 2. С. 476—478.

## OPTIMIZATION OF EDUCATIONAL PROCESSES USING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

E. A. Rybalskaya

Pskov Regional Institute for Advanced Training of Educators, Pskov, Russia

*A description of proposal of the information and communication technologies used in the modern educational system with possible options for the development of distance education.*

**Keywords:** online education, distance education, information technologies in education, educational communication platforms.

Рыбальская Елена Александровна, доцент.  
E-mail: lenaryb78@mail.ru

Статья поступила в редакцию 8 сентября 2020 г.

УДК 004.73

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

А. С. Вилков; С. Л. Вилков, канд. техн. наук; М. М. Тараскин, д-р техн. наук  
Войсковая часть № 11928, Москва, Россия

*Рассмотрены информационные технологии телекоммуникационных систем, являющихся существенным элементом информационных сетей и играющих важную роль в обеспечении информационных услуг. Функциональная архитектура телекоммуникационных систем представляет собой эффективный профиль (стек) протоколов, обеспечивающий реализацию взаимосвязи прикладных процессов путем выполнения таких функций, как обеспечение надежной, своевременной, безопасной, целостной, кодонезависимой и достоверной передачи информационных сообщений. Приведен ряд перспективных протоколов, которые обеспечивают и будут обеспечивать расширенный спектр новых телекоммуникационных услуг, в том числе доступ к службам хранения видеoinформации, выборку и распределение видеопрограмм, мультимедиа, интерактивное телевидение, телемедицину, дистанционное обучение, разнообразные услуги Интернета.*

**Ключевые слова:** информационные технологии, информационные сети, телекоммуникационные системы, профиль (стек) протоколов телекоммуникационных систем, стек протоколов.

В России и за рубежом широкое развитие получили различные сети и системы, построенные на основе интегрированного использования средств связи и вычислительной техники, которые предоставляют абонентам (пользователям) широкий спектр услуг по обработке и обмену различных видов информации. Такие сети, осуществляющие получение, сбор, передачу, обработку, хранение, представление и использование информации, получили название информационных сетей (ИС) [1, 2].

Информационные сети выполняют три основные функции:

- осуществляют передачу различных видов информации в форме данных между территориально удаленными абонентскими системами сети;
- обеспечивают обмен данными в интересах взаимосвязи прикладных процессов, находящихся в любых абонентских системах информационной сети;
- обеспечивают содержательную обработку информации на основе прикладных программ, расположенных в абонентских системах сети.

Информационные сети являются базой для обработки различной информации, связанной с жизнью общества, и основой для создания единого информационного пространства (информационной инфраструктуры) страны.

Первые две перечисленные функции выполняются телекоммуникационной сетью в рамках информационной сети. Телекоммуникационная сеть осуществляет обмен данными, обеспечивая взаимодействие любых прикладных процессов независимо от того, в каких абонентских системах они расположены и где находятся. Итак, информационные сети включают в себя две основные компоненты — телекоммуникационные сети и аппаратно-программные средства, обеспечивающие функционирование всех приклад-

ных процессов. Телекоммуникационным сетям в развитии единого информационного пространства и автоматизации процессов управления в различных областях человеческой деятельности принадлежит весьма важная, а во многих случаях и ключевая роль.

С точки зрения структурной организации телекоммуникационная сеть состоит из сетевого оборудования, которое включает в себя оконечные устройства (персональные компьютеры, серверы, аудио- и видеоустройства, сетевые принтеры, факс-аппараты, считыватели штрих-кодов и т. д.) и коммуникационное оборудование (проводная, кабельная и (или) беспроводная среда передачи данных, промежуточные устройства, такие, как сетевые адаптеры, модемы, повторители, мосты, коммутаторы и т. д.), а также из средств поддержки сетевого оборудования. В такой сложной системе, какой является телекоммуникационная сеть, необходимо иметь более широкий арсенал программного обеспечения, а также стандартные наборы (стеки) коммуникационных протоколов, которые определяют правила взаимодействия сетевых устройств.

Телекоммуникационные или сетевые технологии как система взаимоувязанных методов и способов построения различных телекоммуникационных сетей получили особенно интенсивное развитие в последние 20—25 лет. Это связано, с одной стороны, с оригинальными теоретическими разработками в области сетевых технологий, а с другой, — с созданием технологий высокоскоростной передачи на базе волоконно-оптических средств и обычных медных проводов, каналов радио, радиорелейной и космической связи повышенной пропускной способности, с развитием сверхбыстродействующих программно-аппаратных средств и высокопроизводительных персональных ЭВМ.



В течение длительного времени наиболее распространенным подходом к сетевой технологии был подход, основанный на использовании концепции коммутации пакетов, определяемой рекомендацией МСЭ-Т Х.25. Характерная черта этой технологии — способ динамического распределения ресурсов сети связи за счет передачи и коммутации оцифрованной информации в виде частей небольшого размера, так называемых пакетов, которые передают по сети в общем случае независимо друг от друга (дейтаграммы) либо последовательно друг за другом по виртуальным соединениям. Узел-приемник из пакетов собирает сообщения. В таких сетях по одной физической линии связи может обмениваться данными много узлов.

Достоинствами коммутации пакетов являются эффективность использования пропускной способности (при перегрузке сети никого не "выбрасывает" с сообщением "сеть занята", сеть просто снижает всем или нескольким абонентам скорость передачи, абонент, использующий свой канал не полностью, фактически отдает пропускную способность сети остальным, например, во время пауз при разговоре), меньшие затраты [3].

Недостатки коммутации пакетов:

- сложное устройство (без микропроцессорной техники пакетную сеть наладить практически невозможно);
- пропускная способность расходуется на передачу технических данных (служебной информации);
- задержки доставки, в том числе переменные, из-за того, что при занятости исходящего канала пакет может ждать своей очереди в коммутаторе.

В результате исследований данная технология подверглась многочисленным усовершенствованиям. Однако и сейчас она остается основой широкого класса телекоммуникационных сетей, включая сети специального назначения. В числе причин сохраняющейся важности этих телекоммуникационных сетей — их достаточно устойчивое функционирование в условиях использования каналов связи низкого и среднего качества, а также хорошо отработанные за многие годы аппаратные и программные средства.

Сетевая технология дейтаграммной пакетной коммутации также применяется в течение длительного времени. Наиболее ярким представителем такого метода является стек протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), разработанный в 1977—1979 гг. Семейство протоколов TCP/IP получило очень широкое распространение в мире, в основном благодаря бурному развитию сети Интернет. Данные протоколы просты в реализации и интеграции с существующими операционными системами (Unix, Windows), обеспечивают сравнительно малые затраты ресурсов сети при обеспечении функций взаимосвязи. Более того, проводится постоянная работа по совершенство-

ванию данных протоколов. Это и ряд других факторов обуславливают успешное развитие сетей, основанных на данной технологии, которая сохраняет и будет сохранять актуальность.

Ввиду необходимости повышения качества и расширения спектра услуг, предоставляемых телекоммуникационной сетью, и совершенствования средств передачи цифровой информации с середины 80-х гг. во многих странах начали активно развивать цифровые сети с интеграцией служб ISDN (Integrated Services Digital Network — данная технология обеспечивает передачу цифрового сигнала по телефонным каналам с предоставлением различных служб), вначале узкополосные (narrow-band) — N-ISDN, а в дальнейшем — широкополосные (broadband) — B-ISDN. Главная цель создания N-ISDN — передача разнородной информации, включая речь, данные, факсимильную информацию, видеoinформацию и т. д., в цифровой форме. Кроме того, N-ISDN используют для объединения локальных сетей. В мире еще продолжается рост количества узкополосных цифровых сетей с интеграцией служб. Это обусловлено тем, что они во многом отвечают существующим и перспективным требованиям, а также тем, что они основаны на отработанной технологии и создаются отчасти на базе оборудования и каналов существующих телефонных сетей общего пользования.

Приведенные сетевые технологии были разработаны 25—30 лет назад и, хотя их и применяют в современных сетях и непрерывно усовершенствуют, во многом они уже не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к перспективным телекоммуникационным сетям.

Одним из перспективных направлений разработки и внедрения информационных технологий является передача мультимедиа-информации через телекоммуникационные сети. В этой области:

- создают единые методы представления и обработки различных видов информации;
- совершенствуют методы работы с изображением и звуком;
- разрабатывают специальные протоколы, гарантирующие заданную пропускную способность по существующим сетям.

В сети Интернет уже сформировался ряд направлений интеграции услуг: цифровое телевидение, IP-телефония, электронная торговля, информационные услуги и т. п. Наблюдается интенсивное развитие мобильных технологий обмена, в которых мобильная телефония объединяется с технологиями Интернета, переход от обычного к криптообмену данными.

Технологии построения высокоскоростных телекоммуникационных сетей позволяют удовлетворять различные запросы пользователей. Однако высокоскоростной доступ к таким сетям был сильно затруднен, т. к. использование оптического волокна для подключения абонентов связано с прокладкой кабеля и экономически

оправдано лишь при подключении большого числа сконцентрированных в одном месте пользователей.

Разработана технология DSL (Digital Subscriber Line [4] — цифровая абонентская линия), способная обеспечивать высокоскоростную передачу информации по витой медной паре, т. е. путем использования уже готовых кабельных линий.

Достижения в области мобильных и беспроводных систем связи позволили обеспечивать радиодоступ к телекоммуникационным сетям, в том числе и во время движения.

На рынке индивидуального доступа одна из наиболее экономичных технологий DSL — асимметричная ADSL. Недостатком линии ADSL является то, что пропускная способность снижается с увеличением расстояния, а также из-за дефектов кабелей или установки цепей коррекции. Главным конкурентом ADSL считают симметричный доступ SHDSL, который использует более эффективный линейный код и занимает узкую полосу частот при любой скорости. Спектральная плотность сигнала SHDSL почти идеально совместима с сигналами ADSL, что является чрезвычайно важным обстоятельством для обеспечения устойчивой работы в условиях широкого внедрения технологий xDSL в будущем.

Новые сетевые технологии непрерывно развиваются и совершенствуются. Стратегия их развития направлена на обеспечение качества предоставляемых услуг связи, на удовлетворение потребностей общества и государства в новых информационных и телекоммуникационных услугах, которые станут основой телекоммуникационных систем XXI в. Анализ тенденций развития сетевых технологий показывает, что дальнейшая их эволюция, по-видимому, пойдет по следующим направлениям:

- повышение пропускной способности сетей и увеличение скорости передачи информации;
- интеллектуализация телекоммуникационных сетей;
- внедрение беспроводных сетевых технологий, поддерживающих скорости до десятков Мбит/с, для построения локальных и глобальных мобильных мультимедийных сетей.

Высокие скорости и большая пропускная способность необходимы для высококачественной передачи изображений, в том числе телевизионных, передачи мультимедиа-информации, создания сверхширокополосных магистральных трактов для организации взаимосвязи локальных, городских и территориальных сетей и т. д. (см. рисунок).



Обеспечить повышенный рост пропускной способности должны принципиально новые волоконно-оптические технологии, основанные на спектральном уплотнении каналов (WDM — Wave Division Multiplexing [5]).

Мультиплексирование по длине волны позволяет резко повышать емкость оптоволокна за счет передачи по нему сигналов нескольких лазеров, работающих на разных длинах волн. Технология WDM увеличивает полосу пропускания среды передачи и ориентирована в первую очередь на использование в магистральных трактах при построении крупномасштабных территориальных сетей и реализацию мультимедиа-приложений.

Интеллектуализация сетей предусматривает создание структур с большим числом служб как для пользователей, так и для администрации сети. Воплощение в жизнь концепции интеллектуализации позволит оперативно реализовывать новые услуги, максимально эффективно используя существующую инфраструктуру сетей общего пользования, произведет радикальное изменение роли пользователя — от пассивного пользователя к активному клиенту, причем активная роль пользователя может проявляться даже в процессах управления сетью.

Концепцию беспроводных широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб в течение нескольких лет активно разрабатывают как основу для построения мобильных сетей следующего поколения, позволяющих поддерживать мультимедийные услуги с высоким качеством обслуживания.

Эти сети могут быть построены на технологиях сотовой связи, а также на основе широкополосной спутниковой связи при расположении ретрансляторов на геостационарных, высокоэллиптических и низких орбитах. При этом скорости передачи, доступные пользователям, могут составлять десятки Мбит/с. Достижения в микроэлектронике и способах цифровой обработки сигналов, позволяющие создавать высокофункциональные мобильные оконечные устройства и терминалы, приводят к возрастающей мобильности абонентов и интеграции стационарных сетей с сетями персональной и подвижной радиосвязи.

Особое внимание при создании новых перспективных телекоммуникационных сетей и внедрении новых сетевых технологий необходимо уделять проблемам управления сетями. Управление сетями как процесс поддержания их эффективного функционирования при любых внешних и внутренних воздействиях носит многоаспектный и многоуровневый характер.

Значительная роль системы управления сетями обусловлена целым рядом причин. Усложняются сами телекоммуникационные сети. Они становятся все более неоднородными как по архитектуре, так и по используемым аппаратно-программным средствам. Наряду с внедрением новых аппаратно-программных комплексов, ос-

нованных на передовых технологиях, на сетях продолжают использовать устаревшее оборудование. Большое распространение получают сети, построенные на различных сетевых технологиях, локальные и городские сети, корпоративные и ведомственные сети, различные сети связи с подвижными объектами. Им необходима связь друг с другом и с сетями общего пользования. Без эффективной системы управления в указанных условиях эта задача не может быть решена. При этом система управления должна создаваться на базе перспективных информационных технологий, быть адаптивной к изменяющимся внешним и внутренним ситуациям. Она должна быть ориентирована на новые сетевые технологии, использование методов распределенной обработки информации. В системе управления должны предусматриваться резервные аппаратно-программные средства для восстановления функционирования всех основных направлений связи или всей сети в целом. Проблематика систем управления телекоммуникационными сетями выходит на одно из первых мест [6].

Развитие информационных и сетевых технологий в России определяется как мировыми тенденциями в этой отрасли науки и техники, так и тем специфическим положением, в котором электросвязь долгое время находилась. В течение многих лет инфраструктура связи в нашей стране развивалась исходя из условий приоритетного обеспечения оборонного потенциала. Вследствие этого связью прежде всего обеспечивались органы государственного управления, Вооруженные Силы, предприятия военно-промышленного комплекса и т. д. Начиная со второй половины 80-х гг. значительное внимание стали уделять развитию сетей общего пользования.

Создание современной телекоммуникационной инфраструктуры такой огромной страны, как Россия, — сложная, масштабная задача. Ее решение намечено осуществить следующими путями:

- реализация крупномасштабных общегосударственных проектов;
- развитие и поддержка региональных телекоммуникационных проектов;
- поддержка деятельности негосударственных организаций в этой области.

В стране имеется, по сути, две сети: старая аналоговая и новая цифровая. Цифровые каналы первичной сети подведены к новым междугородным телефонным станциям каждого республиканского, краевого или областного центра, а внутризоновая сеть в большинстве случаев остается еще аналоговой. Магистральные линии первичной сети построены с заделом на будущее, и сейчас их мощности используют на 7—10 %. Цифровые технологии уже реализованы в 80 регионах России, но цифровых услуг практически нет. Введена в действие система сигнализации ОКС-7. Существуют еще некоторые

проблемы в области синхронизации цифровых сетей, но уже за 2 года освоено около 20 видов новых телекоммуникационных услуг, в том числе доступ к службам хранения видеoinформации, выборка и распределение видеопрограмм, мультимедиа, интерактивное телевидение, телемедицина, дистанционное обучение, разнообразные услуги Интернета. В новых системах телекоммуникаций России активно используют отечественные разработки, ставшие доступными в результате конверсии и учитывающие специфику России. В федеральном законе "О связи" [7] отмечено, что приоритетными технологиями в области систем и средств связи являются отечественные технологии. Наряду с этим развитие систем телекоммуникаций России идет и с привлечением передовых западных информационных и сетевых технологий.

Таким образом, в качестве первоочередных направлений исследований и разработок, которые будут оказывать решающее воздействие на состояние информационных технологий в телекоммуникационной инфраструктуре, следует выделить:

- оптические сетевые технологии;
- широкополосные цифровые сети с интеграцией служб на базе АТМ;
- обработку и передачу мультимедиа-информации;
- сетевые технологии построения коммутируемых локальных сетей;
- широкополосные беспроводные цифровые сети;
- новые технологии управления телекоммуникационными сетями и т. д.

Эволюция развития сетей связи включает в себя два направления планирования. В среднесрочной перспективе до 2020 г. это сети связи пятого поколения, до 2025 г. — сети связи шестого поколения [8].

В долгосрочном планировании — до 2030 г. появятся "Сети 2030", в которых плотность устройств может достигать 1 млн/км<sup>2</sup> и до 100 /м<sup>3</sup>. Задержки в передаче сигнала составят менее 1 мс; коэффициент готовности — 0,999; недоступность сети — не более 4 мс/сут.

Функциональным отличием "Сетей 2030" от сетей 6G является персонализация инфраструктуры. Одним из перспективных сценариев применения "Сетей 2030" станет широкое использование аватаров для воспроизведения действий человека. К 2030 г. широкое распространение получат подключенные нановещи, которые зна-

чительно повысят плотность сетей. Двусторонние задержки менее 1 мс и пиковая скорость передачи данных свыше 1 Тбит/с будут способствовать более масштабной реализации концепции "Индустрия 4.0" с использованием промышленных роботов.

Для обеспечения задержки передачи сигнала в пределах 1 мс при предоставлении услуг, например, "тактильного Интернета" действие сети ограничивается радиусом 50 км. Это означает, что ресурсы оператора в сетях связи с ультрамалыми задержками должны предполагать существенную децентрализацию.

Геоинформационные системы (ГИС) предназначены для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных и связанной с ними информации. Такие системы оперируют большими массивами данных и позволяют выполнять сложные вычисления, обеспечивая быстрый отклик на запрос пользователя или сервиса. Важнейшим преимуществом использования ГИС является возможность моделирования аварийных ситуаций с учетом различных вариантов развития событий и влияющих на них факторов. Внедрение "Сетей 2030" и распределенных центров обработки данных позволит, во-первых, использовать большие данные от устройств, являющихся составной частью систем "умных" городов, во-вторых, обеспечить соответствующие сервисы необходимыми вычислительными ресурсами, в-третьих, предоставить индивидуальным и промышленным пользователям актуальную и достоверную информацию, отвечающую их запросам.

#### Литература

1. Приказ Госкомсвязи Российской Федерации от 19.10.1998 № 187 (с изм. от 12.07.2001) "Об утверждении Правил технической эксплуатации первичных сетей взаимовязанной сети связи Российской Федерации".
2. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc1p/19966> (дата обращения: 03.01.2020).
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Коммутация\\_пакетов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Коммутация_пакетов)
4. Онлайн-книга "Сети хранения данных Fibre channel".
5. <https://ip-calculator.ru/blog/ask/dsl/> (дата обращения: 04.01.2020).
6. Листвин В. Н., Трещиков В. Н. DWDM системы. — М.: Изд. дом "Наука", 2013. — 300 с.
7. Федеральный закон "О связи" от 07.07.2003 № 126-ФЗ (последняя редакция).
8. Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comnews.ru/content/205649/2020-04-20/2020-w17/razvitie-setey-pyatogo-pokoleniya-i-perspektivnykh-setey-2030>.

## INFORMATION TECHNOLOGY IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

A. S. Vilkov, S. L. Vilkov, M. M. Taraskin  
Military Unit № 11928, Moscow, Russia

*The article deals with information technologies of telecommunication systems, which are an essential element of information networks and play an important role in providing information services. The functional architecture of modern communication systems is an effective profile (stack) of protocols that ensures the implementation of the processes of interconnection of applied processes by completing such functions as ensuring reliable, timely, safe, complete, code-independent and reliable transmission of information messages. The article presents a number of modern and promising protocols that provide and will provide an expanded range of new telecommunications services, including access to video storage services, selection and distribution of video programs, multimedia, interactive television, telemedicine, distance learning, and various Internet services.*

**Keywords:** information technologies, information networks, telecommunication systems, profile (stack) of protocols of telecommunication systems, Protocol stack.

---

**Вилков Андрей Сергеевич**, старший преподаватель.  
E-mail: vilkovas2016@yandex.ru  
**Вилков Сергей Леонидович**, преподаватель.  
E-mail: vilkovas2016@yandex.ru  
**Тараскин Михаил Михайлович**, сотрудник.  
E-mail: professor.59@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 20 мая 2020 г.*

## **Правила для авторов по оформлению рукописей статей, предлагаемых к публикации в журналах**

Направляя рукопись статьи в редакцию журнала, авторы передают редколлегии и издателю журнала безвозмездное неисключительное право опубликовать ее на русском языке в качестве статьи в печатной и электронной версиях журнала в сети Интернет. При этом за авторами сохраняются их интеллектуальные права на рукопись статьи (в том числе "авторское право"). В связи с этим и с учетом Четвертой части (Раздел VII) Гражданского кодекса РФ авторами должно быть представлено в редакцию письмо в следующей форме:

### **Лицензионный договор о передаче права на публикацию (издательский лицензионный договор)**

Мы, нижеподписавшиеся, авторы рукописи .....,  
предоставляем редколлегии журнала и издателю ФГУП «НТЦ оборонного комплекса  
«Компас»

.....  
(название журнала)

безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на публикацию рукописи статьи как в печатной, так и в электронной версиях журнала.

Мы подтверждаем, что данная публикация не нарушает интеллектуальных прав других лиц или организаций.

Подписи авторов: ..... (ф.и.о., ученая степень, дата)

Статья должна быть подписана всеми авторами. В случае нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией. Рукопись статьи направляется на адрес редакции журнала: 125424, Москва, Волоколамское ш., д. 77, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», Редакция журнала.

Дополнительная информация может быть получена в редакции при обращении по телефону: 8 (495) 491-43-17 или по E-mail: izdanie@ntckompas.ru.

Каждая статья рецензируется в соответствии с решением редколлегии журнала. Рецензенты выбираются из числа ученых и специалистов, компетентных в вопросах, рассматриваемых в статье, и имеющих собственные публикации в данном направлении. Решение о порядке публикации статьи принимается редколлегией с учетом мнения рецензентов. В случае разногласий среди членов редколлегии окончательное решение принимает главный редактор. При полном отклонении рукописи статьи от публикации редакция журнала направляет авторам мотивированный отказ. По этому факту редакция не вступает в полемику с авторами.

#### ***Комплектование статьи (обзора)***

Статья должна быть представлена в редакцию в следующем комплекте:

- сопроводительное письмо, подписанное руководством организации;
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати и распространения в

Российской Федерации и других государствах. При отсутствии в организации экспертной комиссии вместо экспертного заключения может быть представлено соответствующее заявление на имя главного редактора журнала от имени руководства организации, где работают авторы. В экспертном заключении или заявлении в обязательном порядке должна быть отражена возможность открытой публикации и передачи публикуемых материалов за границу.

- лицензионный договор по приведенному образцу;
- рукопись статьи — объем статьи (без рисунков) не должен превышать 10 страниц формата А4 при 1,5 межстрочных интервалах, а объем статьи обзорного характера — 20 страниц. Рекомендуемая гарнитура — New Times Roman. Размер шрифта — 12;
- Материал статьи представляется в редакцию в печатном виде (на бумажном носителе) и в электронном варианте на CD/DVD-диске с текстом в формате Word.

#### ***Оформление статьи:***

- статья начинается с указания УДК;
- название статьи набирается строчными буквами (кроме начальной прописной) полужирным шрифтом, размер шрифта 14, для остального текста используется простой шрифт размером 12, причем рекомендуемая гарнитура шрифта — Times New Roman;

- после названия — список авторов, инициалы авторов предшествуют их фамилиям;
- с отступлением в 2 строки представляется аннотация статьи;
- далее приводится список ключевых слов для данной статьи (не более десяти);
- страницы текста нумеруются без пропусков и добавлений литературных обозначений (типа 1а, 2б и т. п.), причем в сквозную нумерацию должны быть включены все элементы статьи;
- внизу первой страницы текста помещается отдельный абзац (с полужирным шрифтом), содержащий контактную информацию об авторе (или авторах) в следующем виде: фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, почтовый адрес предприятия, телефон, E-mail;
- основной текст статьи должен начинаться с четкой постановкой цели и задач работы, сопровождаемой аргументами в пользу ее выполнения на фоне существующего состояния затронутой в статье проблемы. Дальнейший текст статьи также должен иметь смысловые рубрикаторы (разделы и подразделы) без их нумерации. Заканчиваться статья должна отдельным разделом «Заключение» с перечислением основных результатов, следующих из них выводов и, по возможности, предложений по развитию исследований и использованию их результатов.
- после основного текста — список использованных источников "Литература" (не менее 5 источников); Список использованной литературы должен соответствовать всем ссылкам на внешние источники в тексте статьи. Ссылки оформляются в квадратных скобках, например, [1—6], [7, 8]. Внутренние ссылки, т. е. ссылки на формулы, рисунки и таблицы статьи оформляются с использованием круглых скобок, например, формула (1), уравнение (4), (рис. 3), (табл. 2). Любые ссылки в подписях к рисункам и в самих рисунках не рекомендуются;
- далее размещается подробная англоязычная информация о статье: название статьи, фамилия и инициалы авторов (английская транслитерация), предприятие, аннотация, ключевые слова (Keywords).

### **Оформление рисунков:**

- рисунки и графики вставляются непосредственно в нужном месте в статье и в желаемом масштабе.
- рядом с осями графиков указываются отображаемые физические величины только в символьной (буквенной) форме, а через запятую — размерность величины по-русски (прямым шрифтом). Различные кривые на графиках рекомендуется нумеровать, даже если они характеризуются отдельным цветом или типом линии. Графики представляются только на

белом фоне. Вспомогательные сетки на площади графика не допускаются;

- подписи под соответствующими рисунками (полужирный курсивный) представляются в нужных местах текста. Каждая подпись должна быть по возможности лаконичной, но емкой по содержанию.

### **Оформление формул:**

- простые формулы вводить в текст в формате используемого текстового редактора, более сложные формулы — с использованием редактора формул MathType;
- стандартные математические обозначения (например,  $\max$ ,  $\log$ ,  $\sin$ ,  $\exp$  и т. д.) должны быть набраны прямо. То же относится к цифрам и числам;
- для символьного обозначения не векторных физических (технических) величин использовать только латинский и греческий алфавиты, при этом в тексте для греческих букв использовать прямой шрифт, для латинских букв — наклонный шрифт (курсив);
- векторы и матрицы обозначать полужирным прямым шрифтом;
- для нижних и верхних индексов применять арабские цифры, латинские или греческие буквы. Если индекс представляет собой сокращенную форму русского слова — характеристики, то допустимо использовать в его обозначении русские буквы (прямой шрифт), например  $U_{\text{вх}}$ ,  $I_{\text{вых}}$ ,  $v_{\text{гр}}$  и т. п.
- размерность физических величин обозначается всегда только по-русски прямым шрифтом.

### **Оформление таблицы:**

- содержание таблицы не должно дублировать данные, приводимые на графиках или в тексте;
- графы должны иметь название без сокращения отдельных слов.

Рисунки, формулы и таблицы должны иметь свою отдельную сквозную нумерацию. Если на конкретную формулу нет дополнительных (возвратных) ссылок в тексте или она в единственном числе, то нумерация ее не нужна. Единственные таблица и/или рисунок также не нумеруются.

При публикации в журнале каждая статья (в контактной информации) сопровождается сноской со знаком охраны авторского права ©, поставленным перед фамилией автора (фамилиями авторов) и годом издания.

Авторы (или автор) каждой статьи после выхода журнала в свет имеют право на получение от редакции электронной версии статьи в PDF-формате (редактор Adobe Acrobat).