

# Автоматизация и Современные Технологии

---

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

**Главный редактор**  
В.Л. Белоусов

**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ:**

Бучаченко А.Л.

Гусев А.А.

Дегтярев Ю.И.

Елисеев В.А.

Иванов А.П.

Мальцева С.В.

Нефедов Е.И.

Шебалин И.Ю.

(заместитель главного редактора)

**РЕДАКЦИЯ:**

Шебалин И.Ю. — зам. главного редактора

Гончарова Л.К. — научный редактор

Осипова В.Г. — научный редактор

Богус С.В. — секретарь

*Адрес редакции:*

107076, Москва,

Стромынский пер., 4

Тел.: (499) 748 0290,

E-mail: [ast@mashin.ru](mailto:ast@mashin.ru); <http://www.mashin.ru>

**10**  
**2012**

**УЧРЕДИТЕЛИ:**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ  
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

---

Журнал зарегистрирован 9 апреля  
1999 г. за № 018684 в Комитете  
Российской Федерации по печати

---

Журнал входит в перечень  
утверждённых ВАК РФ изданий  
для публикации трудов соискателей  
учёных степеней

---

ООО «Издательство Машиностроение»

*Адрес издательства:*

107076, Москва,

Стромынский пер., 4

Тел.: (499) 268 3858,

факс: (499) 269 4897

## СОДЕРЖАНИЕ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- Воронова Е.В.** Применение теплонасосных установок в системах кондиционирования воздуха шахтных зерносушилок ..... 3
- Бржозовский Б.М., Захаров О.В.** Профилирование дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей в среде Matlab ..... 7
- Решетняк Е.П.** Синтез дискретной адаптивной системы управления биохимическим реактором с оценением сигналов модального управления ..... 12

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Кэ Фан, Неусыпин К.А.** Алгоритм предварительной фильтрации сигналов навигационных систем летательных аппаратов ..... 16
- Дегтярёв Ю.И.** Обобщённый алгоритм многопараметрического экспертного оценивания технологических платформ и других сложных объектов ..... 19
- Шириялкин А.Ф., Кобелев С.А., Угасин А.Н., Махитко В.П.** Формирование таксономической структуры классификации деталей машин для автоматизации технической подготовки производства ..... 31
- Аленин А.А.** Выявление скрытой передачи информации в звуковых файлах ..... 38
- Соловьёв А.С., Воробкалов П.Н.** Эволюционная оптимизация в задачах проектирования литейной технологии ... 41

### ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

- Cisco повышает прибыльность партнёрского бизнеса с помощью глобальной сервисной партнёрской программы... 48

## CONTENTS

### AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

- Voronova E.V.** Application of heat pump plans tin an air conditioning systems for a mine grain dryer ..... 3
- Brzhozovskiy B.M., Zakharov O.V.** Disk tool profiling for the helical surfaces processing in the matlab surrounding ..... 7
- Reshetnyak E.P.** Discrete adaptive syntheses of the biochemical reactor control system with modal control signals valuation ..... 12

### MODERN TECHNOLOGIES

- Ke Fan, Neusypin K.A.** Signals preliminary filtration algorithm of the flying devices navigation systems ..... 16
- Degtyarev Yu.I.** Generalized algorithm for polyvalent authority valuation of the technological platforms and other complex objects ..... 19
- Shiryalkin A.F., Kobelev S.A., Ugasin A.N., Makhitko V.P.** Taxonomic structure forming of the machine parts classification for automation of the production technical preparation ..... 31
- Alenin A.A.** Conceal information transmission reveal in the sound files ..... 38
- Solovyov A.S., Vorobkalov P.N.** Evolutional optimization in the tasks of the casting technology ..... 41

### EXHIBITIONS AND PRESENTATIONS

- Cisco raises partner business profitability by means of the worldwide service partner program ..... 48

**Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу: (499) 269 4897, по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефоны для справок: (499) 269 6600, 269 5298**

Художественный редактор *Галицына Т.Н.*  
Компьютерный набор *Путилов В.Н.*  
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А., Веремеев С.В.*

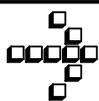
Сдано в набор 30.07.12. Подписано в печать 27.09.12.  
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. Цена свободная

Набрано в ФГБНУ «Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»  
Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13. Тел.: (499) 795 1789

Отпечатано в ООО «Белый ветер»  
115407, Москва, Нагатинская наб., 54

**Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Автоматизация и современные технологии» обязательна.  
За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель**

**ООО «Издательство Машиностроение»,  
«Автоматизация и современные технологии», 2012 г.**



УДК 621.574: 631.365.22

**Е.В. Воронова**, канд.техн.наук  
(Воронежский государственный университет инженерных технологий)  
e-lena\_B@inbox.ru

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ШАХТНЫХ ЗЕРНОСУШИЛОК

*Приведены результаты исследований в области разработки энергосберегающей технологии для сушки зерна кондиционированным воздухом с применением различных схем теплонасосных установок. Обоснована целесообразность использования рекуперативного теплообмена между теплоносителями разного температурного потенциала в контуре рециркуляции сушильного агента, а также размораживания секции испарителя, работающей в режиме регенерации, отработанным сушильным агентом.*

**Ключевые слова:** теплонасосная установка, зерносушилка, теплота, сушильный агент, низкотемпературная сушка, хладагент, энергосбережение, температура.

*Research results in the field of energy saving technology development for grain drying by the conditioned air with various schemes application of heat pump plans are adduced. Utilization expediency of recuperative heat exchange between heat-carriers with different temperature potential in a drying agent recirculation contour, and also evaporator section defrosting, working in a regeneration mode, via an waste drying agent is substantiated.*

**Key words:** heat pump plans, grain dryer, warmth, drying agent, low-temperature dryer, cooling agent, energy saving, temperature.

**Введение.** Современные тенденции развития теории сушки подготовили условия для научного подхода к созданию новых энергосберегающих технологий сушки зерна в замкнутом цикле сушильного агента при наиболее рациональных с энергетической точки зрения схемах подключения теплонасосной установки. Представляется, что именно это направление позволит повысить энергетическую эффективность процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках. Они достаточно просты в обслуживании и удобны в эксплуатации.

Шахтные прямоточные зерносушилки имеют непрерывный режим работы. В сушильной шахте под действием силы тяжести зерно движется сверху вниз и пронизывается агентом сушки. Зерно движется сплошной массой со скоростью, определяемой работой выпускного механизма периодического или непрерывного действия. Производительность шахтных зерносушилок колеблется от 1 до 50 т/ч.

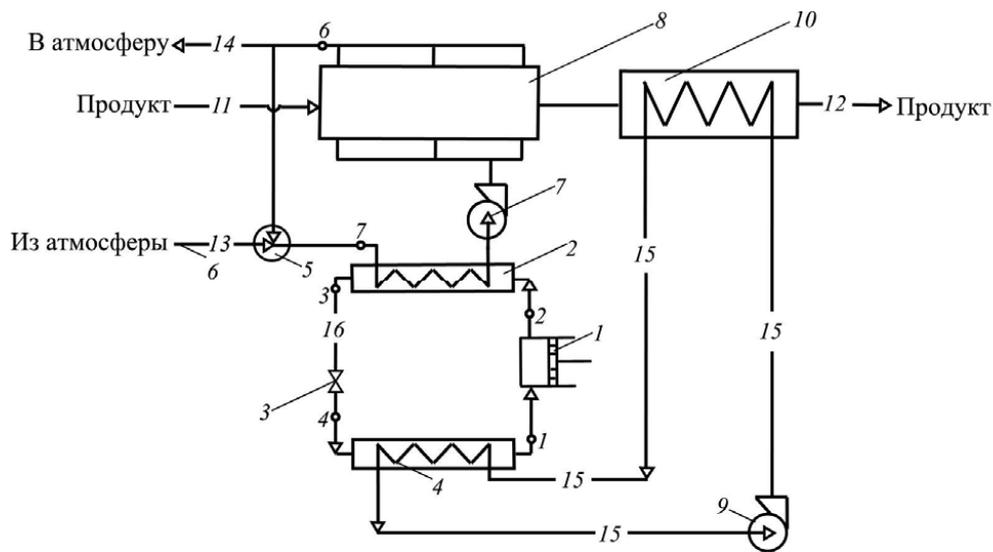
Эксплуатируемые в настоящее время шахтные зерносушилки зачастую не используют теплоту сбрасываемых (отработанных) потоков сушильного агента и образовавшегося при сушке водяного пара. Между тем рекуперация этой теплоты

позволяет существенно повысить экономичность сушильных установок.

Отработанные сушильные агенты, уходящие из зерносушилок, обладают значительной энтальпией, что обуславливает целесообразность использования их как источников вторичных ресурсов. В отработанных сушильных агентах содержится значительный объем пара, при конденсации которого выделяется соответствующая теплота при высоких значениях коэффициента теплообмена. Так, например, прирост энтальпии уходящего сушильного агента за счёт теплоты содержащегося в нём пара составляет примерно 2000 – 8400 кДж/ч для зерносушилок различных типов.

Отработанный влажный воздух промышленных зерносушильных установок выводится из сушильной камеры с температурой от 30 до 70 °С, неся с собой теплоту, затраченную на испарение влаги. Традиционно утилизацию этой теплоты осуществляют либо частичной рециркуляцией воздуха, либо применением теплообменника-рекуператора.

**Основная часть.** Рециркуляционные или рекуперативные системы используются для обеспечения режимов низкотемпературной сушки [1, 2]. Однако такие системы не способны обеспечить



**Рис. 1. Принципиальная схема теплонасосной установки:**

1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – регулирующий вентиль; 4 – испаритель; 5 – узел смешивания; 6 – патрубок ввода атмосферного воздуха; 7, 9 – вентиляторы; 8 – сушилка; 10 – охладитель высушенного продукта; потоки: 11 – влажный продукт; 12 – высушенный продукт; 13 – свежий сушильный агент; 14 – отработанный сушильный агент; 15 – рециркуляционный сушильный агент; 16 – жидкий хладагент

проведение «мягких» режимов сушки с регулированием температуры и относительной влажности воздуха в сушильной камере в течение всего расчётного времени сушки. Такие режимы могут быть обеспечены только при использовании тепловых насосных устройств (ТНСУ) [1, 3], которые в последние годы всё более широко применяют.

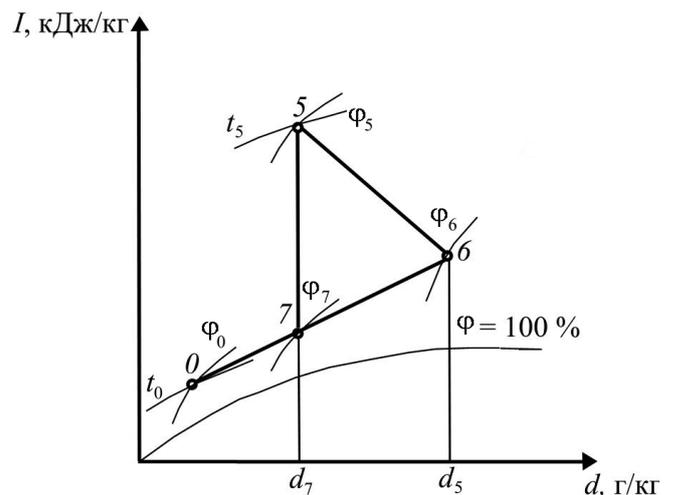
ТНСУ при использовании и рекуперации теплоты позволяют довести сушильные установки до высокого энергетического совершенства [3, 4]. Теплонасосная установка работает аналогично холодильной компрессионной машине по термодинамическому циклу, обратному тепловому двигателю. В ТНСУ теплота внешней среды (наружный воздух или отработанный сушильный агент) в результате затраты механической энергии в компрессоре переходит от низкого температурного потенциала на более высокий температурный уровень рабочего сушильного агента.

Теплонасосные установки могут работать в режиме полностью замкнутого цикла или с выбросом части отработанного воздуха. Однако при подаче в испаритель только наружного воздуха энергетическая эффективность применения ТНСУ снижается и возрастает вероятность обмораживания испарителя.

Принципиальная блок-схема теплонасосной сушильной установки с воздушным теплообменником-рекуператором и термодинамическое изображение на диаграмме  $I-d$  происходящих в ней процессов представлены на рис. 1 и 2. Воздух из окружающей среды вентилятором прокачивается

через нагреватель-конденсатор теплового насоса и подаётся в сушильную камеру, откуда после охлаждения и насыщения влагой продукта выбрасывается в окружающую среду.

Преимуществом такой системы является независимость работы теплового насоса, так как ис-



**Рис. 2.  $I-d$  диаграмма термодинамического изображения процессов:**

0 – 7, 7 – 5 – нагревание сушильного агента до требуемой температуры соответственно в узле смешивания и конденсаторе; 5, 6 – охлаждение и увлажнение сушильного агента в сушилке;  $\phi$  – влажность;  $t$  – температура

точник низкопотенциальной теплоты не связан с сушильной камерой.

Недостатком системы является невозможность регулирования относительной влажности воздуха и его влагосодержания, так как атмосферный воздух нагревается при постоянном влагосодержании.

Нагретый при охлаждении конденсатора 2, воздух вентилятором 7 направляется в сушилку 8, где увлажняется. Отработанный сушильный агент выводится из сушилки, частично смешивается с атмосферным воздухом, подводимым по патрубкам 6, и возвращается в конденсатор 2 [3].

Охлаждённый в результате кипения хладагента в испарителе 4, воздух направляется вентилятором 9 в охладитель 10, где он нагревается, охлаждая продукт, после чего поступает в испаритель.

Повысить эффективность ТНСУ с замкнутым контуром циркуляции сушильного агента можно введением теплообменника-рекуператора на потоке сушильного агента между конденсатором и испарителем (рис. 1), что позволяет использовать теплоту сбрасываемого из сушилки потока [2, 3].

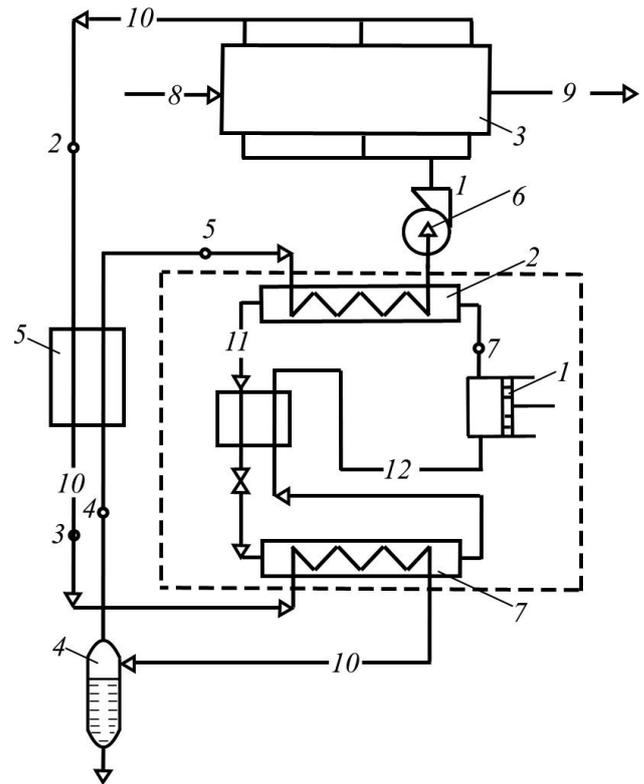
Отработанный в сушилке воздух направляется в теплообменник-рекуператор, где охлаждается за счёт нагревания обратного потока, поступает в испаритель теплового насоса, охлаждается до температуры точки росы. Сконденсированная из воздуха влага отделяется в сепараторе. Осушенный таким образом воздух нагревается в теплообменнике-рекуператоре за счёт охлаждения прямого потока и поступает в конденсатор, где нагревается до требуемой температуры за счёт отвода теплоты при конденсации хладагента.

Рекуперация теплоты сбрасываемого из сушилки воздуха в теплообменнике-рекуператоре позволяет уменьшить тепловую нагрузку на конденсатор теплового насоса, что снизит потребляемую мощность компрессором теплового насоса.

Для обезвоживания продуктов, сушка которых в соответствии с технологическим регламентом должна проводиться в нескольких секциях сушилки при разных температурах сушильного агента, а также для обеспечения возможности сушки в одной установке двух продуктов, требующих неодинаковых температурных режимов в сушилке, разработана ТНСУ с двухсекционным конденсатором (рис. 3) [3].

В этой установке предусмотрены рециркуляция сбрасываемого сушильного агента высокого температурного потенциала и рекуперация теплоты отработанного сушильного агента низкого температурного потенциала. В связи с необходимостью обеспечения в ТНСУ высокой производительности в схеме установки используется тепловой насос с турбокомпрессором.

Установка работает следующим образом. Сушильный агент более высокого температурного

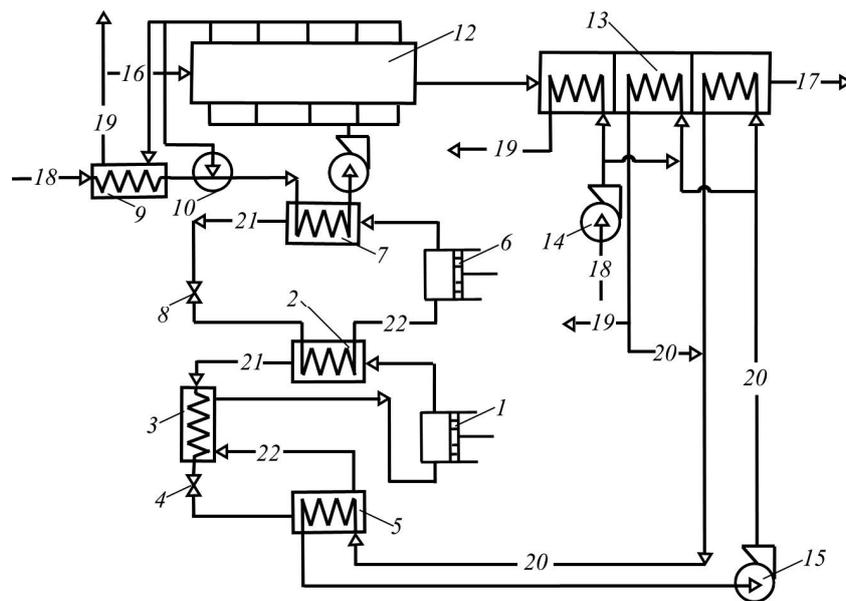


**Рис 3. Схема теплонасосной установки с замкнутым контуром циркуляции сушильного агента:**

1 – тепловой насос; 2 – конденсатор; 3 – сушилка; 4 – влагоотделитель; 5 – теплообменник-рекуператор; 6 – вентилятор; 7 – испаритель; потоки: 8 – влажный продукт; 9 – высушенный продукт; 10 – рециркуляционный сушильный агент; 11 – жидкий хладагент; 12 – пары хладагента

потенциала нагревается последовательно в секциях конденсатора 2 и направляется в сушилку 3, где увлажняется и охлаждается. Отработанный сушильный агент, смешиваясь со свежей порцией воздуха, осушается. Сушильный агент более низкого температурного потенциала вентилятором 6 направляется в сушилку, а затем в испаритель 7 для рекуперации теплоты, что позволяет осуществлять кипение рабочего вещества при более высокой температуре.

Повышение эффективности ТНСУ может быть достигнуто также при предварительном нагревании высушиваемого продукта за счёт теплоты конденсации рабочего вещества тепловой трубы. Предварительное нагревание продукта позволяет повысить производительность установки на 35–40%, а использование теплообменника с тепловыми трубами позволяет снизить продолжительность предварительного нагревания продукта (за счёт увеличения коэффициента теплоотдачи). Следует отметить, что такой теплообменник имеет мень-



**Рис. 4. Теплонасосная установка с каскадным тепловым насосом:**

1, 6 – компрессоры; 2 – конденсатор – испаритель; 3 – регенеративный теплообменник; 4, 8 – регулирующие вентили; 5 – испаритель; 7 – конденсатор; 9 – теплообменник; 10 – узел смешивания; 11, 14, 15 – вентиляторы; 12 – сушилка; 13 – охладитель; потоки: 16 – влажный продукт; 17 – высушенный продукт; 18 – свежий сушильный агент; 19 – отработанный сушильный агент; 20 – рециркуляционный сушильный агент; 21 – жидкий хладагент; 22 – пары хладагента

шие габаритные размеры. Меняя рабочее вещество тепловой трубы, можно нагревать продукт до требуемой температуры.

Значительный интерес представляют каскадные ТНСУ, в которых сушильный агент нагревается до высоких температур в соответствующем каскаде теплового насоса (рис. 4) [1].

В ТНСУ с каскадным тепловым насосом атмосферный воздух поступает в предварительный теплообменник 9, нагревается за счёт рекуперации теплоты сбрасываемого воздуха, после чего смешивается с рециркулирующей частью сушильного агента в узле смешивания 10, нагревается и направляется в конденсатор 7, где нагревается до температуры, регламентируемой требованиями на сушку продуктов, и подаётся в сушилку 12 вентилятором 11.

После сушилки 12 воздух разделяется на две части, одна из которых направляется в узел смешивания 10, а другая – в предварительный теплообменник 9 для нагревания входящего потока сушильного агента.

Известно, что температура сушильного агента, нагреваемого в тепловом насосе, обусловлена температурой конденсации рабочего вещества, которая, в свою очередь, зависит от его давления конденсации. Для получения высоких температур сушильного агента ( $t_{c,ar} > 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в рассмотренных установках необходимо значительное увеличение

давления конденсации при фиксированном давлении всасывания рабочего вещества в компрессор, что приводит к возрастанию степени повышения давления, снижению объёмных показателей компрессора и уменьшению экономичности теплового насоса.

Рассмотрим схему подключения ТНСУ, в которой пары хладагента (фреона) сжимаются компрессором до давления конденсации, в конденсаторе конденсируются с выделением теплоты, используемой для нагрева сушильного агента. Затем жидкий хладагент дросселируется через терморегулирующий вентиль, доводится до давления испарения и испаряется в испарителе с выделением холода, который используется для охлаждения и конденсации сушильного агента. Пары хладагента отводятся в компрессор, сжимаются, и термодинамический цикл повторяется. В данной схеме за счёт установки теплообменника-рекуператора на потоке сушильного агента между испарителем и конденсатором рационально используется теплота отработанного воздуха, снижается тепловая нагрузка на рабочую секцию испарителя и на конденсатор и как следствие уменьшается мощность привода компрессора. Кроме этого, снижаются энергозатраты на подогрев сушильного агента в калорифере, поскольку осуществляется его предварительный подогрев в конденсаторе теплового насоса. Снижение времени достигается

за счёт использования в качестве сушильного агента осушенного воздуха с пониженным влажностным содержанием [5].

**Заключение.** Оценка технологий и техники сушки с различными схемами подключения ТНСУ в пищевой и перерабатывающей промышленности показывает, что реализация известных способов энергосбережения позволяет получить экономию до 30 % энергии и до 50 % металла [1, 3].

Вместе с тем, повышение энергетической эффективности зерносушилок за счёт совершенствования систем кондиционирования отработанного сушильного агента в контуре рециркуляции остаётся важной и актуальной задачей. Поиск неиспользованных резервов рекуперации и утилизации теплоты отработанного сушильного агента предусматривает научное обоснование новых технологий энергосбережения в ТНСУ.

### *Библиографические ссылки*

1. **Кретов И.Т., Шевцов А.А., Шахов С.В.** Алгоритм функционирования системы управления сушильной установкой с рециркуляционными потоками // Известия вузов. Пищевая технология. 1996. № 5–6. С. 52–55.
2. **Муштаев В.И., Ульянов В.М.** Сушка дисперсных материалов. М.: Химия, 1988. 352 с.
3. **Шевцов А.А., Евдокимов А.В., Зотов А.Н.** Способ автоматического управления процессом сушки // Патент России № 2204097. 2003. Бюл. № 13.
4. **Кретов И.Т., Шевцов А.А., Лакомов И.В.** Программно-логические функции системы управления теплонасосной сушильной установкой // Известия вузов. Пищевая технология. 1998. № 4. С. 69–72.
5. **Шевцов А.А., Остриков А.Н., Бритиков Д.А., Фурсова (Воронова) Е.В.** Способ стабилизации термовлажностных характеристик зерна при его сушке и хранении // Патент России № 2005133720. 2007. Бюл. № 20.

УДК 621.9

**Б.М. Бржозовский**, д-р техн. наук, проф., **О.В. Захаров**, канд. техн. наук, доц.  
(Саратовский государственный технический университет)

zov17@mail.ru

### **ПРОФИЛИРОВАНИЕ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В СРЕДЕ МАТЛАВ**

*Представлена методика численного профилирования дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей, ориентированная на применение расчётно-программной среды Matlab.*

**Ключевые слова:** профилирование, винтовая поверхность, дисковый инструмент.

*Method of the disk tool numerical profiling for the helical surfaces processing oriented to the application of the Matlab accounting-programm surrounding is introduced.*

**Key words:** profiling, helical surface, disk tool.

Задача профилирования производящей поверхности дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей (ВП) решается различными методами, которые условно можно разделить на три группы – графические, аналитические и графоаналитические. Графические методы [1] имеют низкую точность расчётов и большую трудоёмкость построений, поэтому в настоящее время в значительной степени утратили актуальность. Аналитические методы [2 и 3], построенные на свойствах линий касания поверхностей и использующие нормали или касательные, обладают высокой точностью, но при этом не лишены недостатков. Во-первых, требуются предварительные расчёты углов касательных для всех точек профиля ВП, что усложняет ввод исходной информации. Во-вторых, при решении уравнения касания

необходимо анализировать интервал поиска корней для выбора требуемого. В-третьих, формальное применение аналитических методов не гарантирует получение заданного профиля ВП, так как может иметь место подрезание, для исключения которого приходится решать так называемую обратную задачу профилирования. Графоаналитические методы, например совмещённых сечений [4], призваны сочетать достоинства первых двух групп, т. е. обеспечивать достаточную точность при хорошей наглядности. Перспективность графоаналитических методов увеличивается при использовании современных САД-программ. Данные методы описаны в работах [5 и 6].

В особую группу следует выделить так называемые численные методы профилирования, которые получили практическое применение срав-



Таким образом, имея в распоряжении семейство винтовых линий в системе координат дискового инструмента, описанных уравнениями (1) и (2), можно найти профиль инструмента. Решим данную задачу, используя следующий алгоритм. Рассечём производящую поверхность инструмента системой плоскостей  $Z_{И} = C_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) и найдем в каждой из них минимальный радиус  $R_{j\min}$  из множества точек пересечения с  $i$ -ми винтовыми линиями. Для этого решаем последнее уравнение системы (2) относительно  $\varphi$  численным методом (после подстановки выражений (1) оно будет трансцендентным) для всех  $i$ -х винтовых линий. Затем подставляем найденные значения  $\varphi$  в первое и второе уравнения системы (2) и находим координаты  $X_{И}, Y_{И}$  точек, в которых винтовые линии пересеклись с плоскостью  $Z_{И} = C_j$ , обозвав линию  $ef$ .

Для нахождения радиуса  $R_{j\min}$  производящей поверхности инструмента в плоскости  $Z_{И} = C_j$  следует определить кратчайшее расстояние от оси дискового инструмента (точки  $O_{И}$ ) до найденных точек на кривой  $ef$ :

$$R_{j\min} = \min\{R_j\} = \min\{\sqrt{X_{И}^2 + Y_{И}^2}\}_j. \quad (3)$$

Таким образом, перебрав все значения  $j=(1, \dots, m)$ , получаем осевое сечение  $C-C$  производящей поверхности дискового инструмента в цилиндрических координатах:

$$\left. \begin{aligned} Z_{И} &= C_j; \\ R_{И} &= R_{j\min}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Приведённая методика не опирается на дифференциальные характеристики взаимно огибаемых поверхностей (касательная, нормаль). Поэтому профиль инструмента определяется однозначно, и не требуется дополнительный анализ полученных результатов. Достоинством рассмотренного метода профилирования является гарантированное отсутствие подрезания профиля ВП.

Общий алгоритм профилирования дискового инструмента для обработки ВП включает решение ряда дополнительных задач и построен с учётом специфики расчётно-программной среды Matlab (рис. 2). Во-первых, точность определения текущего радиуса производящей поверхности при прочих равных условиях зависит от числа  $n$  точек, представляющих кривую  $ef$  сечения ВП, и от характера их расположения относительно оси

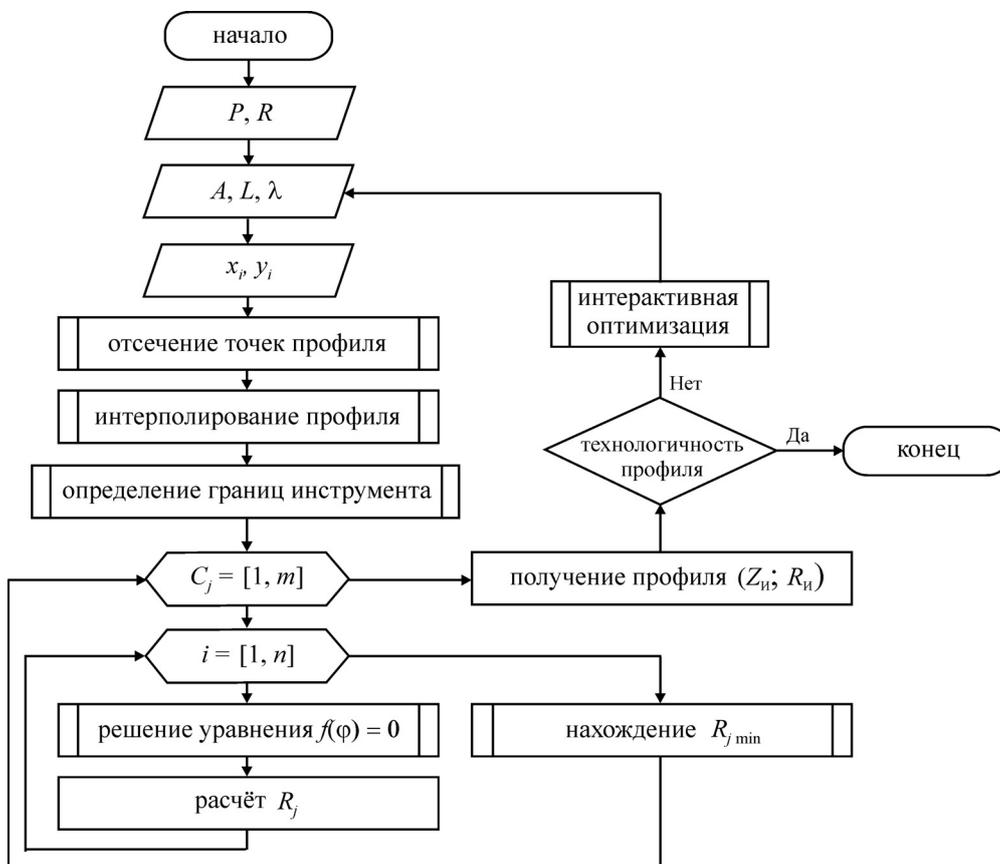


Рис. 2. Алгоритм профилирования

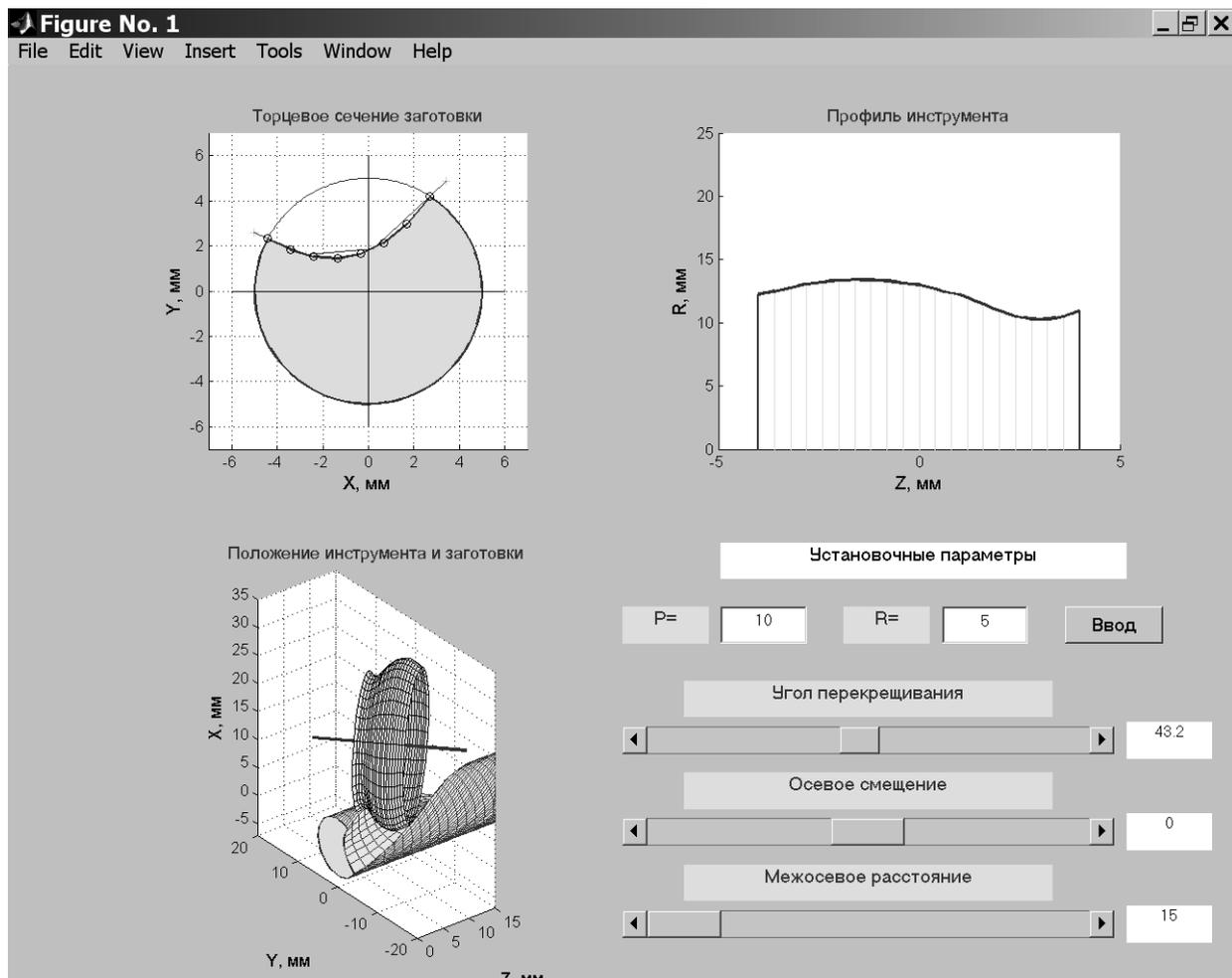


Рис. 3. Пример профилирования в среде Matlab

дискового инструмента. Поэтому предусмотрена интерполяция профиля ВП кубическим сплайном. Во-вторых, для удобства пользователя, кроме загрузки данных из сохранённого файла, возможен интерактивный ввод профиля ВП с помощью «сколки» мышью на экране. Причём в процессе ввода автоматически осуществляется отсеечение точек, выходящих за радиальный размер заготовки.

Отдельную задачу представляет собой определение границ режущей части дискового инструмента, требуемое для задания диапазона варьирования  $C_j$ . В общем случае необходимо учитывать тот факт, что одна часть инструмента профилирует ВП, а другая только удаляет припуск с заготовки. Границы производящей поверхности  $C-C$  можно найти различными методами. Один из наиболее надёжных заключается в установлении аппликат точек пересечения 1-й и  $n$ -й винтовых линий с осевой плоскостью инструмента, которые имеют минимальный радиус. Аппликаты точек находят по третьему уравнению системы (2) при изменении угла  $\varphi$  в уравнениях (1) в диапазо-

не примерно  $\pm 45^\circ$ . Если точка профиля ВП лежит на части производящей поверхности, обращённой в сторону подачи инструмента, то её контакт с заготовкой в этой точке не заканчивается. Поэтому данную часть профиля дополняют по технологическим соображениям отрезком прямой.

В разработанной программе в среде Matlab (рис. 3) задание параметров установки инструмента относительно заготовки реализовано интерактивно, эти параметры выведены на экран в виде полос прокрутки, и их изменение сопровождается пересчётом профиля и выводом новых данных на экран. В результате можно визуально убедиться в отсутствии подрезания, оценить предельное значение профильного угла сечения, степень заострения профиля и его глубину. Если полученный профиль инструмента в каком-либо отношении будет признан неудовлетворительным, то расчёт повторяется при других параметрах настройки.

Корректность приведённой методики профилирования и правильность работы программы, составленной в среде Matlab, оценивались на раз-

личных тестовых примерах и сравнительным анализом с получившими признание методиками аналитического профилирования. Разработанная программа хорошо зарекомендовала себя в учебном процессе на кафедре «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета.

Таким образом, рассмотренная методика численного профилирования дискового инструмента для обработки ВП выгодно отличается от известных, во-первых, удобством ввода исходной информации, во-вторых, гарантированным отсутствием подрезания, что делает ненужным решение обратной задачи профилирования. Реализация методики профилирования в расчётно-программной среде Matlab позволяет полностью визуализировать процесс расчётов и провести интерактивную оптимизацию параметров установки инструмента относительно заготовки для получения наиболее технологичного профиля.

### *Библиографические ссылки*

1. **Родин П.Р.** Металлорежущие инструменты. Киев: Выща школа, 1974. 400 с.
2. **Лашнев С.И.** Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей. М.: Машиностроение, 1965. 152 с.
3. **Люкшин В.С.** Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. М.: Машиностроение, 1968. 370 с.
4. **Гречишников В.А., Кирсанов Г.Н.** Проектирование дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей // Машиностроитель. 1978. № 10. С. 16–17.
5. **Щегольков Н.Н.** Алгоритм итерационного профилирования дисковых инструментов для обработки винтовых канавок // СТИН. 2003. № 6. С. 22–27.
6. **Чемборисов Н.А.** Профилирование фасонной фрезы для обработки винтовой поверхности // СТИН. 2003. № 4. С. 18–20.
7. **Погораздов В.В., Захаров О.В.** Геометро-аналитическая поддержка технологий формообразования винтовых поверхностей: учеб. пособие. Саратов: СГТУ, 2004. 72 с.



## **СПРАВОЧНИК СЛЕСАРЯ-МОНТАЖНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.**

*Серия справочников для рабочих*

**В.И. Голованов, П.П. Алексеенко, В.А. Калугин и др.**

2010 г. 640 с. ISBN 978-5-94275-528-7

**Цена 1300 р.**

Изложены основы строительно-монтажного производства, система обеспечения безопасности при выполнении монтажных работ. Даны основы и практические рекомендации по эффективной деятельности монтажных предприятий и организаций в современных рыночных отношениях. Главное внимание обращено на вопросы технологической подготовки производства, методы осуществления основных монтажных работ, приемы выполнения слесарных, сборочных и вспомогательных работ и обеспечение их безопасного производства. Приведены сведения о составе и технологической структуре процессов и операций, выполняемых при монтаже оборудования промышленных предприятий. Представлены характеристики точности, технические характеристики инструмента, машин и приспособлений, используемых монтажниками. Рассмотрены вопросы испытания и ввода оборудования в эксплуатацию, а также организации оплаты труда в монтажных организациях.

По сравнению со вторым изданием содержание справочника значительно видоизменено, а объем увеличен. Введены новые главы: «Основы строительно-монтажного производства», «Обеспечение безопасности при производстве строительно-монтажных работ», «Нормирование и оплата труда монтажников». Приведены новые виды инструментов и приспособлений и их характеристики. Дополнены отдельные главы и внесены изменения в технологию и процессы монтажа оборудования. Обновлена система стандартов и внесены соответствующие изменения в справочник.

Справочник предназначен для слесарей-монтажников промышленного и технологического оборудования, рабочих смежных специальностей, учащихся специальных учебных заведений, техникумов и колледжей.

107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru  
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98  
и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 66.0:681

**Е.П. Решетняк**, д-р техн. наук  
(Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова)  
reshetnyakEP@yandex.ru

### СИНТЕЗ ДИСКРЕТНОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ С ОЦЕНИВАНИЕМ СИГНАЛОВ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Рассмотрены дискретные линеаризованные уравнения движения, полученные на основе нелинейных уравнений биохимического реактора. Предложен алгоритм адаптации дискретной системы автоматического управления биохимическим реактором с оцениванием сигналов модального управления. Численные исследования предложенного алгоритма показали его высокую эффективность.*

**Ключевые слова:** биохимический реактор, математическая модель, система автоматического управления, оценивание сигналов и управлений, адаптивное дискретное модальное управление.

*The discrete linearized equations of movement received on the basis of the biochemical reactor nonlinear equations are considered. The adaptation algorithm of the automatic control discrete system for biochemical reactor control system with modal control signals valuation is offered. Numerical researches of the offered algorithm showed its high efficiency.*

**Key words:** biochemical reactor, mathematical model, automatic control system, signals and control valuation, discrete adaptive modal control.

**Введение.** Современное состояние методологии исследования и создания систем управления биотехнологическими процессами (СУБТП) в значительной мере характеризуется использованием не только сложных методов экспериментальной разработки, но и современных подходов к расчёту, оптимизации и проектированию этих систем. В качестве объекта управления (ОУ) в этой методологии обычно рассматривается основной аппарат биотехнологической системы – биохимический реактор (БХР). В работе [1] предложен алгоритм непрерывной адаптивной системы управления БХР, показана его достаточно высокая эффективность. При наличии ЭВМ в контуре управления актуальным становится разработка дискретных алгоритмов систем автоматического управления (САУ). Ниже предлагается дискретный алгоритм адаптивной системы управления БХР с оцениванием сигналов модального управления.

**Модели БХР с ЭВМ в контуре управления.** Появление ЭВМ в контуре управления приводит к тому, что математическая модель (ММ) САУ становится дискретно-непрерывной. Строгое описание процессов в таких системах возможно в пространстве состояний, составленном из непрерывного и дискретного субпространств. Однако наиболее простые решения задач получаются при приведении этих субпространств к одинаковой категории. Одним из распространённых на практике подходов является построение дискрет-

ных моделей на основе непрерывных моделей. При малых тактах квантования  $T_0$  разностные уравнения можно получить из дифференциальных путем дискретизации последних. В частности, дифференциалы могут приближённо заменяться разностями:  $\dot{x}(t) \cong (x_{k+1} - x_k)/T_0$ . Линеаризованные уравнения БХР в пространстве состояний в этом случае принимают вид

$$x_{k+1} = A x_k + B u_k + D f_k, \quad (1)$$

где  $A = E + T_0\Phi$ ;  $B = T_0\Gamma$ ;  $D = T_0\Psi$ ;  $\Phi$ ,  $\Gamma$ ,  $\Psi$  – матрицы состояния, управления и возмущения непрерывной модели.

Для более точного дискретного представления непрерывных ММ используют весовые функции, в частности при сигнале управления, постоянном на интервале дискретности:

$$A = e^{\Phi T_0}, \quad B = \int_0^{T_0} e^{\Phi\tau} \Gamma d\tau = \Phi^{-1}(e^{\Phi T_0} - E)\Gamma. \quad (2)$$

Сравнение переходных функций непрерывной и дискретной моделей, полученных с использованием формул (2), показал возможность достижения высокой точности их совпадения при достаточно большом периоде дискретности.

**Алгоритм дискретного модального управления.** Смысл термина «модальное» управление заключается в том, что синтезируемое управление

должно обеспечить в замкнутой системе заданное желаемое расположение нулей и полюсов передаточной функции, которое в современных методах задаётся в виде эталонной модели (ЭМ). Здесь рассмотрим задачу дискретного (фиксированного на период дискретности  $T_0$ ) управления ОУ (1). Пусть уравнение ЭМ имеет вид

$$x_{mk+1} = A_m x_{mk} + B_m u_{zk}, \quad (3)$$

где  $x_k, x_{mk} \in R^n$ ;  $u_k, u_{zk} \in R^m$ ;  $f_k \in R^v$  – векторы, для которых выполняются условия «полного соответствия модели» (ПСМ):

$$\begin{aligned} \text{rank}[B] &= \text{rank}[B\Delta A] = \text{rank}[B, B_m] = \\ &= \text{rank}[B, D] = m, \end{aligned} \quad (4)$$

тогда управление

$$u_{opt k} = B^+ (\Delta A x_k + B_m u_{zk} - D f_k) \quad (5)$$

является решением задачи синтеза МУ, обеспечивающего выполнение условия:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} e_k = \lim_{k \rightarrow \infty} (x_{mk} - x_k) = 0, \quad (6)$$

где  $\Delta A = A_m - A$ ;  $B^+$  – псевдообратная матрица матрицы  $B$ .

Запишем следующие системы уравнений с неизвестными матрицами  $A_1, A_2, A_3$ :

$$\Delta A = BA_1, B_m = BA_2, D = BA_3. \quad (7)$$

Как известно, система алгебраических уравнений имеет решение тогда и только тогда, когда ранг матрицы системы равен рангу расширенной системы. Поэтому при выполнении условий (4) матричные уравнения (7) имеют решения, а управление (5) можно записать в виде

$$\begin{aligned} u_{opt k} &= B^+ (BA_1 x_k + BA_2 u_{zk} - BA_3 f_k) = \\ &= A_1 x_k + A_2 u_{zk} - A_3 f_k \end{aligned}$$

и

$$u_{opt k} = A_1 x_k + A_2 u_{zk} - A_3 f_k.$$

В этом случае уравнение замкнутой системы (1), (5) с учётом (7) принимает вид

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= A x_k + B(A_1 x_k + A_2 u_{zk} - A_3 f_k) + D f_k = \\ &= A_m x_k + B_m u_{zk}. \end{aligned}$$

Нетрудно убедиться, что при  $x_0 = x_{m0}$  условие (6) выполняется, что и требовалось доказать.

Следует отметить, что для определения коэффициентов закона управления (ЗУ) (5) необходимо знать параметры матриц  $A, B, D$  ММ ОУ (1). В адаптивной системе их оценки  $\hat{A}, \hat{B}, \hat{D}$  могут быть получены в результате текущей идентификации. Ниже предлагается синтезировать адаптивную систему на основе оценивания непосредственно сигналов модального управления (5), а не его коэффициентов.

**Алгоритм адаптации с оцениванием сигналов модального управления.** В алгоритме адаптации на основе оценивания непосредственно непрерывных сигналов модального управления [1] оценка сигналов оптимального управления получается на выходе фильтра первого порядка. Применим этот же подход и для вывода дискретного алгоритма.

Как известно,  $Z$  – передаточная функция первого порядка с фиксатором на выходе имеет вид [3]

$$\begin{aligned} W_f(z) &= \frac{\hat{U}_{opt}(z)}{U_{opt}(z)} = \frac{z-1}{z} \Lambda_p^z \left[ \frac{a}{p(1+ap)} \right] = \\ &= \frac{(1-d)z^{-1}}{1-dz^{-1}}, \end{aligned}$$

где  $\hat{U}_{opt}(z)$  – оценка оптимального управления (7);  $a = 1/T$ ;  $T$  – постоянная времени непрерывного фильтра оценивания [1];  $z = e^{pT_0}$ ;  $d = -e^{-T_0 a}$ ;  $T_0$  – период дискретности.

Тогда можно записать:

$$\begin{aligned} \hat{U}_{opt}(z)(1-dz^{-1}) &= (1-d)z^{-1}U_{opt}(z), \text{ или} \\ \hat{U}_{opt}(z) &= dz^{-1}\hat{U}_{opt}(z) + (1-d)z^{-1}U_{opt}(z), \text{ или} \\ \hat{u}_{opt k} &= d\hat{u}_{opt k-1} + (1-d)u_{opt k-1}. \end{aligned}$$

Запишем полученную формулу с учётом ЗУ (5):

$$\begin{aligned} \hat{u}_{opt k} &= d\hat{u}_{opt k-1} + (1-d)B^+ (\Delta A x_{k-1} + \\ &+ B_m u_{zk-1} - D f_{k-1}) = \\ &= d\hat{u}_{opt k-1} + (1-d)B^+ (A_m x_{k-1} - A x_{k-1} + \\ &+ B_m u_{zk-1} - D f_{k-1} - B\hat{u}_{opt k-1} + B\hat{u}_{opt k-1}) = \\ &= d\hat{u}_{opt k-1} + (1-d)B^+ (-x_k + A_m x_{k-1} + \\ &+ B_m u_{zk-1}) + (1-d)\hat{u}_{opt k-1}. \end{aligned}$$

Таблица 1

Численные значения параметров ММ БХР

Номер режима	$\delta^0$	$y_0^0$	$\phi_{12}$	$\phi_{21}$	$\phi_{22}$	$\gamma_{11}$	$\gamma_{21}$	$\gamma_{22}$
1	0,4	10	3,36	-0,4	-3,76	-9,33	9,33	0,4
2	0,7	10	0,69	-0,7	-1,39	-7,67	7,67	0,7
3	0,8	10	0,24	-0,8	-1,04	-6	6	0,8

Таблица 2

Численные значения параметров дискретной ММ БХР

Номер режима	$\delta^0$	$y_0^0$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{21}$	$a_{22}$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{21}$	$b_{22}$
1	0,4	10	0,994	0,279	-0,03	0,681	-0,79	0,006	0,793	0,033
2	0,7	10	0,998	0,064	-0,06	0,868	-0,74	0,002	0,741	0,065
3	0,8	10	0,999	0,023	-0,08	0,9	-0,59	0,001	0,593	0,076

Таким образом, предлагаемое управление имеет вид:

$$\hat{u}_{optk} = d \hat{u}_{optk-1} + (1-d)B^+(-x_k + A_m x_{k-1} + B_m u_{zk-1}). \tag{8}$$

Этот закон управления можно считать адаптивным, если известна матрица  $B$ . Как показывают численные исследования, во многих случаях вместо неё можно использовать приближённую матрицу  $B_i$ , в которой достаточно только правильно задать структуру и знаки её коэффициентов.

**Иллюстрирующий пример.** Эффективность предложенной методики рассмотрим на примере синтеза адаптивной системы управления проточным ёмкостным БХР с мешалкой. Линеаризованные уравнения его динамического режима и эталонной модели (ЭМ) имеют вид [1]

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & 0 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta \\ y_0 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{m1} \\ \dot{x}_{m2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{m1} \\ x_{m2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -10 & 0 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_z \\ y_{0z} \end{bmatrix}, \tag{9}$$

где  $\delta$  – расход жидкой фазы через реактор;  $y_0$  – концентрация субстрата во входном потоке;  $x_1, x_2$  – текущие значения концентрации биомассы и субстрата в рабочем объёме культиватора и выходном потоке;  $\delta_z, y_{0z}$  – заданные (желаемые) значения входных сигналов;  $x_{m1}, x_{m2}$  – соответствующие выходные переменные ЭМ.

Коэффициенты уравнений (9) для трёх режимов работы БХР представлены в табл. 1.

Дискретные уравнения динамического режима БХР и ЭМ, полученные с использованием формул (2), имеют вид

$$\begin{bmatrix} x_{1k+1} \\ x_{2k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{1k} \\ x_{2k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{21} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_k \\ y_{0k} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} x_{m1k+1} \\ x_{m2k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,905 & 0 \\ 0 & 0,905 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{m1k} \\ x_{m2k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,952 & 0 \\ 0 & 0,952 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_{zk} \\ y_{0zk} \end{bmatrix}. \tag{10}$$

Коэффициенты уравнений (10) для трёх режимов работы БХР ( $T_0 = 0,1$  с) представлены в табл. 2.

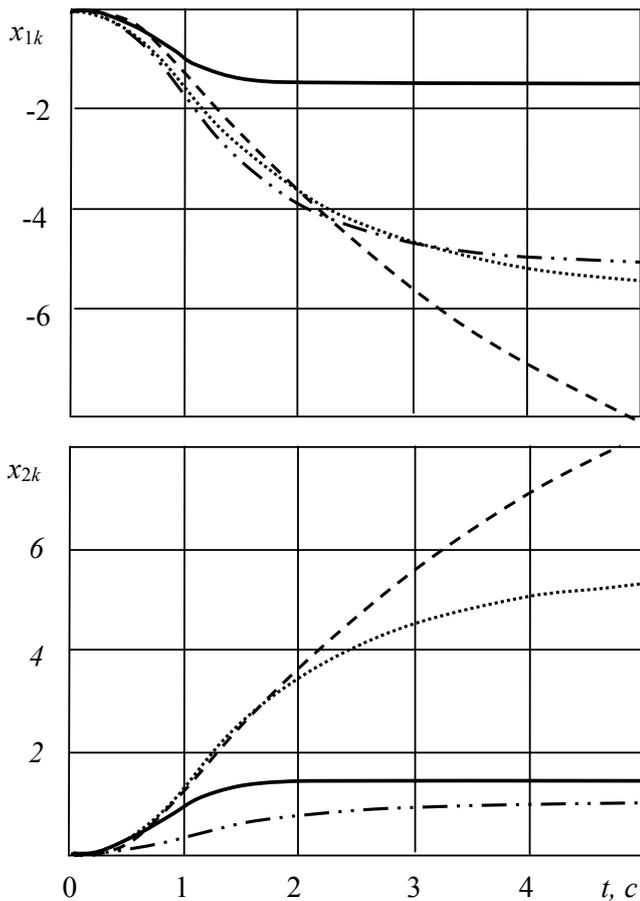
При исследовании эффективности адаптивной системы управления БХР сделаны следующие допущения:

задающие воздействия имеют вид:  $\delta_{zk} = A_{z\delta} Uh1(k)$ ;  $y_{0zk} = A_{zy} Uh1(k)$ ,

$$Uh1(k) = \begin{cases} 0, & \forall k < 0; \\ t, & \forall 0 \leq k \leq 10; \\ 1, & \forall t > 10; \end{cases} \quad A_{z\delta} = 0,5; \quad A_{zy} = 0,1;$$

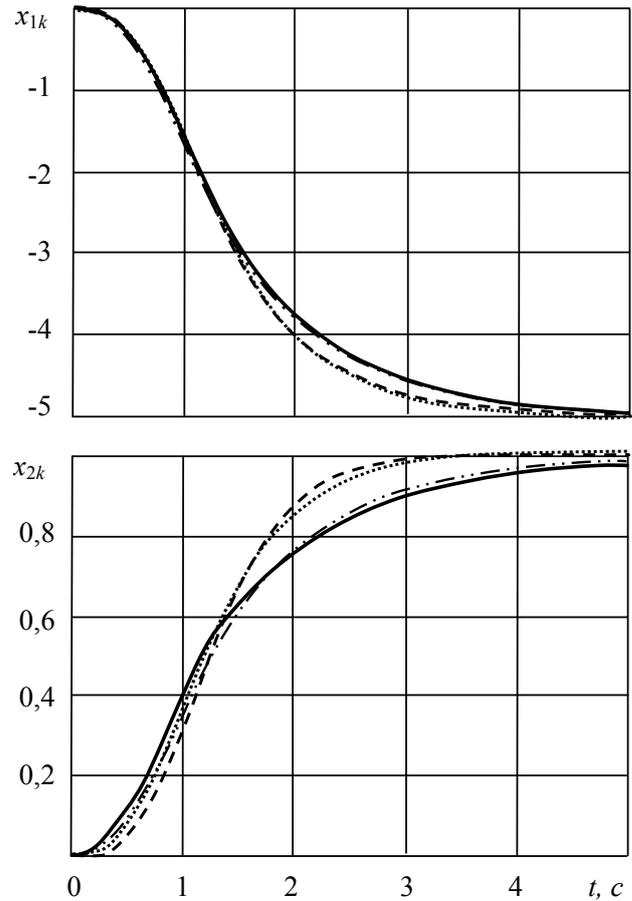
приводы управляющих входов  $\delta_k$  и  $y_{0k}$  – безынерционные; возмущения равны нулю.

Графики переходных процессов неуправляемого движения БХР для указанных выше трёх режимов его работы и ЭМ представлены на рис. 1. Как видно, динамические и статические характери-



**Рис. 1.** Переходные процессы в разомкнутой дискретной системе:

— режим № 1; ..... — режим № 2;  
 - - - - - режим № 3; - · - · - ЭМ



**Рис. 2.** Переходные процессы в адаптивной дискретной системе:

— режим № 1; ..... — режим № 2;  
 - - - - - режим № 3; - · - · - ЭМ

стики БХР существенно меняются при изменении режимов работы.

При исследовании эффективности адаптивной системы (10), (8) приняты следующие численные значения параметров:

$$a = 80 \text{ c}^{-1}, d = 0,000335;$$

$$B_i = \begin{bmatrix} -1 & 0,005 \\ 0,6 & 0,04 \end{bmatrix}, B_i^+ = \begin{bmatrix} -0,93 & 0,116 \\ 13,95 & 23,25 \end{bmatrix}.$$

Как видно, структура выбранной матрицы  $B_i$  совпадает со структурой матрицы  $B$ , численные значения её параметров подбирались так, чтобы обеспечить высокую эффективность адаптивной системы на всех режимах работы. Следует отметить, что по сравнению с непрерывным алгоритмом [1] его дискретный аналог более чувствителен к выбору параметров матрицы  $B_i$ . Результаты расчётов представлены на рис. 2.

**Заключение.** В работе в качестве алгоритма адаптивного управления БХР предложено ис-

пользовать дискретный алгоритм с оцениванием сигналов модального управления. Его высокая эффективность показана на примере численного исследования дискретной адаптивной системы управления проточным ёмкостным БХР с мешалкой на основе известной математической модели для трёх режимов работы. Направления дальнейших исследований: определение динамических характеристик и ошибок датчиков и оценка их влияния на эффективность предложенной адаптивной системы.

#### Библиографические ссылки

1. Решетняк Е.П., Комиссаров А.В., Харина И.В. Адаптивная система модального управления биохимическим реактором // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 8. С. 34–38.
2. Инженерные основы биотехнологии / Г.И. Лапшенков, К.Ю. Одинцов, Д.Г. Победимский и др.: учеб. пособие. М.: МТАТХТ им. М.В. Ломоносова, 2005. 380 с.
3. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. М.: Наука, 1976. 576 с.



УДК 681.513

**Кэ Фан**, канд. техн. наук, проф. (Юго-западный институт технической физики, г. Чэнду, КНР), **К.А. Неусьпин**, д-р техн. наук, проф. (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

### АЛГОРИТМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Исследованы алгоритмические методы коррекции инерциальных навигационных систем. Вычисление модели погрешностей навигационной системы осуществляется на борту летательного аппарата. При вычислении моделей предложено проводить предварительную фильтрацию измерительных сигналов с помощью модифицированного тренда Демарка.*

**Ключевые слова:** инерциальная навигационная система, математические модели, тренд Демарка.

*Correction algorithmic methods of the inertial navigation systems are investigated. Calculation of error model of the navigation system is carried out on an aircraft side. Preliminary filtration of the measuring signals at models calculation was offered to carry out by means of Demark modified trend.*

**Key words:** inertial navigation systems, mathematical models, Demark trend.

Летательные аппараты (ЛА) управляются с использованием информации различных навигационных систем. Наиболее популярной навигационной системой ЛА является инерциальная навигационная система (ИНС). При функционировании ИНС на достаточно длительных интервалах времени погрешности могут достигать недопустимо больших величин. Поэтому необходимо корректировать ИНС с помощью различных источников внешней навигационной информации либо компенсировать погрешности с использованием внутренних связей системы.

В современных навигационных системах обычно используются алгоритмические методы коррекции.

Алгоритмы компенсации погрешностей автономных ИНС за счёт внутренних связей системы детально разработаны и описаны в работах [1, 2]. Вектор измерений в таких алгоритмах формируется на основе сигналов с датчиков углов прецессии. ИНС, снабжённые этими алгоритмами, имеют остаточные погрешности, вызванные различными возмущающими факторами, соизмеримые с погрешностями, которые обусловлены динамическим дрейфом гиросtabilизированной платформы (ГСП).

Таким образом, когда предполагается автономная работа ИНС на всём интервале полёта ЛА, используются методы коррекции ИНС с помощью только внутренней информации.

Наиболее полная компенсация погрешностей ИНС осуществляется алгоритмической обработкой информации с ИНС и дополнительным внешним по отношению к ИНС датчиком навигационной информации. Погрешности в выходной информации системы обычно компенсируются алгоритмами оценивания. Хорошо известный фильтр Калмана [1,2] теоретически позволяет получить оптимальную оценку вектора состояния системы. В практических приложениях используются прямые адаптивные модификации фильтра Калмана [1,2], позволяющие получать нерасходящиеся оценки погрешностей ИНС.

В автономном режиме работы ИНС применяются прогнозирование и последующая компенсация погрешностей в выходном сигнале системы (если автономному режиму работы ИНС предшествовал режим коррекции от внешних измерителей) или методы формирования компенсационных сигналов, основанные на приближённом формировании угловых скоростей ГСП вокруг осей стабилизации как функции соответствующих углов прецессии [2]. Аналогичным образом формируется вектор измерений для алгоритма оценивания при коррекции автономной ИНС [2].

В практических приложениях алгоритмическая коррекция навигационной информации маневрирующего ЛА с использованием априорных математических моделей не представляется возмож-

ной, поэтому необходимо построение модели в процессе полёта.

Точность сформированного вектора измерений зависит от погрешностей информации, снимаемой с датчиков углов прецессии, и адекватности используемой модели погрешностей ГСП. Повысить точность формирования вектора измерений в схеме коррекции автономной ИНС можно построением модели ГСП в процессе функционирования автономной ИНС.

Точность корректируемых ИНС в значительной степени зависит от погрешностей внешнего источника информации и ошибок используемого алгоритма (в частности, от адекватности математической модели погрешностей ИНС).

В условиях, когда источники внешней информации отключены, корректируются навигационные системы алгоритмами экстраполяции. С помощью этих алгоритмов прогнозируются погрешности навигационной системы. Затем спрогнозированные оценки погрешностей используются в схемах коррекции [2].

Для повышения точности функционирования ИНС в автономном режиме необходимо построить математическую модель ошибок ИНС (в предшествующем корректируемом режиме), осуществить прогноз ошибок и использовать его в выходной информации для компенсации этих ошибок.

Эту задачу целесообразно решать алгоритмически на борту ЛА, так как это позволяет получить эффект с наименьшими временными и материальными затратами, используя системы современного уровня точности.

Прогнозирующие модели используются в схемах коррекции навигационных систем при исчезновении сигналов от внешних измерительных систем. При краткосрочном исчезновении выходных сигналов ИНС, GPS и других систем обычно используются априорные модели для прогнозирования полезного сигнала. В условиях длительного отсутствия сигналов от внешних измерителей априорные модели с течением времени становятся неадекватными реальному процессу изменения погрешностей ИНС. Поэтому модели погрешностей ИНС необходимо строить в процессе функционирования ЛА. Методы построения моделей известны и отличаются по точности, быстродействию и объёму машинной памяти, необходимой для реализации в БЦВМ. Наиболее простыми методами построения моделей являются различные модификации линейных трендов [2]. Более сложные методы позволяют построить высокоточные модели, но требуют большего времени. К таким методам относятся нейронные сети, алгоритмы самоорганизации и генетические алгоритмы [2–4].

Нейронные сети позволяют построить модели исследуемых объектов с достаточно высокой точностью, но требуют при этом длительного времени для реализации процесса обучения. Метод самоорганизации может быть использован в условиях минимального объёма априорной информации, а также без учёта некоторых существенных факторов. Использование подхода самоорганизации возможно в условиях превышения (в несколько раз) помех по сравнению с полезным сигналом.

Возможность прогнозирования без учёта некоторых определяющих факторов объясняется тем, что в сложных системах факторы коррелированы между собой, следовательно, измерение одного фактора содержит информацию о других факторах, связанных с измеряемым.

Работа генетического алгоритма представляет собой итерационный процесс, который продолжается до тех пор, пока не выполнится заданное количество поколений или какой-либо иной критерий останова. На каждом поколении генетического алгоритма реализуется отбор, кроссинговер и мутация.

Использование только генетического алгоритма для решения задачи неэффективно, так в этом случае поиск оптимального значения параметров аппроксимирующей функции проводится недостаточно направленно.

Найти глобальный минимум, в общем случае, достаточно трудно из-за значительного количества локальных экстремумов. Такая задача требует значительных вычислительных затрат при практически полном переборе возможных решений с заданной точностью.

Таким образом, при осуществлении коррекции ИНС для построения моделей погрешностей ИНС целесообразно использовать различные модификации генетических алгоритмов.

Точность нейронных сетей, алгоритмов самоорганизации и генетических алгоритмов в большей степени зависит от качества измерительных выборок. Сигналы с датчиков углов прецессии содержат высокочастотную шумовую помеху. При коррекции ИНС от внешних измерителей используются различные радиолокационные системы, ГЛОНАСС и др., выходные сигналы которых также имеют ярко выраженную высокочастотную случайную помеху. Наличие в измерительных выборках случайных высокочастотных помех и аномальных измерений существенно снижает точность построения моделей. Повышение качества измерительных выборок достигается алгоритмическим сглаживанием измеряемого сигнала [5]. Для этого обычно используются методы предварительной фильтрации [5].

Для предварительной фильтрации измерительных сигналов предложено использовать модифицированные тренды Демарка [6].

Простые тренды (типа трендов Т. Демарка) используются в условиях ограниченных измерительных выборок. При увеличении величины измерительной выборки тренды усложняются методом самоорганизации [6]. Так как ЛА совершает манёвры, а иногда интенсивно маневрирует в условиях противодействия, используемая измерительная выборка ограничивается с помощью «окна Язвинского» [7]. Измерительная выборка содержит некоторое количество последних измерений. При поступлении новых измерений предыдущие измерения, выходящие за пределы окна Язвинского, отбрасываются и таким образом предотвращают влияние эффекта «старения измерений». Величина измерительной выборки внутри окна Язвинского определяется из практических соображений.

Линейные тренды Демарка отличаются простотой и позволяют определить тенденцию изменения исследуемого процесса – погрешностей измерительной системы. Такие тренды можно использовать для прогноза погрешностей на очень коротких интервалах. Увеличить интервал прогноза можно более точным определением точек Демарка, на основе которых строится тренд. Использование для этого выборок разной величины позволяет повысить точность интерполяционного тренда [6].

В отличие от классических трендов Демарка предлагаемая их модификация предполагает использование не двух измерений, а короткую измерительную выборку. Предполагается, что окно Язвинского включает несколько коротких измерительных выборок.

Тренды подвергаются селекции. Структура модифицированных трендов Демарка имеет вид [6]

$$x_k = x_{k-1} + p_{k-1},$$

где  $x_k$  – переменная состояния динамического объекта;  $p_{k-1}$  – коэффициент или функция, характеризующая крутизну тренда.

Коэффициентом крутизны тренда определяется тенденция происходящих изменений переменной состояния динамического объекта. Использование вместо коэффициента функции, характеризующей крутизну тренда, позволяет уточнить

характер происходящих изменений. Функции выбираются из стандартного набора базисных функций [3].

Таким образом, предложен простой алгоритм предварительной фильтрации или сглаживания, являющийся модификацией тренда Демарка, с помощью подхода самоорганизации. Тренды Демарка усложняются, а затем подвергаются селекции с помощью одного критерия, например критерия регулярности [4]. После обработки измерительных выборок, на основе которых строятся тренды, получены сглаженные измерительные сигналы. При использовании в алгоритмах вторичной обработки информации (нейросетях, генетических алгоритмах и др.) сглаженная измерительная выборка позволяет получить математическую модель с большей точностью за более короткое время.

Классические тренды Демарка отличаются простотой и надёжностью, позволяют в условиях ограниченных измерительных выборок, даже при больших величинах шумов, определить тенденцию изменения исследуемого процесса (погрешностей измерительной системы).

Модифицированные тренды основаны на классических трендах Демарка с добавлением нелинейной составляющей, определяемой методом самоорганизации с одним рядом селекции.

#### *Библиографические ссылки*

1. Агеев В.М., Павлова Н.В. Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование. М.: Машиностроение, 1990. 375 с.
2. Неусыпин К.А. Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: Изд-во МГОУ, 2009. 500 с.
3. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.Я. Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев: Техника, 1985. 320 с.
4. Пролетарский А.В., Неусыпин К.А., Власов С.А. Метод повышения точности автономных навигационных систем // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 2. С. 14–18.
5. Салычев О.С. Скалярное оценивание многомерных динамических систем. М.: Машиностроение, 1987. 216 с.
6. Ke Fang, Neusipin K.A. Algorithms in intelligent control systems of aerocrafts. Cina, Chengdu: Sichuan university press, 2011. 162 p.
7. Jazwinski A.H. Stochastic Processes and Filtering Theory. N. Y.: 1970. 376 p.

УДК 658.512

**Ю.И. Дегтярёв**, д-р техн. наук, проф.

(Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, г. Москва)

admin@extech.ru

## ОБОБЩЁННЫЙ АЛГОРИТМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ И ДРУГИХ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Рассмотрены методические подходы к экспертизе сложных объектов в условиях ограниченности исходной информации, предложен обобщённый алгоритм получения оценочных результатов и их представления в наглядной (графической) форме.*

**Ключевые слова:** научно-техническая экспертиза, сложные объекты, обработка и представление экспертных данных, алгоритм оценки объектов.

*Methodological approaches to the complex objects expertise under initial information limitedness conditions are considered. Generalized algorithm for valuation results obtaining and their representation in graphic form is proposed.*

**Key words:** scientific and technical expertise, complex objects, expert data processing and representation, objects valuation algorithm.

Проблемы совершенствования системы государственной научно-технической экспертизы сохраняет свою актуальность в течение многих лет, что объясняется, в частности, постоянным усложнением экспертируемых объектов, связанным с изменениями тенденций развития сферы науки, техники, технологий, а также принципов организации соответствующих видов деятельности.

При выборе способов организации и проведения экспертизы должны внимательно учитываться особенности изучаемых и оцениваемых объектов во избежание неверных постановок вопросов экспертам, ошибочных интерпретаций ответов, потерь получаемой информации при её обработке и представлении, анализе результатов. Эти моменты приобретают решающее значение по мере роста трудностей описания самих экспертируемых (оцениваемых) объектов и их характерных свойств. Кроме того, это сужает круг компетентных экспертов, которых необходимо привлекать к рассматриваемой работе.

В последнее время большой интерес вызывает идея создания технологических платформ, практическая реализация которой уже началась в странах «Большой семёрки», что вызвало ответную реакцию управленческих структур в Российской Федерации, прилагающих значительные усилия для активизации инновационной деятельности, расширения возможностей коммерциализации результатов перспективных разработок, привлечения инвестиций в развивающиеся отрасли производства и т. д. Наблюдается явное стремление следовать примеру развитых стран при сохраняющемся своеобразии российских подходов к

преодолению инфраструктурных, организационных, финансовых проблем.

Несмотря на складывающиеся обстоятельства, технологические платформы (ТП) становятся сегодня главным средством (механизмом, способом) совершенствования отношений между существующими и потенциальными участниками процесса становления современного научно-технического, технологического, производственного комплекса Российской Федерации (РФ).

Следует заметить, что появление, развитие и осуществление в том или ином виде привлекательной идеи ТП не привело пока к чёткому определению понятия «технологическая платформа», заменяемому общими рассуждениями о необходимости укрепления частно-государственного партнёрства, улучшения взаимодействия науки и бизнеса, выявления приоритетов развития, координации усилий в инновационной, производственной, образовательной областях деятельности.

В более конкретном представлении каждая ТП относится к категории объектов, характеризующихся масштабностью замысла и единством цели их создания, связанностью входящих в них компонентов, многоплановостью возникающих и решаемых задач, многочисленностью реализуемых проектов, проблематичностью точного предсказания конечных результатов и другими подобными особенностями. Не случайно в Перечне технологических платформ, утверждённом решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 01.04.11 г., протокол № 2, наименования ТП даны предельно обобщённо — «Медицина будущего», «Био-

энергетика», «Радиационные технологии», «Освоение океана» и т. д. Аналогичная картина наблюдается и в зарубежных обозначениях ТП – «Пища для жизни», «Заводы будущего», «Инновационная медицина для Европы». В итоге все эти моменты должны непосредственно влиять на подходы к экспертизе предложений и намерений создать ту или иную ТП и реализовать её замысел на заранее определённом уровне результативности.

В качестве исходных методических позиций и предпосылок для проведения экспертно-оценочной работы применительно к ТП целесообразно принять следующие положения:

ТП формируется как отражение государственных и общественных потребностей в устойчивом социально-экономическом развитии, обеспечении безопасности и приемлемого качества жизни, сохранении и возможном возобновлении ресурсной базы, охране среды обитания, противостояния внешним и внутренним угрозам;

ТП являются по своей сути большими системами, характеризующимися значительным количеством входящих в них элементов и подсистем, сложностью и разветвлённостью структурных связей и, главное, невозможностью дать подробное описание их свойств и особенностей, что должно неизбежно привести к расхождениям между декларируемой и получаемой результативностью;

участие в разработках ТП представляет собой разновидность системной деятельности, предполагающей наличие определённых правил поведения юридических и физических лиц, оказывающих непосредственное влияние на исход принимаемых усилий (соблюдение договорённостей, производственной и финансовой дисциплины допустимых форм конкуренции, возникающих иерархий и т. д.);

ТП вовлекают в конкретную профильную работу многих учёных, специалистов, представителей бизнес-сообщества, что создаёт трудности с подбором квалифицированных экспертов, которые могут оказаться зависимыми от разных обстоятельств, структур, обязательств и прочих ограничивающих факторов;

ТП как объект экспертизы должны оцениваться с разных точек зрения, отражающих системные (качественные, неформальные) характеристики платформ, ориентированные на конкретизацию перспектив развития выбранных направлений, ожидаемых результатов предпринимаемых действий, требуемых ресурсных затрат для достижения поставленных целей (триада – перспективность, результативность, реализуемость);

методическую основу экспертизы ТП в условиях неполноты исходной информации и существ-

ующей опасности непредвиденных осложнений могут составить:

предварительная самооценка предложений, программ, проектов, относящихся к ТП, их заявителями в интересах более чёткой и ответственной проработки вариантов решения поставленных задач;

подготовка вопросов к экспертам с подсказанными вариантами ответов для уточнения направленности оценок и создания предпосылок к возможным сравнениям одних ТП с другими;

использование оценочных приёмов, учитывающих предпочтение заказчика экспертизы и вносящих тем самым определённые (и обоснованные) коррективы в сформированные экспертные заключения;

получение экспресс-оценок ТП, отражающих в сжатом виде все имеющиеся (или накопленные) сведения о них и формируемых по согласованному с заказчиком экспертизы правилам;

объединение ТП в однородные группы (по тем или иным признакам) и выявления в них «лидеров» в целях исключения дублирования исследований и разработок, концентрации ресурсов на «главных направлениях», выстраивания базовых (унифицированных) научно-производственных, технологических рыночных цепочек, обеспечения окупаемости произведенных затрат;

принятие решений по итогам экспертного оценивания ТП основывается на установлении предпочтений, отдаваемых каким-то из этих ТП (платформа А предпочтительнее платформы В или А р В), причём инструментом сравнений здесь служат порядковые (ранговые) шкалы, позволяющие констатировать факт А р В, но не указывать степень (уровень) предпочтения (например, А «лучше» В в 1,5 раза или на 50 %), что приводит к необходимости поиска специализированных приёмов обработки и отображения экспертной информации.

Каждая из названных методических позиций так или иначе отражает сложившиеся представления о роли и месте технологических платформ в современных экономиках развитых стран и, по всей видимости, будет сохраняться даже при изменениях (уточнениях) взглядов на ТП как один из главных инструментов развития инновационных систем, перехода к новым технологическим укладам, достижения стабильности отношений между различными общественными группами и, в конечном счёте, защиты государственных интересов.

Естественно возникает вопрос о возможности использования перечисленных выше методических рекомендаций применительно к экспертным оценкам документально оформленных предложе-

ний (заявок), касающихся создания и реализации конкретных ТП. Поскольку эти предложения представляются в едином (утверждённом) формате, достаточно выбрать 2–3 типовых примера для последующего обсуждения (в частности из перечня ТП, утверждённого упоминавшейся Правительственной комиссией по высоким технологиям и инновациям). Пусть это будут ТП-9 «Национальная космическая технологическая платформа», ТП-17 «Малая распределённая энергетика», ТП-27 «Освоение океана».

Следует заметить, что заявки на создание ТП подают «организации-координаторы», являющиеся на сегодня скорее «организациями-заявителями», так как никакие координационные функции нигде не обозначены и в некоторых случаях их реальность может быть поставлена под сомнение.

Каждая заявка–предложение содержит 3 раздела – I «Технологические направления», II «Предполагаемые задачи и основные результаты создания ТП», III «Краткое описание рынков и секторов экономики, на которые предполагается воздействие технологий, развиваемых в рамках ТП» –

и отражает видение обозначаемой проблемы самой организацией-координатором (скорее всего, появление другого заявителя аналогичной ТП привело бы к заметному изменению содержания представленного документа, что противоречит концепции ТП).

В этих условиях можно предложить (хотя бы предварительно) ряд вопросов к потенциальным экспертам (и к самим заявителям, если признана полезность предварительной самооценки), ответы на которые помогут оценить выбранную ТП с системных позиций (см. табл. 1) и допускают представление в разных формах – в виде экспертных заключений небольшого объёма (1–2 страницы) с обоснованием даваемых оценок, в виде выбранного подсказанного ответа из нескольких возможных, в виде характеристики рейтингового типа с указанием принадлежности экспертируемого объекта к категории более (менее) предпочтительных объектов, в виде проставляемых баллов и т. д. Преимущества экспертных заключений – в раскрытии и объяснении позиции эксперта, преимущества других форм оценивания – в возможности машинной обработки экспертной информации и

Таблица 1

#### Вопросы, характеризующие ТП, и возможные ответы на них

Вопросы, определяющие характерные особенности выбранной (данной) ТП	Возможные (подсказанные) ответы с условной градацией уровней оценок (низкий–средний–высокий) в порядковой (ранговой) шкале
1. Какие потребности (государственные, общественные, производственные, корпоративные) и в какой степени будут удовлетворены реализацией данной ТП в перспективе до _____ года?	Государственные (геополитические, стратегические, экономические)
	Внутригосударственные, общественные, экономические, социальные
	Корпоративные (повышение конкурентоспособности, овладение сегментами рынка, сохранение запаса устойчивости, получение каких-либо преимуществ)
2. Каких конкретных результатов (видов продукции, услуг, новых ступеней развития и т. д.) можно ожидать от реализации данной ТП?	Производственные (переход к новым технологическим укладам, импортозамещение, рост производительности) и др.
	Будут получены положительные (отрицательные) результаты по декларируемым пунктам раздела I, раздела II, раздела III в виде _____ на высоком (общемировом), среднем (страны БРИК) уровнях (при положительном исходе)
3. Каково состояние области деятельности, связанной с данной ТП, в развитых зарубежных странах–конкурентах и насколько велики расхождения между ними и Российской Федерацией в этом отношении?	Будут созданы заделы для модернизации соответствующей области деятельности с перспективой разработки новых технологий, образцов техники, схем организации производства и т. д.
	Ведущими странами здесь являются _____, доля их продукции в процентном исчислении составляет _____% ВВП по сравнению с _____ процентами в РФ, что свидетельствует о незначительном (серьезном, существенном) отставании
	Положение дел таково, что для устранения расхождений потенциала заявленной ТП будет вполне достаточно (скорее всего достаточно, недостаточно)

Окончание табл. 1

Вопросы, определяющие характерные особенности выбранной (данной) ТП	Возможные (подсказанные) ответы с условной градацией уровней оценок (низкий–средний–высокий) в порядковой (ранговой) шкале
4. Какие финансовые, материальные, временные, информационные, кадровые ресурсы необходимы для выполнения проектов в составе данной ТП и на что можно реально рассчитывать?	<p>Ресурсное обеспечение по указанным составляющим может потребовать примерно _____ руб. вложений (в денежном эквиваленте), подключения к работам _____ организаций и коллективов, существенных затрат времени.</p> <p>В целом требуемый уровень ресурсного обеспечения представляется достижимым (условно достижимым, недостижимым) по причинам _____.</p>
5. Какова вероятность успешного завершения намеченных работ в рамках данной ТП и какие препятствия для этого могут возникнуть в ближайшей и отдаленной перспективе?	<p>Вероятность успеха составит (вряд ли превысит) величину _____.</p> <p>Основными препятствиями для достижения успеха (ожидаемых результатов) можно считать _____ (организационные, технические и др. моменты).</p>
6. Какова степень взаимосвязанности (системности проработки) технологических направлений, входящих в данную ТП?	<p>Выбранные технологические направления образуют единую систему и тесно связаны между собой (являются самодостаточными и слабозависимыми друг от друга, представляют собой набор известных объектов и т. д.).</p> <p>Выбранные направления (часть из них) могла бы составить систему и стать объектом исследований и разработок</p>
7. Какие связи (совпадения, «пересечения») с другими ТП просматриваются в программах (проектах) данной ТП и есть ли возможность (целесообразность) её объединения с другими ТП?	<p>Данная ТП ориентирована на решение самостоятельной проблемы и не должна объединяться ни с какой другой ТП.</p> <p>Данная ТП отражает проблему, созвучную с проблемами другой ТП (указывается), так что частичное объединение возможно (требуется доработка данной ТП для сохранения самостоятельности).</p> <p>Данная ТП затрагивает практически те же проблемы, что и _____ (объединение целесообразно)</p>
8. Каковы рыночные перспективы продукта, созданного в ходе реализации данной ТП (хотя бы в условиях существующей конъюнктуры)?	<p>Перспективы хорошие (по умозрительным заключениям), так как продукт является принципиально новым и должен найти спрос.</p> <p>Проведены маркетинговые исследования, показавшие возможность занятия больших (небольших) сегментов рынка</p> <p>Вопрос должен изучаться дополнительно по причине некоммерческой направленности данной ТП.</p>
9. Какова степень обоснованности (доказательности) утверждений, содержащихся в заявке–предложении по данной ТП?	<p>Даны обоснования позиций организации–координатора данной ТП, с которыми можно согласиться.</p> <p>Обоснования отсутствуют (по разделам _____) или заменяются правдоподобными рассуждениями, отражающими собственные позиции заявителей (по разделам _____).</p> <p>В утверждениях отражены знания, опыт, взгляды заявителей как крупных ученых и специалистов в представляемых областях науки, техники, технологий.</p>
10. Как оценивается потенциал организации–координатора с точки зрения объективной возможности выполнения разнообразных организационных функций, необходимой для реализации данной ТП?	<p>Организация–координатор способна безусловно «довести дело до конца».</p> <p>Необходимо придать дополнительные полномочия и ресурсы (административные, статусные) координатору данной ТП.</p> <p>Требуется создание инфраструктурной надстройки, обладающей достаточными ресурсами и полномочиями для достижения поставленных целей.</p>

Примечание: Приведённые здесь «подсказанные ответы» могут быть скорректированы в ту или иную сторону по согласованию с заказчиком экспертизы. Количество вопросов не влияет на методические подходы к экспертизе ТП, поэтому можно пока ограничиться десятью приведёнными позициями при скромных объёмах исходной информации о предлагаемых ТП.

её отображения в наглядной графической форме (многопараметрический экспресс-анализ ТП).

Возвращаясь к рассмотрению ТП-9, 17, 27 в качестве примеров применения методики экспресс-оценки такого рода объектов, необходимо получить варианты ответов на вопросы табл. 1, опросив для этого соответствующие группы экспертов. На сегодняшний день это намерение реализуется пока что на неофициальном уровне путём обсуждения имеющихся материалов с

сотрудниками научных учреждений, высших учебных заведений и отдельными специалистами, имеющими достаточный опыт практической работы (т.е. путём моделирования экспертного процесса на основе предлагаемого методического подхода при хорошей степени его соответствия общей обстановке, складывающейся вокруг технологических платформ). Собранная таким способом информация представлена в табл. 2.

Таблица 2

### Экспертная информация с примерными оценками ТП

Технологическая платформа	Согласованные ответы экспертов на вопросы в порядке их постановки (см. табл. 1)	Уровни оценок по разделам I–II–III	Верхняя и нижняя оценки
ТП-9 Национальная космическая технологическая платформа	1. Государственные – стратегические и геополитические; сохранение лидирующих позиций в освоении космоса.	Высокие	Высокие
	2. Будут получены положительные результаты по разделам I–III при надлежащей организации работ.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	3. Область деятельности поддерживается в хорошем состоянии, критического отставания от стран-конкурентов не наблюдается.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	4. Ресурсное обеспечение по всем его составляющим потребует значительных усилий в финансовом, кадровом, организационном отношении (миллиардные вложения в долгосрочной перспективе) и представляется условно достижимым (при стабильном развитии экономики).	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	5. Вероятность успеха – не ниже 0,7; возможные препятствия носят экономический, организационный, кадровый характер.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	6. Системность проработки позиций разделов I–II–III просматривается слабо, скорее всего, они являются отражением имеющихся научно-технических заделов, общих деклараций и представлений о возможных путях развития.	Частично средние, частично низкие	Средняя – низкая
	7. Сильное влияние на многие сферы научно-технической, производственной, экономической деятельности, однако объединение с другими ТП невозможно.	Высокие	Высокие
	8. Перспективы хорошие (по имеющемуся опыту и серьёзным намерениям их расширять).	Высокие	Высокие
	9. Обоснованность утверждений представляется достаточной, но это связано с обобщением накопленных знаний и общемировых тенденций без проведения специализированных исследований.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	10. Потенциал достаточен, хотя может потребовать усиления.	Средние	Средние
ТП-17 Малая распределённая энергетика	1. Внутригосударственные – экономические и общественные; решение важной проблемы, но без учета её социальной составляющей.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя

Продолжение табл. 2

Технологическая платформа	Согласованные ответы экспертов на вопросы в порядке их постановки (см. табл. 1)	Уровни оценок по разделам I–II–III	Верхняя и нижняя оценки
	2. Будут получены положительные результаты лишь по части позиций разделов I–III (скорее научно-технического, чем практического, плана)	Средние	Средние
	3. РФ существенно отстает (в десятки раз по генерируемым мощностям) от развитых (США, Германия) и развивающихся (даже в рамках БРИК) стран; потенциал заявленной ТП вызывает сомнения.	Частично средние, частично низкие	Средняя – низкая
	4. Требуемые ресурсные вложения весьма велики, разнообразны (затрагивают даже социальную сферу) и лишь условно достижимы.	Частично средние, частично низкие	Средняя – низкая
	6. Определённая системность проработки разделов I–III присутствует, чувствуется понимание поднимаемых вопросов; вместе с тем, много места отведено моментам, ставшим уже привычными.	Средние	Средние
	7. Просматриваются связи с другими ТП, однако объединение с ними представляется преждевременным в силу специфики самой ТП-17.	Средние	Средние
ТП-17 Малая распределённая энергетика	8. Перспективы хорошие, но не по всем заявленным технологическим направлениям (некоторые из них уже освоены в странах–конкурентах и могут легко проникнуть на российский рынок).	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	9. Обоснованность утверждений можно признать достаточной, хотя только часть из них вытекает из знакомства с объективно существующими отечественными инновациями; другая часть отражает многое из того, что хорошо известно.	Средние	Средние
	10. Потенциал достаточен, хотя может потребовать усиления.	Средние	Средние
ТП-27 Освоение океана	1. Государственные – стратегические и геополитические; сохранение позиций в освоении доступных зон океана и присутствия в мировом океане	Высокие	Высокие
	2. Получение положительных (скорее всего – комплексных) результатов по разделам I–III при надлежащей организации работ.		
	3. Страны-конкуренты проявляют возрастающий интерес к освоению океана, достигли значительных успехов в практической деятельности; имеет место отставание РФ по ряду важных направлений; потенциал данных ТП достаточен для сохранения и даже расширения участия РФ в главных направлениях работ рассматриваемой направленности.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	4. Требуемое ресурсное обеспечение различно по своей природе, потенциальные затраты весьма велики (миллиардные вложения) и достижимы при условии экономической стабильности.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	5. Вероятность успеха довольно большая (~ 0,8), могут возникнуть препятствия политического, экономического, организационного характера.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя

Окончание табл. 2

Технологическая платформа	Согласованные ответы экспертов на вопросы в порядке их постановки (см. табл. 1)	Уровни оценок по разделам I–II–III	Верхняя и нижняя оценки
	6. Системность проработки оставляет хорошее впечатление, охвачены основные направления научных и практических дел в их взаимосвязи.	Высокая	Высокая
	7. Нежелательные совпадения (дублирование) направлений работ других ТП практически отсутствует из-за своеобразия задач освоения океана.	Высокая	Высокая
	8. Рыночные перспективы хорошие (особенно в части северных морских территорий), хотя сильна конкуренция со стороны США, Канады, стран Европы, что требует больших усилий для сохранения присутствия на рынках.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	9. Степень обоснованности хорошая, она базируется на богатом опыте, сохраняющихся традициях, геополитических соображениях, но требуются уточнения, касающиеся реалий сегодняшней жизни.	Частично высокие, частично средние	Высокая – средняя
	10. Потенциал достаточен, хотя может потребовать усиления.	Средняя	Средняя

Содержание табл. 2 может варьироваться в каких-то пределах (краткие или развёрнутые ответы на вопросы, различная градация уровней оценок), но в любом случае появляется основа для анализа мнений экспертов и принятия решений о дальнейших действиях в отношении экспертируемых объектов, представленных в весьма общем виде организациями-координаторами. Чтобы облегчить и ускорить этот процесс, достаточно дать наглядную графическую интерпретацию результатов, отражённых в табл. 2, построив диаграммы изменений верхней и нижней оценок, относящихся к соответствующим вопросам–ответам (см. рис. 1).

Помимо наглядности и возможности отобразить все особенности рассматриваемых ТП-9, 17, 27 (в границах исходной информации о них) построенные графики (см. рис. 1) допускают различные модификации, сохраняя при этом главное свое качество – адекватность отображения данных, собранных в табл. 1 и 2, характеру и подробности вопросов к экспертам и полученным ответам. Присутствующая здесь некоторая условность градации уровней оценок (их количество может отличаться от 3-х, их отметки на оси ординат могут располагаться произвольно при сохранении установленного порядка и т. д.) не окажет существенного влияния на окончательные выводы, которые последуют за обсуждением представленных результатов. В качестве примера, подтверждающего сказанное, на рис. 2 дан фрагмент рис. 1, относящийся к ТП-17 и построенный для

немного изменённых условий масштабирования графиков (изменилась форма, но не содержание «картинки»).

Кроме того, всегда следует уточнять понятия «высокий–средний–низкий», придавая им смысл, согласованный с заказчиком экспертизы, или заменяя их выбранными баллами, рейтингами и т. п. Для облегчения восприятия графических образов можно дополнительно ввести специальные отметки (ограничительные линии), которых не должны пересекать (касаться) графики, если оцениваемая ТП претендует на поддержку в рамках частно-государственного партнёрства (например пунктиры на рис. 2 – верхняя оценка не может опускаться до уровня «низкий», нижняя оценка – лежать ниже уровня «средний»). Вводя подобные ограничения и относя их не только к уровням оценок, но и к допустимым ответам экспертов на ключевые (принципиальные) вопросы (тоже как-то выделенные), можно построить области существования потенциальных положительных решений на тех же рис. 1 и 2 и прийти в итоге к некоему стандарту, в который будут (или не будут) вписываться графические образы – аналоги конкретных ТП, что позволит обоснованно (и объяснимо) проводить их отбор.

Следует заметить, что предложенные выше методические приемы визуального отображения результатов экспертизы применимы не только к ТП, но и к крупным инновационным проектам, научно-техническим (целевым) программам и их составным частям, другим сложным объектам,

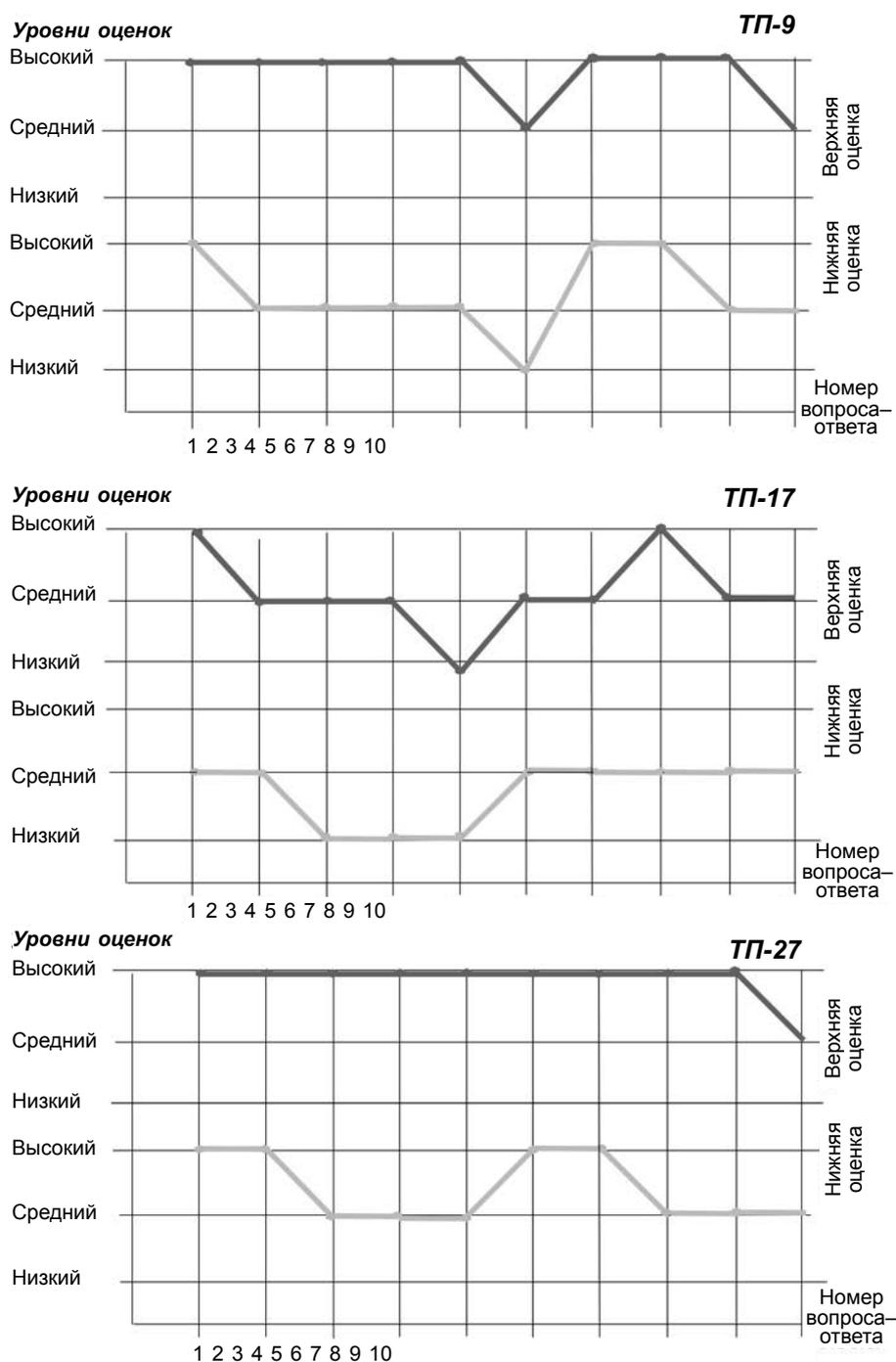


Рис. 1. Графическое отображение оценок ТП

оценить которые «в деталях» практически нереально, поэтому необходимо создать общее представление о заложенном в них потенциале, в каких бы единицах или какими бы формулировками он ни измерялся.

В этих условиях, помимо всего прочего, открываются хорошие перспективы автоматизации процесса обработки экспертных данных и наглядного отображения её результатов. Частично это было продемонстрировано на примере рас-

смотрения табл. 2 и последующего построения оценочных графиков (рис. 1, 2), что может служить основой для различных обобщений и разработки алгоритмов многопараметрической оценки объектов экспертизы.

Если ставится задача исследования некоторого объекта  $O$  (целевой программы, инновационного проекта, технологической платформы и др.) с позиций его значимости для государственных структур, бизнес-сообщества, планов

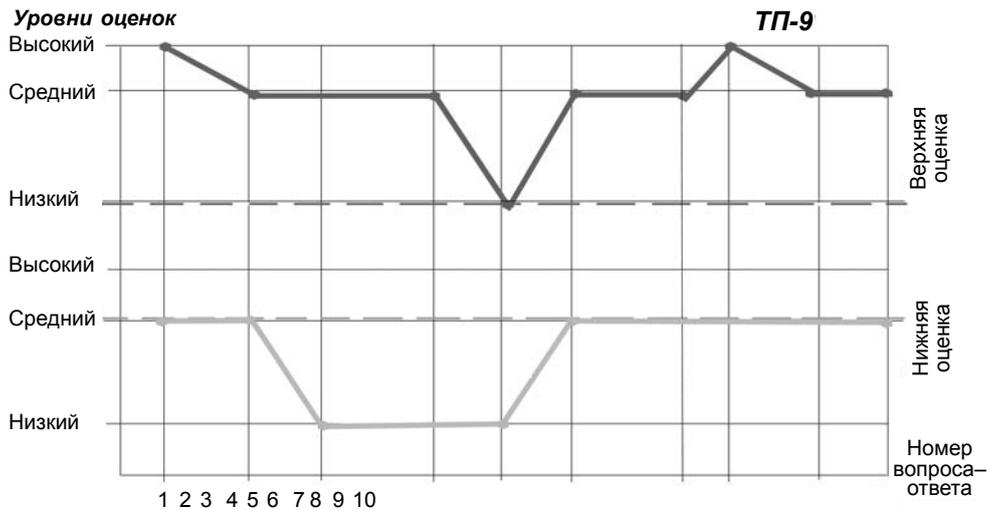


Рис. 2. Изменённый масштаб построения оценочных графиков

модернизационного развития научно-технической сферы и т. п., то вполне допустимо использовать ряд общих положений, приведённых ниже применительно к тем документам (описаниям, заявкам, предложениям), которые так или иначе характеризуют объект *O* и подлежат экспертизе.

Пусть заданы: упорядоченное (по какому-либо смысловому признаку) *n*-элементное множество *V* вопросов к экспертам с подсказанными возможными ответами и упорядоченное (по важности или предпочтительности ответов) *m*-элементное множество *U* уровней оценок объекта *O*, т. е.

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_p, \dots, v_n\},$$

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_m\}, \text{ причём}$$

$$u_{i+1} p_{ui} p_{ui-1} (i = 2, m - 1).$$

Знаки «р» указывают на сам факт возрастания важности (предпочтительности) уровня *u<sub>i</sub>* по отношению к *u<sub>i-1</sub>* (или *u<sub>i+1</sub>* по отношению к *u<sub>i</sub>*), но не на их количественные расхождения (порядковая шкала).

Множества *V*, *U* формируются как отражения позиций (взглядов, требований) заказчика экспертизы, связанных с намерением выбрать объект *O* в качестве инструмента решения конкретной экономической, инфраструктурной, военнотехнической или иной проблемы.

Ответы экспертов на каждый вопрос *v<sub>j</sub>* ∈ *V* сопровождаются оценками, разбросанными в каком-то интервале [*u<sub>н</sub>*, *u<sub>в</sub>*]<sub>*j*</sub>, т. е. образующими конечное и счётное множество  $\mathcal{E}_j$  с «лучшим» (*u<sub>в</sub>*) и «худшим» (*u<sub>н</sub>*) элементами (верхняя и нижняя оценки при данном *j*). Если *j* меняется от 1 до *n*, то возникают последовательности из всех *n*-эле-

ментов *u<sub>в</sub>* и всех *u<sub>н</sub>*, которые могут быть названы «траекториями» оценок {*u<sub>в</sub>*}, {*u<sub>н</sub>*} по аналогии с тем, что показано на рис. 1, 2 применительно к ТП.

В некоторых случаях *u<sub>в</sub>*, *u<sub>н</sub>*, получаемые рассматриваемым «естественным» путем, отбрасывается как «крайние мнения» экспертов и заменяются ближайшими к ним *u<sub>в</sub>*, *u<sub>н</sub>*, и тогда на месте  $\mathcal{E}_j$  появляется его подмножество  $\overline{\mathcal{E}}_j$  – «доверительный интервал», используемый в качестве «искусственного»  $\mathcal{E}_j$  (см. рис. 3). Поскольку суть дела от этого не меняется, можно сохранить первоначальные обозначения *u<sub>в</sub>*, *u<sub>н</sub>*, относя их либо к  $\mathcal{E}_j$ , либо к  $\overline{\mathcal{E}}_j$  и давая при необходимости соответствующие пояснения. Очевидно, *u<sub>в</sub>* и *u<sub>н</sub>* могут совпадать с *u<sub>m</sub>* и *u<sub>1</sub>* при одних значениях *j* и не совпадать при других (иначе нет смысла говорить о диапазоне [*u<sub>1</sub>*, *u<sub>m</sub>*], но это зависит от конкретных ситуаций).

Установленный ранее единый диапазон уровней оценок [*u<sub>1</sub>*, *u<sub>m</sub>*] может оказаться в чём-то неприемлемым для отдельных *v<sub>j</sub>* (1 ≤ *j* ≤ *n*), поэтому полезно ввести дополнительные (граничные) условия в виде назначаемых предельных уровней *u<sub>в</sub>*<sup>+</sup>, *u<sub>н</sub>*<sup>-</sup>, ниже которых не должны опускаться «траектории» – последовательности {*u<sub>в</sub>*}, {*u<sub>н</sub>*}. Тем самым определяются области потенциально допустимых (положительных) решений, рекомендуемых заказчику экспертизы. Попадание построенных траекторий в указанные области говорит о приемлемости заявленных характеристик объекта *O* и их соответствии требованиям заказчика, отражённым в поставленных им вопросах к экспертам; выход {*u<sub>в</sub>*}, {*u<sub>н</sub>*} за установленные для них пределы *u<sub>в</sub>*<sup>+</sup>, *u<sub>н</sub>*<sup>-</sup>, (*j* = 1, *n*) означает условную пригодность (с возможностью доработок) или безусловную непригодность объекта *O* для даль-

Таблица 3

Результаты экспертизы объекта в табличной форме

Вопросы	$v_1$	$v_2$	...	$v_j$	...	$v_n$
Множества экспертных оценок	$(\bar{\Theta}_1)$	$(\bar{\Theta}_2)$	...	$(\bar{\Theta}_j)$	...	$(\bar{\Theta}_n)$
Нижние границы «траекторий» $\{u_j^+\}$ $\{u_j^-\}$	$u_1^+$ $u_1^-$	$u_2^+$ $u_2^-$	...	$u_j^+$ $u_j^-$	...	$u_n^+$ $u_n^-$
Области потенциально допустимых решений	множество интервалов $[u_j^+, u_m]$ , множество интервалов $[u_j^-, u_m]$ , $j = \overline{1, n}$					

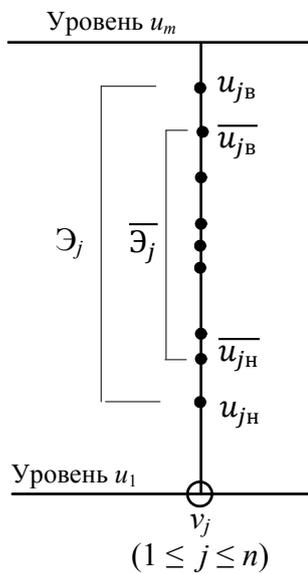


Рис. 3. Множество оценок и его характеристики

нейшего рассмотрения и реализации. Всё сказанное выше отражено в табл. 3.

Таким образом, удаётся построить обобщённый алгоритм многопараметрического экспертного оценивания сложных объектов  $O$  с представлением получаемых результатов в наглядной графической форме (см. рис. 4).

Преимуществами такого подхода являются: независимость от природы и особенностей объекта  $O$  (они находят отражение в вопросах  $v_j$ ); отсутствие ограничений на выбор  $m$  и  $n$  (допускается произвольное количество уровней оценок и вопросов к экспертам);

возможность анализа системных характеристик объекта  $O$  в рамках триады «перспективность—результативность—реализуемость» (или на основе каких-то других принципов);

охват всего спектра мнений экспертов по каждому вопросу  $v_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) с различной степенью детализации (можно рассматривать не только «траектории»  $\{u_{jв}\}, \{u_{jн}\}$ , но и другие характеристики множеств  $\Theta_j, j = \overline{1, n}$ );

удобство масштабирования и построения графического образа в любых координатных «сетках» (отметки уровней оценок на порядковой шкале и номеров вопросов  $v_j$  устанавливаются произвольно и должны просто фиксироваться);

относительная простота программной реализации алгоритма, представленного на рис. 4, с уточнениями, вносимыми представителями заказчика экспертизы (в конкретных случаях – блоки 1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12);

практическая осуществимость создания системы многопараметрической оценки (МПО) объектов  $O$  на базе специализированных АРМ, использующих получаемый программный продукт для непосредственной обработки экспертной информации, подготовки рекомендаций и выводов по её результатам, моделирования потенциально возможных ситуаций настройки параметров системы на решение определённого класса задач, обучения пользователей АРМ и других специалистов, имеющих отношение к обсуждаемой теме.

Недостатки предложенного способа экспертного оценивания объектов  $O$  могут обнаружиться при эксплуатации реально созданной системы МПО, и это произойдет, скорее всего, из-за ограниченной полноты множеств  $\Theta_j, j = \overline{1, n}$  (полноценная экспертиза стоит дорого и требует много времени, хотя приблизительные экспресс-оценки достижимы всегда), трудностей подробного описания объекта  $O$  в ряде случаев (масштабность замысла противоречит скромному объёму исходных документов, представляющих объект  $O$ ), разночтений в вопросах приемлемости тех или иных процедур сбора исходной информации о потенциале объекта  $O$ ; «принципиальных позиций» сторонников других форм организации экспертизы и т. д. Всё это может привести к необходимости доработок системы МПО, расширения её функций, но не к отрицанию самой идеи использования графики для наилучшего восприятия образа изучаемого объекта  $O$  (тем более, что в области разработки и применения экспертных систем особого оживления не видно).

Как итог проведённого обсуждения методической основы МПО, на рис. 5 показан результат построения оценочной картины условного объекта  $O$  в соответствии с теми положениями и рекомендациями действиями, которые отражены в схеме обобщённого алгоритма на рис. 4.

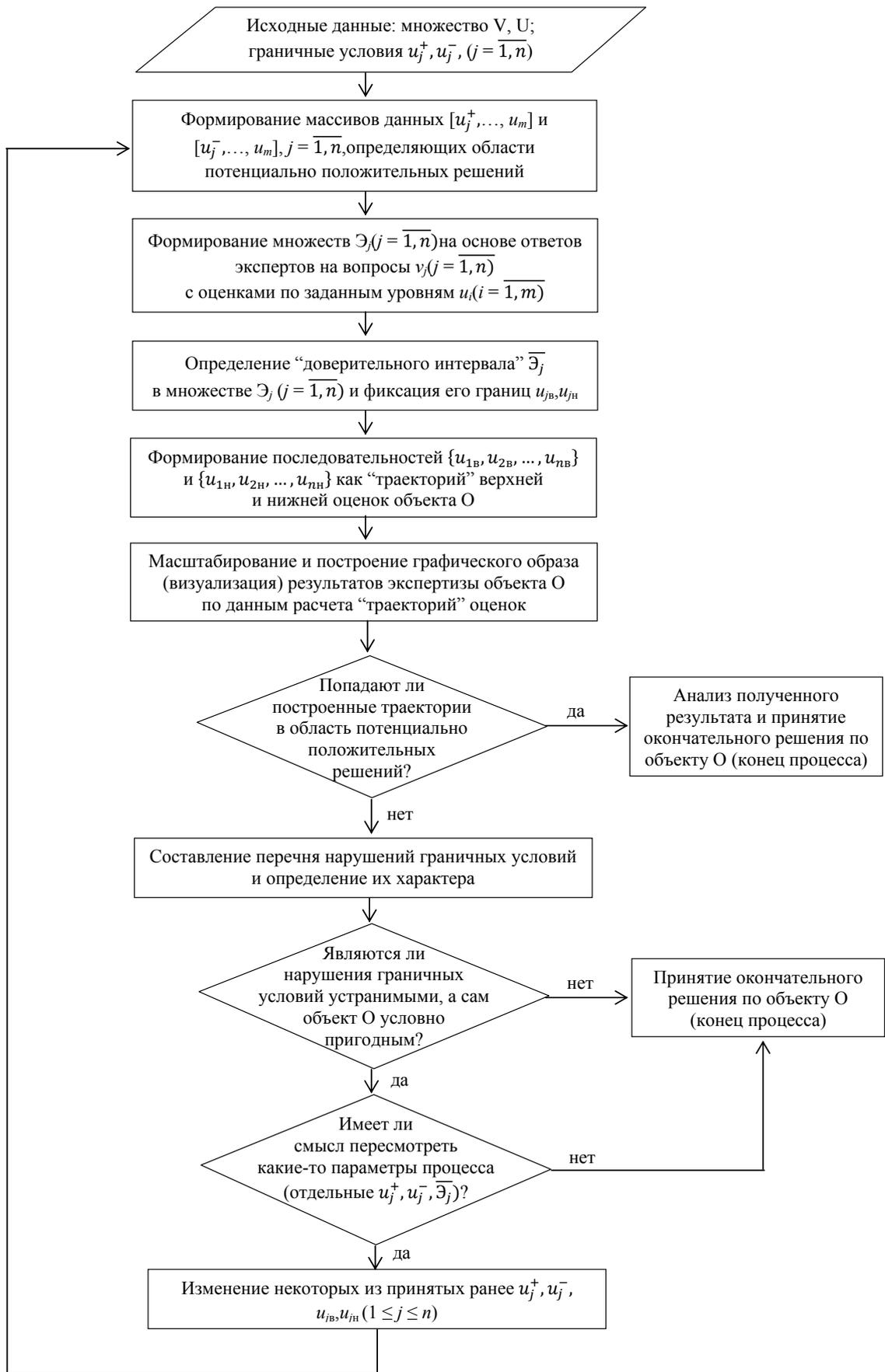


Рис. 4. Обобщённый алгоритм многопараметрического оценивания сложных объектов

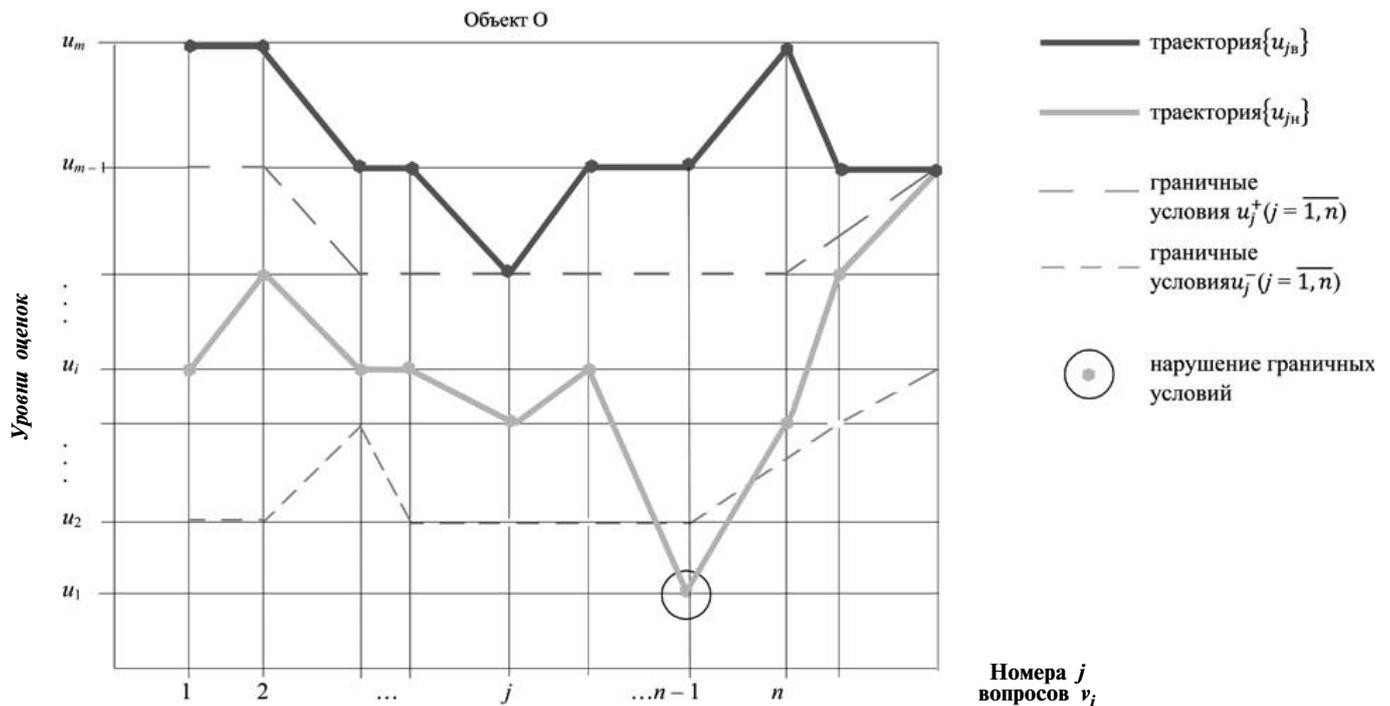


Рис. 5. Графический образ условного объекта как результат обработки экспертных данных

Практическое применение предложенной методики способствует наиболее информативному (образному) восприятию результатов экспертизы в сложных и неоднозначных ситуациях, связанных с оценкой труднопредставимых объектов  $O$ ,

описание которых зачастую носят весьма общий характер. Компенсировать эту особенность можно только опытом и знаниями квалифицированных экспертов, а также детализированным отображением получаемой от них информации.



## ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: учебник для вузов

В.А. Григорьев, С.П. Кузнецов, А.С. Гишваров и др.

Под общ. ред. В.А. Григорьева, А.С. Гишварова

2009. – 504 с.: ил. ISBN: 9-785-94275-435-8

Цена 550 р.

Изложены современные способы и методы испытаний авиационных двигателей различных типов. Наряду с традиционными вопросами измерений физических величин, видов испытаний и оборудования, их обеспечивающего, рассмотрены методы определения основных технических данных двигателей, специальные испытания, испытания для подтверждения ресурса, проанализированы пути совершенствования экспериментальной базы для испытаний. Особое место занимают вопросы автоматизации научных исследований и испытаний авиационных двигателей.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Двигатели летательных аппаратов», а также для специалистов авиадвигательных предприятий.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы: по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru  
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.058.013.8

**А.Ф. Ширялкин**, канд. техн. наук, доц., **С.А. Кобелев**, канд. техн. наук, доц.,  
**А.Н. Угасин** (Ульяновский государственный технический университет),  
**В.П. Махитько**, канд. экон. наук, доц. (Ульяновское высшее авиационное училище  
гражданской авиации)

a.shiryalkin@ulstu.ru

### **ФОРМИРОВАНИЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

*Рассмотрена проблема повышения эффективности технической подготовки производства. Показано, что правильное системное формирование таксономической структуры классификации деталей машин позволит осмысленнее подходить к построению технической подготовки производства, тем самым существенно улучшить качество автоматизации решений её задач и, в целом, эффективность управления производственным процессом.*

**Ключевые слова:** таксономическая структура, классификация, производственная среда предприятия, техническая подготовка производства, групповой метод, автоматизация решений задач, информационно-поисковая система.

*Efficiency raise problem of the production technical preparation is considered. It is shown that the correct system formation of taxonomic structure systemic forming of the machine parts classification permits to approach intelligent to production technical preparation building and thereby to substantially improve automation quality of the preparation tasks and, as a whole, production process control efficiency.*

**Key words:** taxonomic structure, classification, enterprise production environment, production technical preparation, group method, tasks decision automation, inform-searching system.

Среди методов достижения высокой эффективности технической подготовки производства (ТеПП) для машиностроительных предприятий одним из наиболее перспективных считается групповой метод, разработанный проф. С.П. Митрофановым в начале 50-х гг. [1], внедрение которого позволяет сократить сроки ТеПП новых изделий, повысить производительность труда, снизить себестоимость продукции и создать условия для автоматизации научного и инженерного труда созданием автоматизированных систем управления предприятием.

Исследование внедрения групповой технологии [2], проведённое на машиностроительных предприятиях (ОАО «Авиастар», «Утёс», ЗАО СВПК (г. Ульяновск), КЗАО (г. Самара), машиностроительный завод им. С. Орджоникидзе (г. Муром)), показало её недостаточную эффективность. Причиной этого является отсутствие удобной и гибкой системы технической подготовки группового производства (ТеПП), а также недостаточная степень её автоматизации.

Так как системно-организационной основой ТеПП служит классификационная система (КС) информации о деталях машин, актуальной задачей является её качественная разработка и внедрение в производственную структуру КС. Это

возможно, если элементы системы в первую очередь соответствовали требованиям максимально-го удобства производственной человеко-машинной системы. При этом действие системы должно распространяться на все этапы жизненного цикла производимых изделий. Таким образом, следует говорить о развитии на предприятиях эффективных производственных сред [2], информационное качество которых определяется качеством информационных процессов в человеко-машинной системе производства. В свою очередь качество этих процессов зависит от качества информации об элементах системы, объектах производства, генетически исходящих из качества информации о деталях. Последнее во многом зависит от степени естественности классификации признаков деталей, составляющих основную структуру их информации о производственной среде.

Учитывая большое количество машиностроительных предприятий и, соответственно, их разные возможности, целесообразно использовать генетический (классификационно-эволюционный) подход к формированию эффективных производственных сред [3]. При этом общий эффект ТеПП зависит от достигнутого количества и качества автоматизации её конкретных задач.

Исходя из высокой динамичности производственной среды, её исследование основано на анализе потоковых процессов. В сфере материально-технического производства выделены два основных потока – материальный и информационный. Информационный поток (ИП) сопровождает материальный и является некоторой системой сообщений, необходимой для управления и контроля производства. В машиностроительном производстве ИП разделяются на несколько видов: ИП основных материалов, вспомогательных материалов, инструмента и т. д. [2]. Указанные потоки информации образуют «нервную систему» производства, управляющую деятельностью материальных потоков. В «позвоночном столбе» всего производственного организма проходит главный ИП – информация о деталях основного производства, определяющая причину существования всего производственного процесса и генетически призванная управлять всеми другими ИП на соответствующих уровнях производственной среды.

Основную цель создания оптимизированной системы подготовки и управления производством определим как чёткое распределение уровней информации о детали по уровням производственного процесса с одновременным наложением системных связей между его отдельными элементами.

Анализ производства на ряде машиностроительных предприятий показывает, что даже для одной детали на уровне количества информации, достаточной для её обработки (материализации), получается хотя и конечная, но сложная и часто запутанная система связей, затрудняющая и замедляющая подготовку и управление производством. Другими словами, участники больших многономенклатурных серийных производств (например авиационных) в достаточной степени не владеют и не могут владеть информацией о курируемых ими участках производственного процесса. Внешне такие производственные издержки выливаются в авральность, аритмичность и постоянную лихорадку процесса. Даже для малых серийных предприятий с номенклатурой деталей в 300–400 наименований задача установления стабильности производственного процесса не всегда разрешима. При номенклатуре деталей в несколько десятков тысяч наименований, характерной большим серийным производствам, эффективное владение информацией без средств автоматизации невозможно. Корректно автоматизировать производственный процесс возможно лишь при достаточной степени системности информации о детали.

Проведённые исследования выявили параметры информационной структуры производственной среды по количеству и качеству информационных связей (ИС) как критерии технической

управляемости производством: количество ИС, разветвлённость ИС, длина ИС, время прохождения управляющего сигнала, согласованность ИП и связей в производственном пространстве и времени. В последовательной оптимизации этих критериев и строится процесс системной технической подготовки и управления производством.

В первую очередь при минимизации количества ИС исключаются ненужные. Для этого проводится технологическая проработка и унификация (ТПУ) деталей основного производства, которая в машиностроении является одной из определяющих задач подготовки производства.

Под унификацией понимается один из важнейших методов стандартизации, заключающийся в приведении объектов одинакового функционального, конструктивного или технологического назначения к единообразию рациональным сокращением неоправданного разнообразия составляющих элементов.

Опыт показывает, что качественная проработка и унификация номенклатуры деталей на машиностроительном предприятии существенно сокращает (в среднем на 20–30 %) трудоёмкость дальнейших работ ТПП и значительно повышает серийность производства. Однако при достаточно сложной номенклатуре деталей на некоторых предприятиях технологическая проработка и унификация элементов производства не всегда проводится с должным качеством. Основной причиной этого является значительная трудоёмкость проведения изменений.

Поэтому качественное и оперативное выполнение работ по унификации целесообразно выполнять с помощью информационно-поисковой системы конструкторско-технологического назначения (ИПС КТН), построение которой позволило бы не только тщательно провести ТПУ, но и стать основой для решения большинства задач и подзадач ТеПП. Заметим, что такая постановка во многом созвучна с целями и функциями системы управления проектными данными PDM (Product Data Management). Первоначально задуманная для реализации удобного процесса управления изменениями, система впоследствии позволила расширить функциональные возможности. Поэтому при наличии PDM функции управления проектированием, включая процесс внесения изменений, необходимо возложить на эту систему.

Процесс формирования комплексной автоматизированной системы технической подготовки и управления производством (КАС ТеПУП) с помощью ИПС КТН (PDM) впоследствии дополняется созданием системы автоматизированного расчёта трудоёмкости (САРТ) и автоматизированной системы оперативно-календарного пла-

Таблица 1

**Основные направления работ и критерии управляемости при реализации КАС ТеПУП**

Направления работ по внедрению КАС ТеПУП	Критерии оптимизации качества управления производственной средой по ИП и ИС
Разработка системы ТПУ, PDM-системы	Количество ИС, разветвлённость ИС, длина ИС
Разработка ИПС КТН (PDM-системы)	Прохождение прямого управляющего сигнала по ИС
Разработка САРТ	Реализация обратной связи, время прохождения обратного управляющего сигнала по ИП и ИС
Разработка АС ОКП	Согласованность ИП и ИС в производственном пространстве и времени

нирования (АС ОКП) [2]. Ориентируясь на критерии оптимизации информационной структуры производственной среды, можно определить основные направления реализации КАС ТеПУП, предваряющие поэтапную разработку систем (табл. 1).

Таким образом, информация об объектах производства, необходимая участникам для управления этими объектами, должна иметь на каждом уровне оптимальное количество максимально коротких информационных связей.

Главный вид информации, реализованный в КАС ТеПУП, – КС информации о деталях основного производства, реализованная в виде многоуровневого элементно-технологического классификатора (МЭТК) [2], эффективное функционирование которого зависит от качества заложенной в нём информации.

PDM, как система управления конфигурацией изделия в машиностроительном производстве, может рассматриваться как один из наиболее сложных и эффективных элементов системы ТеПП. Основные функции PDM-системы, как рабочей производственной среды, – это управление хранением данных и документов, процессами, структурой изделия, а также календарное планирование и классификация.

Классификация хранящихся в PDM-системе компонентов изделия (в том числе деталей) является результатом её блочно-модульного проектирования. Смысл классификации состоит в том, что информация о схожих объектах группируется в классы, имена которых отражают суть объектов. Для большинства САПР машиностроения характерными аспектами являются свойства компонентов и сборок, модели и их документальное выражение (основными примерами могут служить чертежи, 3D-модели визуализации). При классификации используются атрибуты, выражающие основные свойства деталей, что позволяет значительно упростить поиск изделий, увеличить количество повторно используемых деталей и, соответственно, снизить стои-

мость и сроки разработки изделия. Кроме того, с помощью классификации в PDM-системе возможна организация автоматизированного присвоения обозначений (кодов) вновь создаваемым компонентам. Для этого можно использовать системный определитель наименований и видов деталей (СОНД) [2, 4].

Классифицированная информация о деталях является также исходной базой для привязки к ней информации других классифицированных объектов производства (станков, приспособлений, инструмента). В целом процесс разработки, совершенствования и внедрения КАС ТеПУП заключается в последовательной автоматизации решений множества задач ТеПП:

конструкторском поиске деталей – аналогов при проектировании новых деталей и решении различных задач конструкторской подготовки производства;

присвоении чётких системных наименований; разработке трёхмерных видовых моделей деталей для первоначального ориентирования в их номенклатуре и в качестве основы для последующего проектирования новых деталей;

технологической проработке деталей и их унификации;

поиске ТП-аналогов для их последующей корректировки при проектировании новых техпроцессов;

группировании деталей по конструктивно-технологическим признакам при решении конкретных задач ТеПП;

проведении расщепки деталей, расчёта загрузки цехов и участков;

проектировании планировок цехов и участков; выборе и расчёте количества оборудования; выборе деталей для их обработки на станках с ЧПУ;

выборе и расчёте количества инструмента; выборе и расчёте количества заготовок; выборе и расчёте количества приспособлений; формировании предварительного маршрута обработки детали;

формировании предварительного маршрута обработки группы деталей;

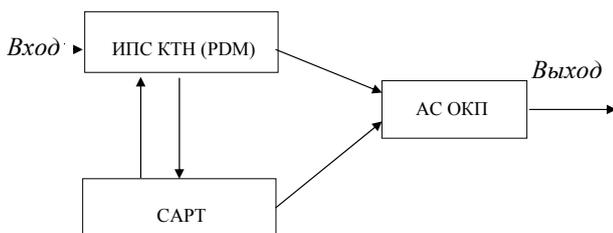
автоматизированном расчёте трудоёмкости обработки деталей.

При решении указанных выше задач используется одна и та же классифицированная информация. В среднем время ввода этой информации для одной детали не превышает 3–15 мин в зависимости от сложности. Таким образом, предлагаемая методика ТеПП деталей на базе МЭТК позволяет существенно сократить сроки технической подготовки. С методологической точки зрения эта классификация отвечает критерию, рассмотренному в работе [3]: естественной будет та классификация, которая позволяет достигнуть многих целей сразу.

При этом, кроме информации о деталях основного производства в технологическом отношении, в ИПС КТН (PDM) должен присутствовать следующий состав элементов производственной среды: комплект необходимых операций, последовательность их выполнения, рациональная заготовка, модели оборудования, приспособление, инструмент и др. Очевидно, что эту информацию для конкретного предприятия можно регулировать в зависимости от его потребностей. Таким образом, можно говорить о модели автоматизированного решения основной задачи ТеПП – создании структуры некоторой САПР ТП генерирующего типа, которая впоследствии может выступать в роли автономной системы проектирования унифицированных ТП. Однако использовать ИПС КТН возможно лишь при предварительно заполненных информацией базах данных.

АС ОКП следует представлять как результат взаимодействия систем ИПС КТН и САПР. В этом случае сводная информация систем будет достаточной для формирования системы календарного планирования при оперативном запуске заготовок в производство. Обобщённая функциональная схема реализации первой стадии разработки комплексной системы приведена на рисунке.

Второй стадией развития системы является разработка и внедрение внешних CALS (ИПИ)-



**Обобщённая схема первой стадии комплексной автоматизированной системы технической подготовки и управления производством**

систем, в том числе и логистических задач по оптимизации материально-технических операций и сбыта продукции, которые впоследствии можно объединить в рамках системы управления жизненным циклом изделия (PLM), представляющую наиболее развитую и эффективную концепцию управления сложным производством и выполняющей следующие функции:

автоматизированное проектирование ТП обработки деталей;

оперативно-календарное планирование;

планирование материальной потребности (MRP);

управление взаимоотношениями с заказчиками (CRM) и др.

Заметим, что данные о деталях во всех системах структурирует некоторая классификация, отвечающая за формообразование детали, т. е. количество, качество и взаиморасположение всех её конструктивно-технологических элементов (КТЭ). При этом форма детали определяется как взаимосвязанная совокупность КТЭ с обязательным наличием хотя бы одного основного элемента (ОЭ) и вероятным присутствием дополнительных (ДЭ) и вспомогательных элементов. Главным определяющим элементом формы детали является её ОЭ. Классификационные группировки – таксоны, наиболее обобщённо определяющие визуально-представимую форму КТЭ – классы деталей (вращения, невращения, модульные) [2, 4]. Далее информация о детали разделяется на ряд таксономических категорий (подкласс, надсемейство, семейство, род). Основная таксономическая категория системы элементов деталей машин – это вид, который, конкретизируя форму элементов, составляющих деталь, даёт ей чёткое визуальное представление. Вместе с тем, категория доводит степень дискретности информационного описания детали до уровня различимости, позволяющего достичь конструкторского описания КТЭ соответствия компонентам маршрутной технологии их обработки. Обобщённый процесс развития поуровневой структуры соответствия системы КТЭ деталей компонентам технологической системы (ТС) их обработки представлен в табл. 2.

Полученная на основе информационного отбора [3] исходная периодическая структура высших классификационных группировок (тип, подтип, класс, подкласс) [4] используется как фундамент для дальнейшего информационного наращивания. Однако системное построение остальных таксонов признаков информационно более трудоёмко и требует (наряду с более чётким определением понятий уровней и таксонов) разработки и чёткой структуры информации, которая определена требованиями простоты и удобства использования системы.

Таблица 2

## Соответствие системы таксономической категории КТЭ деталей компонентам ТС

Таксономическая категория	Определение таксона
Тип	Высшая таксономическая категория, различающая основные КТЭ по величине их технологической значимости
Подтип	Одна из высших таксономических категорий, различающая КТЭ по величине их технологической значимости при отборе оборудования или приспособлений по степени сложности
Класс	Одна из высших таксономических категорий системы КТЭ деталей машин, различающая их по принципу изначального построения структуры и развития геометрических форм в соответствии с технологией обработки, определяющей присущий этому элементу вид работы или тип компонента ТС
Подкласс	Одна из высших таксономических категорий системы КТЭ деталей машин, различающая их по некоторым признакам, определяющим достаточно высокую вероятность обработки на определённых подтипах оборудования данного типа
Надсемейство	Надвидовая таксономическая категория системы КТЭ деталей машин, включающих совокупность их видов, определяющих общую маршрутную схему и имеющих единый рациональный вид компонентов ТС для обработки
Семейство	Надвидовая таксономическая категория системы КТЭ деталей машин, включающих совокупность их видов, уточняющих общую маршрутную схему и рациональный вид компонентов ТС для обработки
Род	Надвидовая таксономическая категория, получающаяся введением габаритных размеров $L$ , $D$ ( $L$ , $B$ , $H$ ) расчётом отношения $L/D$ . При расчёте этого отношения уточняется схема маршрута обработки ОЭ, типоразмер компонентов ТС
Вид	Основная структурная и классификационная таксономическая единица системы КТЭ деталей машин, уровень дискретности информационного описания в которой соответствует маршрутной технологии обработки этих элементов
Подвид	Таксономическая единица системы КТЭ деталей машин, формирующая технологическую информацию о виде операций и компонентов ТС
Разновидность	Таксономическая единица системы КТЭ деталей машин, включающих совокупность информации, достаточной для формирования команды на станок с ЧПУ
Особь (деталь)	Низшая, конкретная таксономическая единица системы КТЭ деталей, имеющая полное технологическое-математическое описание элемента

Для создания такой структуры проведено обобщение данных [5] и экстраполяция полученных закономерностей для более низких уровней на основе закона информационного отбора. В последовательности отбора для каждого таксона определено соответствие между конструктивно-геометрической информацией о детали и технологическими факторами её обработки (см. табл. 2). Заметим, что при этом формируем также и решение отдельных задач САПР ТП, реализация каждой из которых будет увеличивать экономическую эффективность системы. Структура системы, получающейся при поуровневом развитии информации о детали, показана в табл. 3.

Первоначально структурированная по вертикали пятью системно-информационными уровнями, табл. 3 имеет в составе 16 таксономических категорий конструктивно-технологической ин-

формации. Таким образом, развитием определённых признаков информации о детали на основе информационного отбора получена некоторая дискретная структура технической сферы производственной среды.

В то же время задаётся концептуальная среда, в которой осуществляется процесс эволюционного синтеза модели автоматизированной системы в форме некой онтологии. При этом выявляется взаимосвязь между отдельными элементами признаков деталей, находящихся на одном и том же уровне, в одной и той же таксономической категории (конструктивно-геометрическая форма, технология изготовления, факторы эффективности среды при последовательной автоматизации решения задач ТеПП).

Заметим, что соответствие конструктивно-геометрической и технологической информации об-

Таблица 3

**Развитие информационной эффективности производственной среды  
при последовательной автоматизации решения задач САПР ТП (фрагмент)**

Информационные уровни и категории	Последовательность информационного отбора в ходе развития информации о детали	Проявления иерархии отбора конструктивно-геометрической информации о детали	Взаимосвязь элементов технологического процесса обработки	Информационная эффективность среды при автоматизации решения задач ТеПП
Архетип (надтип)	Идея последовательного построения формы детали на основе информационного отбора	Элементно-модульный подход	Классификационно-эволюционный (генетический) подход	Понятие системной эффективности автоматизации как проявление КЭП
Тип	Выделение наиболее общего таксона категоризованной информации о детали	Обобщённый количественно-качественный состав ОЭ детали	Наиболее общее представление о технологической сложности изготовления	Начало проявления принципа технологической геометризации
Подтип	Выделение структурной сложности детали	Обобщённая структурная сложность (скелет) детали по взаимоположению ОЭ	Отбор оборудования или приспособлений по степени сложности	Начало постановки задачи выбора оборудования, приспособлений и маршрута ТП
Класс	Начало визуально-различимого формообразования (скелетно-объёмная форма)	Выделение объёмной формы на уровне общей схемы формообразования ОЭ	Отбор формообразующих движений (вращения, невращения), определяющих типы оборудования	Выбор типа оборудования и маршрута. Начало формирования задач унификации и расчёта трудоёмкости обработки
Подкласс нулевой (исходный) уровень	Первичное общее структурно-объёмное формирование детали	Сетка из 24 подклассов деталей, имеющих различную, периодически повторяющуюся топологию конструкции	Отбор способов основной обработки в порядке приоритетности (начало формирования схемы маршрута)	Наиболее общий выбор деталей для решения задач унификации, выбора основного типа оборудования и приспособлений
Надсемейство	Отбор конкретизированных форм	Отбор комплекса конкретных форм (цилиндрической, конической, криволинейной и т. д.)	Разделение технологии по отдельным приёмам обработки	Уточнение автоматизированного решения задачи унификации и выбора элементов ТП
Семейство	Дальнейшее отделение конкретных форм	Разделение по отдельным ОЭ	Уточнение технологической системы отбором типов инструмента и приспособления	Уточнение решения задачи выбора элементов ТП. Продолжение решения задачи расчета трудоёмкости
Род 1-й уровень (технологически-бездокumentный)	Размерное закрепление общих границ поверхности, действие количественного принципа приоритетности большего размера (ПБР)	Согласно принципу ПБР введение габаритных размеров $-L, D (L, B, H)$ , расчёт отношения $L/D$	Уточнение схемы маршрута обработки ОЭ, типоразмер оборудования и СТО расчётом отношения $L/D$	Решение задач обобщённого группирования деталей и ТП, выбора основного маршрута обработки, типоразмера оборудования и СТО

разует некоторый системный каркас ИПС, вмещающий автономные, но взаимосвязанные компоненты решения отдельных задач ТПП. Такие решения носят автоматизированный характер и уточняются на каждом уровне и подуровне (таксономической категории) в последовательности информационного отбора, а ИПС уже становится не информационно-поисковой, а информационно-аналитической системой (ИАС). В целом, указанная система образует идеологию генерирующей САПР ТП, практическое создание которой

определил некоторую экономическую эффективность разрабатываемой структуры КС.

При этом видимая эффективность производственной среды, в том числе и САПР, зависит от величины ячейки системной структуры: чем конкретнее системная структура информации о детали, тем больший информационный и экономический эффект получается при автоматизации. Именно на реализацию мелкоструктурированной, конкретной информации и настроено большинство современных САПР. При этом часто во внимание не прини-

мается эффективность информации верхних уровней, позволяющих автоматизированно решать наиболее общие задачи унификации, расцеховки, выбора оборудования, выбора и расчёта количества инструмента, выбора и расчёта количества заготовок; формировать предварительный маршрут обработки детали и др. При этом отсекается часть структуры среды и, соответственно, часть эффективности автоматизации ТеПП.

Таким образом, при формировании эффективной ТеПП в машиностроении можно сделать следующие выводы.

С помощью понятия таксономических рядов построена структура высших таксонов классификации деталей машин, на основе которой разработана их периодическая система [2, 4], представляющая исходный (0-й) уровень многоуровневой КС.

Последовательной конкретизацией (экстраполяцией) информации о детали сформирована система таксонов более низких уровней, получивших категоризированные определения, определено понятие «вид детали», которое является ключевым в системе уровней и таксономических категорий.

Показана и проанализирована структура развития производственной среды при последовательной автоматизации решения задач САПР ТП в соответствии с таксономическими категориями информации о деталях.

Заметим, что кроме ИАС для создания САПР ТП необходима разработка проблемно-ориентированного языка, в качестве исходной основы которого могут выступать категоризированные

определения понятий информации о детали, содержащиеся в системном определителе наименований и видов деталей [2,4].

В целом, указанные выше выводы образуют логически-последовательную систему реперов, связывая их в целостное основание для построения на предприятии КС деталей машин, приближающейся к естественному типу. При этом созданная структура уровней и таксономической категории становится основным каркасом, образующим эффективную производственную среду предприятия.

#### **Библиографические ссылки**

1. **Митрофанов С.П.** Групповая технология машиностроительного производства. Л.: Машиностроение, 1983. 407 с.
2. **Шириякин А.Ф.** Основы формирования многоуровневых классификаций естественного типа для создания эффективных производственных сред в машиностроении. Ульяновск: УлГТУ, 2009. 298 с.
3. **Шириякин А.Ф.** О проблемах качества автоматизации машиностроительных производственных сред // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 5. С. 30–35.
4. **Шириякин А.Ф., Деева Е.М.** Качество технической документации – необходимое условие эффективной автоматизации производства // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 5. С. 30–38.
5. **Шириякин А.Ф., Куприн П.Н., Василенко М.А.** Разработка системы категориальных рядов признаков конструктивно-технологических элементов деталей // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 10. С. 3–10.



## **СПРАВОЧНИК ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА**

**Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов**

464 с.: ил.

ISBN: 978-5-217-03389-8

**Цена 363 р.**

Помещены справочные данные, необходимые для конструирования и рациональной эксплуатации режущего и абразивно-алмазного инструмента. Приведены сведения о современных инструментальных материалах, режущих и вспомогательных инструментах, в том числе об инструментальной оснастке станков с ЧПУ, методах модификации рабочих поверхностей металлообрабатывающего инструмента, режимах термообработки, методах затачивания, контроля, маркировки, консервации и упаковки инструмента.

Предназначен для инженеров-конструкторов и технологов машиностроения, может быть полезен студентам технических университетов, обучающихся по специальности "Технология машиностроения, металлообрабатывающие станки и инструменты".

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:  
по почте: 107076, г. Москва, Стрёминский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru  
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 004.056

**А.А. Аленин** (Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского университета «МИФИ»)

styleal@mail.ru

## ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ЗВУКОВЫХ ФАЙЛАХ

*Рассмотрена возможность выявления скрытой передачи информации в звуковых файлах. Выявление производится сравнением эмпирического закона распределения трапецеидальных импульсов с нормальным законом распределения. Дано определение ошибок первого и второго рода в контексте выявления скрытой передачи информации. По значениям ошибок первого, второго рода и критерию Неймана–Пирсона определён оптимальный закон распределения для выявления скрытой передачи информации.*

**Ключевые слова:** методы скрытой передачи информации, звуковой файл, наименьший значащий бит, контейнер, ошибка первого рода, ошибка второго рода, участок тишины, трапецеидальный импульс, закон распределения, критерий согласия.

*Possibility of the conceal information transmission reveal in sound files is considered. Identification is made by the distribution empirical law comparison of trapezoid impulses with the distribution normal law. Definition of the first and second errors kind in a context of conceal information transmission reveal is made. The optimum distribution law is determined from the first and second errors kind values and Neumann–Pearson's criterion for conceal information transmission reveal.*

**Key words:** conceal information transmission methods, sound file, the least significant bit, container, first kind error, second kind error, bucket silence, trapezoid impulse, distribution law, negotiation criterion.

**Введение.** Безопасность информации, пересылаемой по глобальным и локальным компьютерным сетям, может обеспечиваться методами скрытой передачи информации в различных мультимедийных объектах (например графических и звуковых файлах).

Методы скрытой передачи информации, в отличие от криптографических методов обеспечения информационной безопасности, скрывают сам факт передачи или хранения информации. Это достигается путём встраивания передаваемой информации в различные мультимедийные объекты (контейнеры), которые не теряют от этого своих потребительских свойств.

В отношении вычислительной техники выдвинулось отдельное направление скрытой передачи информации – скрытая передача информации в цифровых объектах. В качестве контейнеров здесь используются файлы различных форматов, сетевые пакеты и т. д. Например, информацию можно передать в звуковом файле, который впоследствии воспроизведётся практически точно так же (с тем же качеством) как исходный файл без вложения. Самым распространённым методом встраивания информации в звуковые файлы является метод замены наименьшего значащего бита (LSB – Least Significant Bit, наименьший значащий бит).

В настоящее время большинство реально работающих программ, которые используют в качестве

контейнеров звуковые файлы, встраивают информацию только простым методом LSB, в отличие от программ, использующих текстовые и графические контейнеры. Это объясняется сложностью реализации альтернативных методов встраивания информации в звуковые файлы (метод фазовой вариации, метод расширения спектра, метод встраивания в эхо-сигнал) и малым объёмом встраиваемой информации.

Скрытая передача информации по компьютерным сетям стала доступна для большинства пользователей и может применяться в противозаконных целях, например, для несанкционированной передачи коммерческих или государственных секретов, переписки террористических группировок. Поэтому появляется необходимость в разработке эффективных методов выявления скрытой передачи информации в мультимедийных объектах, пересылаемых по компьютерным сетям.

В литературных источниках предложено несколько методов выявления скрытой передачи информации в звуковых файлах. Например, предложен метод, основанный на статистическом анализе максимума частоты с применением байесовского классификатора [1]. В другой работе анализируются вейвлет области методом главных компонент, в качестве классификатора используется радиально-базисная функция [2]. В работе [3] предлагается использование алгоритма сжатия

для выявления скрытой передачи информации в звуковом файле. В статье [4] рекомендуется выявлять скрытую передачу информации с применением коэффициентов мел-кепстра и функции второй производной звукового сигнала.

**Постановка задачи.** В большинстве случаев встраивание информации происходит по всей длине звукового файла, включая участки относительной тишины. С точки зрения выявления скрытой передачи информации это наиболее уязвимый участок звукового файла. Такой участок появляется в паузах между воспроизведением музыкальных произведений, в радиорепортажах, радиоспектаклях, звуковых книгах и т. д. Можно попытаться обнаружить скрытую передачу информации, анализируя статистический закон распределения трапецидальных импульсов на участке тишины звукового файла.

Основываясь на возможности выявления трапецидального импульса на фоне всех остальных видов сигналов, на участке тишины необходимо определить теоретический закон распределения трапецидальных импульсов в звуковом файле со встроенной и без встроенной информации [5]. Сравнивая теоретический закон распределения с эмпирическим законом распределения, можно сделать вывод о наличии либо отсутствии скрытой передачи информации в звуковом файле.

Если в результате сравнения эмпирического распределения пустого контейнера с теоретическим распределением принимается решение о наличии скрытой передачи информации, то такая ситуация называется ошибкой первого рода. Если же в результате сравнения эмпирического распределения заполненного контейнера с теоретическим распределением принимается решение об отсутствии скрытой передачи информации, то такая ситуация называется ошибкой второго рода.

**Анализ статистического закона распределения трапецидальных импульсов.** Начальный фрагмент звукового файла, содержащий тишину, разбивается на отрезки. На каждом отрезке подсчитывается число трапецидальных импульсов и выдвигается нулевая гипотеза о соответствии выборки теоретическому закону распределения генеральной совокупности. Нулевая гипотеза проверяется по критерию Колмогорова. Если нулевая гипотеза подтверждается, то делается вывод о наличии в звуковом файле встроенной информации.

Для её выявления необходимо решить задачу выбора оптимального теоретического закона распределения и уровня значимости, при котором будет достигнута минимальная ошибка второго рода.

Найти теоретический закон распределения  $y = f(x)$  для некоторого признака  $X$  генеральной совокупности можно путём сравнения условий, в которых протекает массовое явление с вероятностными схемами, лежащими в основе известных теоретических законов распределения. Для этого необходима проверка гипотезы соответствия эмпирического закона распределения теоретическому, т. е. проверка нулевой гипотезы по критерию согласия Колмогорова. Если выполняется условие  $\lambda \leq \lambda_{1-q}$ , то принимается нулевая гипотеза с уровнем значимости  $q$  [6]:

$$P(\lambda) = P(\lambda \leq \lambda_{1-q}),$$

$$P(\lambda) \approx 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k\lambda},$$

$$D = \max|F(x) - G(x)|,$$

$$\lambda = D\sqrt{n}, \quad (1)$$

где  $F(x)$  — теоретический закон распределения;  $G(x)$  — эмпирический закон распределения;  $\lambda$  — мера различия между теоретической и эмпирической функциями распределения;  $n$  — размерность выборки.

Значение  $\lambda$  рассчитывалось по формуле (1) для эмпирического распределения звукового файла без встроенной информации и нормального распределения, а также экспоненциального, равномерного и рэлеевского распределения. Аналогично рассчитывалось значение  $\lambda$  для эмпирического распределения звукового файла с встроенной информацией и указанными выше теоретическими законами распределения.

Значение  $\lambda$  является численной мерой различия эмпирического закона распределения трапецидальных импульсов и теоретического закона распределения.

Плотность нормального распределения вычислялась из выражения  $x^x$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $m$  — математическое ожидание;  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение.

Плотность экспоненциального распределения определялась из выражения

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \alpha e^{-\alpha x} & x \geq 0 \end{cases}, \quad \alpha = \frac{1}{m_x},$$

где  $m_x$  — выборочное математическое ожидание.

Таблица 1

Параметры законов распределения

Закон распределения	Тип файла	$\bar{\lambda}$	$\Delta\bar{\lambda}$	$D(\lambda)$
Нормальный	без вложения	3,42294	2,25517	1,95446
	с вложением	1,16777		0,06987
Экспоненциальный	без вложения	5,63333	2,63923	7,082424
	с вложением	2,99410		0,517654
Равномерный	без вложения	5,66944	3,67259	6,874842
	с вложением	1,99685		0,181864
Рэлеевский	без вложения	5,71625	4,02665	6,652351
	с вложением	1,68960		0,395094

Плотность равномерного распределения определялась из выражения

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b], \\ 0, & x \notin [a, b] \end{cases}$$

$$a = m_x - \sigma_x \sqrt{3}; \quad b = m_x + \sigma_x \sqrt{3},$$

где  $\sigma_x$  – выборочное среднее квадратичное отклонение.

Плотность рэлеевского распределения вычислялась из выражения

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x}{2\sigma^2}}, & x \geq 0; \end{cases} \quad ; \quad \sigma = m_x \sqrt{\frac{2}{\pi}}.$$

**Определение оптимального статистического закона распределения трапецеидальных импульсов.** По результатам анализа статистического закона распределения трапецеидальных импульсов, приведённого выше, рассчитывалось среднее арифметическое значение  $\lambda$  ( $\bar{\lambda}$ ), разность между максимальным и минимальным значением  $\bar{\lambda}$  для одного закона распределения, но с разным типом файлов ( $\Delta\bar{\lambda}$ ) и дисперсия ( $D(\lambda)$ ) (табл. 1).

Оптимальный теоретический закон распределения определяется по критерию Неймана–Пирсона с целью минимизации ошибки второго рода, при заданном уровне значимости  $q$  и соответствующего  $\lambda_{1-q}$  [7].

В табл. 2 приведены значения ошибок первого и второго рода для различных значений уровня значимости  $q$  и соответствующего  $\lambda_{1-q}$

Ошибка первого рода  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = \int_{-\infty}^{x_0} P_1(x) dx = \Phi\left(\frac{x_0 - s}{\sqrt{D}}\right),$$

где  $x_0$  – пороговое значение, равное  $\lambda_{1-q}$ ;  $D$  – дисперсия эмпирического распределения трапецеидальных импульсов в файле с вложением;  $\Phi()$  – интеграл вероятности;  $s = \lambda$ .

Ошибка второго рода  $\beta$  определяется по формуле

$$\beta = \int_{x_0}^{\infty} P_0(x) dx = 1 - \Phi\left(\frac{x_0}{\sqrt{D}}\right).$$

Таблица 2

Значения ошибок первого и второго рода

$q$	$\lambda_{1-q}$	Закон распределения	$\alpha$	$\beta$
0,1	1,2238	Нормальный	0,5160	0,1922
		Экспоненциальный	0,2514	0,3228
		Равномерный	0,3859	0,3192
		Рэлеевский	0,4286	0,3156
0,05	1,3581	Нормальный	0,5557	0,1660
		Экспоненциальный	0,2709	0,3050
		Равномерный	0,4052	0,3015
0,01	1,6276	Нормальный	0,6293	0,1230
		Экспоненциальный	0,3015	0,2709
		Равномерный	0,4443	0,2676
		Рэлеевский	0,4920	0,2643

Сравнивая значения ошибок второго рода, приведённые в табл. 2, можно сделать вывод, что оптимальным теоретическим законом распределения трапецеидальных импульсов является нормальный закон распределения с уровнем значимости 0,01 и ошибкой второго рода 12,3 %.

**Выводы.** Проведённое исследование показало, что скрытую передачу информации в звуковых файлах можно выявить, сравнивая эмпирический закон распределения трапецеидальных импульсов на участке тишины с нормальным законом распределения при уровне значимости 0,01.

#### *Библиографические ссылки*

1. Zeng W., Ai H., Hu R., Gao S. An algorithm of echo steganalysis based on bayes classifier // International Conference on Information and Automation (ICIA 2008). 2008. P. 1667–1670.
2. Fu J., Qi Y., Yuan J. Wavelet domain audio steganalysis based on statistical moments and PCA // Proceedings of the International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 07). 2007. Vol. 4. P. 1619–1623.
3. Очимов С.Ю. Стегоанализ аудиофайлов, базирующийся на алгоритмах сжатия // Вестник СибГУТИ. 2010. № 1. С. 33–40.
4. Liu Q., Sung A. H., Qiao M. Derivative-based audio steganalysis // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications (ТОМССАР). 2011. Vol. 7. P. 190–199.
5. Аленин А.А., Михайлов В.И., Алексеев А.П. Выявление стеганографических вложений в WAV-файлах с помощью спектрального анализа // Инфокоммуникационные технологии. 2011. Т. 10. № 2. С. 53–57.
6. Иглин С.П. Математические расчёты на базе MATLAB. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 640 с.
7. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.

УДК 004.942

**А.С. Соловьёв, П.Н. Воробкалов**, канд. техн. наук, доц.  
(Волгоградский государственный технический университет)

a.s.solovyov@gmail.com

### **ЭВОЛЮЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*Рассмотрен метод поиска оптимальных параметров литейных процессов на основе численного моделирования с помощью решателей OpenFOAM с использованием эволюционных алгоритмов. Предлагаемый метод направлен на снижение брака литья через предварительную отладку технологии изготовления отливки нужного качества.*

**Ключевые слова:** моделирование литейных процессов, оптимизация, OpenFOAM, эволюционные алгоритмы.

*Search method of the casting processes optimal parameters from a numerical modelling through the use of OpenFOAM solvers and evolutionary algorithms is considered. The proposed method directed at molding waste descent through the preliminary adjustment of the manufacturing technology of the necessary quality molding.*

**Key words:** casting processes modelling, optimization, OpenFOAM, evolutionary algorithms.

**Введение.** В течение последних десяти лет наблюдался рост возможностей систем компьютерного моделирования литейных процессов, обусловленный совершенствованием методов вычисления, математического аппарата и одновременным применением результатов численных экспериментов на реальном производстве. При этом большинство из таких систем формировались как сумма возможностей численных методов, математики, опыта и знаний материаловедов [1]. Такой подход позволяет получить точные модельные расчёты, но в то же время процесс получения

этих результатов требует привлечения специалистов, способных поставить численный эксперимент и правильно интерпретировать его результаты. Привлечение специалистов обуславливает возникновение дополнительных сложностей внедрения систем на производстве.

В российских условиях внедрение систем моделирования литейных процессов осложняется дефицитом квалифицированных специалистов. Кроме того, получаемые результаты часто не отвечают требованиям литейщиков. Марк Джолли в статье [1] отмечает ряд задач поддержки

производства, которые востребованы литейщиками. Одна из таких задач выделяет анализ, интерпретацию и прогнозирование результатов численных экспериментов. С учётом этих факторов к актуальным задачам развития систем поддержки литейного производства относятся создание методов интеллектуального анализа результатов симуляции литейных процессов, а также средств связывания систем моделирования и систем интерпретации результатов моделирования.

Одним из этапов проектирования литейной технологии является процесс отладки. Этот процесс включает последовательный расчёт значений параметров литейных процессов (температура металла, время заполнения формы расплавом, температура формы в отдельных её частях и т. д.), их экспериментальную апробацию, анализ результатов и смену значений параметров. Процесс отладки – итеративный процесс, затратный по времени для технолога и по ресурсам, расходуемым на апробацию, поэтому его оптимизация является востребованной задачей. Для решения такого типа задач необходимо применять методы оптимизации в связке с методами численного моделирования литейных процессов.

Для решения задач физического моделирования существует мировая практика применения предварительных экспериментов с использованием специализированных пакетов симуляций, но ввиду неизвестного вида зависимости между значениями параметров литейных процессов и качеством выходной отливки необходимо проводить серию таких экспериментов.

С учётом большой размерности систем конечных элементов либо разностной сетки процесс расчёта может затягиваться на часы и даже дни. Большая длительность расчётов осложняет реализацию полностью автоматизированного поиска необходимых значений параметров. Применение классических методов поиска в таких условиях практически невозможно. Для ускорения расчётов можно применять системы параллельных вычислений, но их использование требует дополнительной переработки алгоритмов, а также создания дополнительной прослойки между модулями, выполняющими модельные расчёты, и модулями управления процессом поиска нужных значений параметров моделируемых процессов. Другой путь – применение упрощений, основанных на опыте литейщиков, и сокращение вычислительной сложности моделей [2, 3]. В первом случае существует риск повышения сложности системы и затрат на её эксплуатацию, во втором – риск снижения адекватности и универсальности получаемых результатов.

**Постановка задачи и эксперимент.** С учётом описанных выше проблем существующих систем и методов поддержки литейного производства выделим основные факторы, осложняющие автоматизацию процесса отладки литейной технологии:

ресурсоёмкость модельных расчётов увеличивает длительность экспериментов;

нелинейный характер зависимостей между параметрами литейных процессов и выходным качеством отливки осложняет оптимизацию;

различные производственные условия вызывают дополнительные сложности при прогнозировании течения литейных процессов.

Для эффективной оптимизации необходимо разработать метод, применение которого позволило бы снизить влияние перечисленных выше факторов. В ходе разработки такого метода был принят ряд решений. Во-первых, вопрос ресурсоёмкости модельных расчётов может быть преодолен за счёт применения параллельных вычислений, так как сложность расчётов с применением конечно-элементных и конечно-разностных схем увеличивается исключительно с увеличением количества элементов (или разрешением сетки для разностных схем), а также числа решаемых дифференциальных уравнений. Применение параллельных вычислений требует специальной подготовки непосредственных решателей. В качестве решателя был выбран открытый бесплатный продукт OpenFOAM. Выбор был обусловлен следующими факторами:

наличием готовых решателей основных дифференциальных уравнений для выполнения расчётов по заполнению форм расплавом, а также расчёта температурного режима внутри формы;

возможностью встраивания собственных дифференциальных уравнений по необходимости;

использованием распространённого формата для представления результатов и входных данных (формат Visualization toolkit, поддерживаемый свободным визуализатором ParaView);

исполнением в виде библиотеки классов, позволяющим использовать напрямую из исходного кода;

наличием готовых утилит подготовки входных данных и представления граничных и начальных условий.

Входные данные для решателей включают исходную геометрию отливки во внутреннем формате (структурированные текстовые файлы с координатами вершин и индексными списками триангулированных поверхностей), начальные условия (сведения о фазовых состояниях пространства, скорости и температуры расплава) и граничные условия эксперимента (физические типы поверхностей, места подвода и вывода рас-

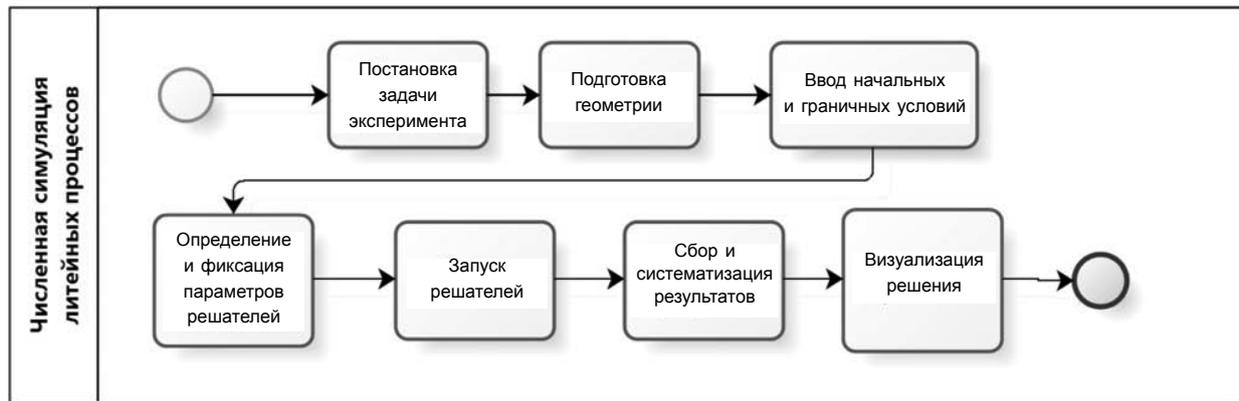


Рис. 1. Диаграмма процесса подготовки и проведения численного эксперимента

плава на форме). Причём рекомендуется использовать специфические решатели для одной и той же задачи, чтобы сравнить их результаты и выбрать лучший для отдельных специфических сторон протекающих внутри отливки процессов [5]. В этом случае может потребоваться ввод системных параметров исполнения каждого из выбранных типов решателей.

Используя OpenFOAM, можно получить следующие сведения о литейных процессах во время эксперимента:

- фазовые распределения среды внутри отливки (жидкий металл, воздух, формовочная смесь);
- скорость расплава в любой точке формы на всём протяжении эксперимента;
- температура расплава в любой точке отливки на всём протяжении эксперимента.

Процесс проведения численного эксперимента можно представить в виде диаграммы (рис. 1).

Этап постановки задачи — ключевой момент в ходе всего эксперимента. Этот этап включает выбор требуемых выходных данных. По типу выходных данных формулируется система дифференциальных уравнений, передаваемых на решатели в ходе симуляции. Для успешного проведения эксперимента важно обеспечить сходимость решения. В данном случае для решения задач течения несжимаемой жидкости и расчёта теплового режима рекомендуется рассчитывать предельную величину шага времени, используя число Куранта [4]:

$$C_0 = \frac{\delta t |U|}{\delta x},$$

где  $\delta t$  — шаг времени;  $U$  — модуль скорости прохождения жидкости через конечный объём;  $\delta x$  — размер ячейки в направлении движения жидкости.

Число Куранта — это безразмерное число, которое сравнивает временной шаг в вычислениях с характерным временем прохождения элемента

жидкости через контрольный объём. Для устойчивого решения число Куранта должно быть меньше единицы на всём пространстве решения. Это условие и будет являться ключевым при оценке сходимости решения системы дифференциальных уравнений.

Получаемые на выходе решателей сведения объединяются в первичные данные для процесса пост-обработки, который заключается в непосредственной интерпретации результатов в ключе поставленной перед экспериментом задачи. Это может быть, например, определение вероятности возникновения дефекта при полученных условиях, исходя из опыта технолога, анализирующего эксперимент. Общий вид процесса отладки литейной технологии представлен на рис. 2.

Особенно сложными являются этапы подготовки исходных данных и интерпретации результатов симуляции. Эти этапы требуют знаний и опыта одновременно и в области численного эксперимента, и в области материалов и литейного производства. Замену специалистов можно обеспечить методами экспертных систем, которые будут оперировать причинно-следственными связями в терминах предметной области, в данном случае терминами литейного дела. Автоматизация этапов подготовки данных может быть обеспечена за счёт разработки конвертеров из распространённых форматов систем геометрического моделирования с возможностью визуального редактирования граничных и начальных условий.

Экспертный опыт позволяет определить нужные значения параметров оптимизации. Как указывалось ранее, исходный вид зависимости между параметрами литейной технологии и выходным качеством отливки неизвестен. Для его идентификации нужно использовать интеллектуальные методы, например эволюционные алгоритмы.

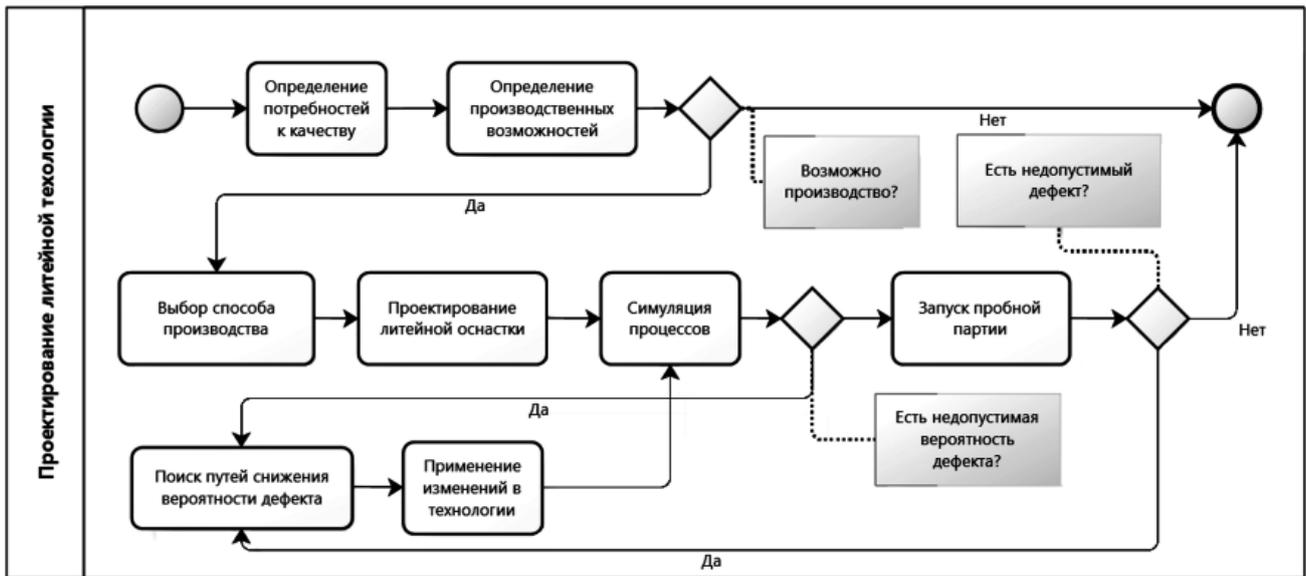


Рис. 2. Диаграмма процесса отладки технологии на производстве

Эволюционные методы позволят проводить поиск, имея только общие представления о его направлении, основанные на экспертных знаниях. Суть этапа непосредственной оптимизации заключается в том, чтобы использовать исходное множество параметров оптимизации в виде хромосомного набора, разные варианты которого приводят к изменению выходных качеств – целевой функции оптимизации. Подготовленные хромосомы подвергаются скрещиванию и мутации с последующей апробацией в численном эксперименте. Результаты эксперимента интерпретируются как база для оценки жизнеспособности отдельных наборов.

Целевая функция оптимизации должна отвечать требованиям к качеству выходной отливки и включать в себе значения оптимизируемых параметров в прямом или косвенном виде. Для формализации целевой функции предложена следующая структура. Пусть выходная функция есть взвешенная сумма критериев качества оптимизируемого процесса. Состав критериев должен определяться технологом на этапе постановки задачи. Тогда целевую функцию можно представить в виде

$$C = \sum_0^n K_i | S_i - S_0 |,$$

где  $K_i$  – вес критерия;  $S_i$  – прогнозируемое значение критерия;  $S_0$  – желаемое значение критерия;  $n$  – общее число критериев.

Значение оптимизируемого критерия зависит от значений параметров литейных процессов. Определив подмножество параметров, изменение

которых влияет на изменение выходного критерия, целевую функцию можно преобразовать к следующему виду:

$$C = \sum_0^n | F(\Omega_i) - S_0 | K_i,$$

где  $\Omega_i$  – взвешенное подмножество параметров, от которых зависит критерий  $S_i$ ;  $F(\Omega_i)$  – общий вид зависимости между взвешенной суммой значений параметров литейного процесса и значением выходного критерия;  $S_0$  – желаемое значение критерия;  $n$  – общее число критериев.

Таким образом, задачи оптимизации в рамках разрабатываемого метода можно сформулировать следующим образом:

- поиск подмножеств параметров  $\Omega_i$  для каждого выходного критерия;
- идентификация вида функции  $F(\Omega_i)$  для каждого критерия;
- многокритериальный поиск значений оцениваемых параметров литейных процессов на основе полученной целевой функции  $C$ .

В рамках задачи поиска подмножества параметров  $\Omega_i$  необходимо оценивать их значимость, исходя из результатов симуляций, а затем отсеивать пороговыми значениями.

Для иллюстрации проведём условный эксперимент. Пусть имеется некая геометрия сосуда, разделённого перегородкой на две равные части (рис. 3).

В сосуде находится столб жидкости, который в начале эксперимента под воздействием тяжести падает на дно и распределяется между двумя частями формы. Необходимо подобрать такую высо-

ту перепонки, которая обеспечила бы распределение жидкости между частями сосуда в соотношении 70 и 30 %.

В данном случае хромосомный набор параметров будет включать один параметр — высоту перегородки  $H$ . Тогда

$$\Omega = \{H\},$$

где  $\Omega$  — множество параметров оптимизируемого процесса.

Выходной критерий — высота жидкости в правой части формы  $H_r$ , т. е. множество выходных критериев примет вид

$$S = \{H_r\},$$

где  $S$  — множество выходных критериев качества оптимизируемого процесса;  $H_r$  — желаемая высота жидкости в правой части формы.

Целевая функция примет вид

$$C = |F(H) - H_r|K,$$

где  $C$  — целевая функция;  $K$  — вес критерия, в данном случае равен 1;  $H_r$  — желаемая высота жидкости в правой части формы, в данном случае вычисляется из условия распределения 30 % всей жидкости.

Условием поиска будет минимизация функции  $C$  с погрешностью, задаваемой технологом при постановке задачи оптимизации, либо осуществлению заранее заданного числа итераций, пройденных алгоритмом. Экспертным опытом в данном случае будет тот факт, что высота перегородки точно не должна превышать высоту столба жидкости и в то же время должна быть не ниже, чем необходимая вместимость правой части сосуда, т. е. 30 % жидкости. Используя эти условия, генерируем несколько вариантов хромосом. В качестве граничных условий задаём твёрдые стенки сосуда и открытую атмосферу в верхней стороне. Начальным условием будет фазовое распределение — жидкости и воздуха. Таким образом, подготовка исходных сведений завершена. После экспорта геометрии и определения шага времени приступаем к непосредственным экспериментам. Условием завершения каждого эксперимента выберем уменьшение средней скорости движения жидкости до минимального уровня 0,01 м/с.

Алгоритм действий будет следующий:

1) на тестовой выборке результатов прогона хромосом на модели выбирается первое приближение искомого вида функции  $F(\Omega_i)$  (в данном случае выбор был из квадратичной функции, линейной и экспоненциальной, но в итоге множество может быть расширено);

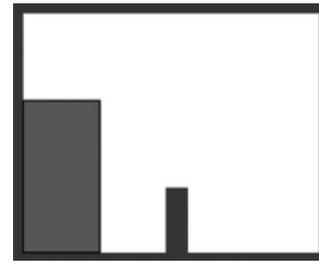


Рис. 3. Геометрия условной формы

2) делается прогноз результатов эксперимента на оставшихся хромосомах, основываясь на выбранной кривой;

3) проводятся экспериментальные расчёты на модели;

4) если результаты совпадают с прогнозными, то процесс оптимизации завершается, если же иначе, то выполняется следующий шаг;

5) после каждой серии экспериментов оценивается каждая хромосома, отсеивается доля худших (в данном случае 50 %);

6) случайным образом набор хромосом разбивается на пары;

7) случайным образом определяется точка внутри каждой хромосомы пары и производится обмен частями;

8) с вероятностью  $1/n$  производится инвертирование значения случайного параметра хромосом;

9) дополняется набор новыми хромосомами, полученными в результате кроссинговера и мутации;

10) переоценивается вид функции  $F(\Omega_i)$  на новых данных;

11) далее осуществляют переход на шаг 2.

Для первой оценочной выборки были отображены две хромосомы на границах охваченного всем множеством диапазона. По итогам был выбран линейный вид функции

$$F(\Omega_i) = kH,$$

где  $k$  — тангенс угла наклона прямой;  $H$  — высота перегородки.

Итоги предварительной оценки позволили получить искомую кривую (рис. 4).

При прохождении четырёх поколений хромосом была получена кривая (см. рис. 5).

По прошествии четырёх итераций разность между прогнозом и численным экспериментом при тех же значениях параметров составила менее 5 % от экспериментальной величины. Таким образом, можно было вывести решение: целевой уровень  $H = 33$ .

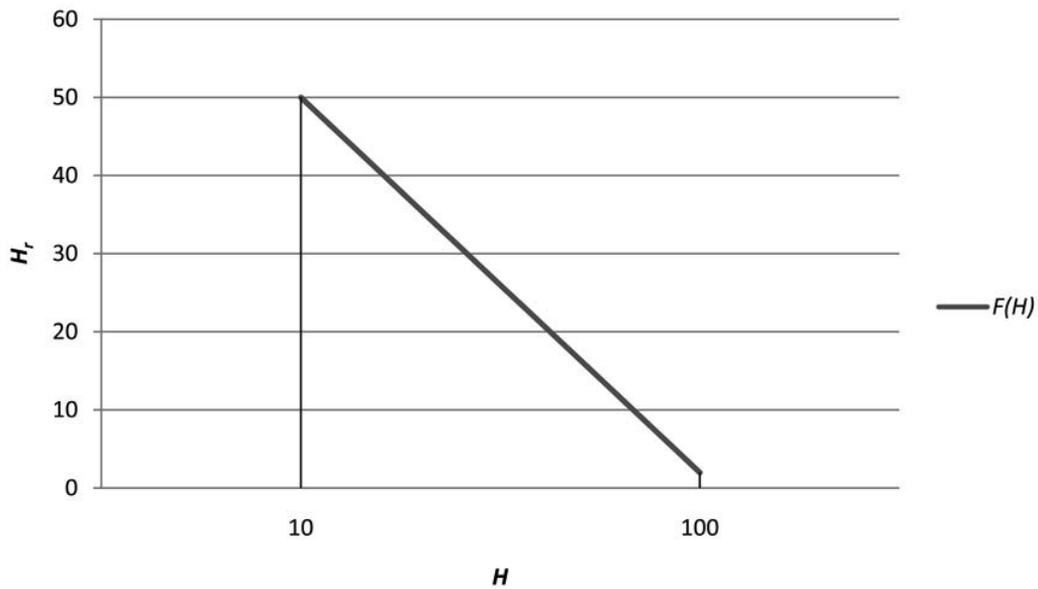


Рис. 4. Предварительный вид искомой кривой  $F(\Omega_i)$

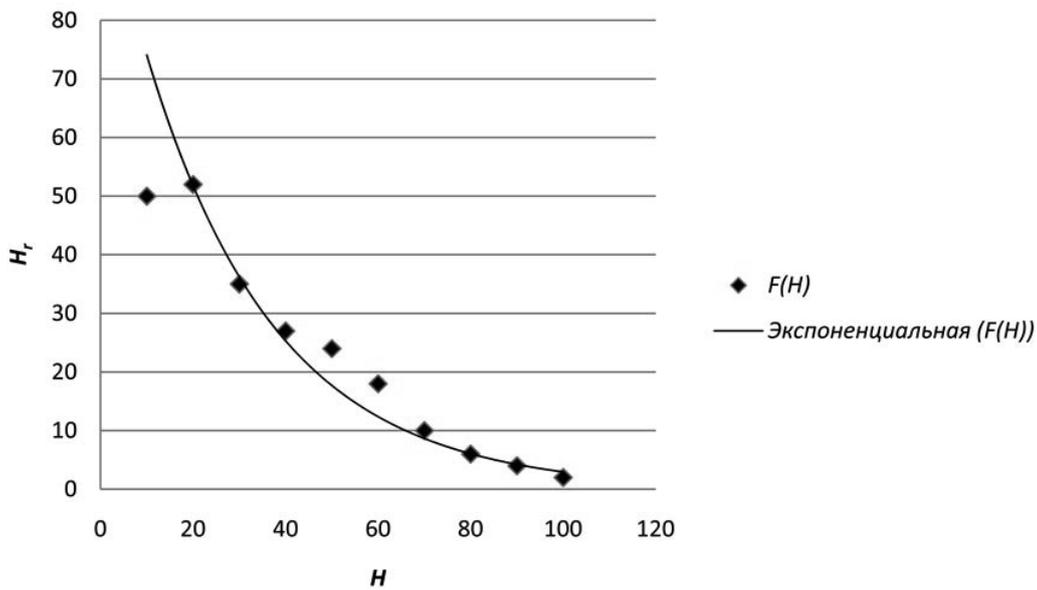


Рис. 5. Вид кривой  $F(\Omega_i)$  по прошествии четырёх итераций алгоритма

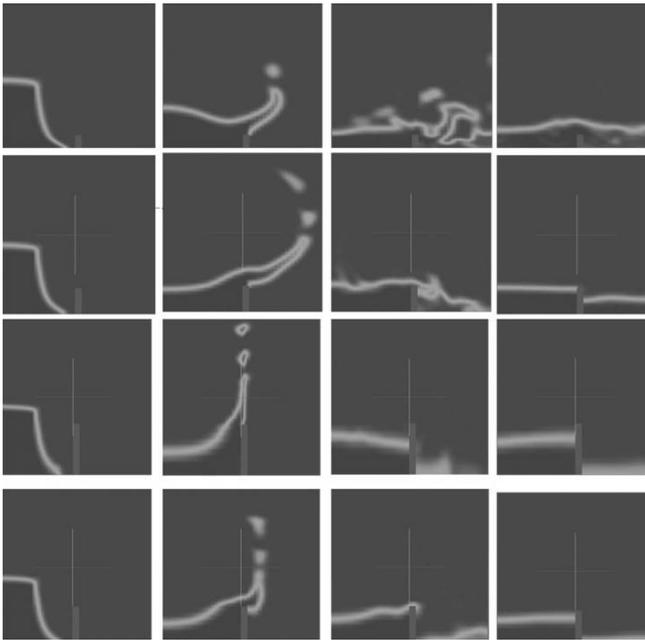
На рис. 6 представлены проверочные результаты хромосом из четвёртой серии экспериментов.

В итоге после четырёх итераций наиболее эффективным оказался второй вариант, который обеспечил допустимый результат – необходимое распределение жидкости в форме.

Для решения каждого варианта потребовалось около 5 мин. С учётом размера популяции и количества итераций получаем общее время, равное 80 мин расчётов. Дополнив время подготовки исходных данных, преобразования форматов и вызовов решателей получаем 180 мин. Таким обра-

зом, несмотря на полученный результат, время работы остаётся ощутимо большим.

**Заключение.** В результате анализа полученных результатов было отмечено, что часть времени симуляции почти не отличается от популяции к популяции и приводит к константному результату. В данном случае это моменты времени до столкновения жидкости с перегородкой. Этот факт позволяет предположить, что возможен перенос этих результатов на следующие поколения, т. е. возможна организация своеобразной памяти поколений. За счёт этого можно сократить общее



**Рис. 6.** Результаты эксперимента на четвёртой итерации оптимизации (на каждой строке отдельная симуляция)

время расчётов, перенося результаты и проверяя их актуальность только в части экспериментов.

Также обнаружена схожесть результатов отдельных особей, изменение хромосом в которых проводилось в одном направлении (в данном случае рост уровня перегородки выше, чем 40 % высоты столба жидкости). Такие результаты можно аппроксимировать между несколькими экспериментами, например, если есть сведения об ухудшении в некотором интервале значений параметров, то вероятно внутри этого интервала резуль-

таты экспериментов будут также отрицательными. Такое предположение верно только в случае монотонной зависимости между параметром и качеством отливки, поэтому необходимо определять границы линейности прежде чем доверять полученным закономерностям.

По итогам проведённой работы можно сделать вывод, что на данном этапе исследований необходимо найти критерии поиска и оценки неизменяющихся участков массивов выходных данных, а также критерии идентификации линейных зависимостей с целью аппроксимации результатов части экспериментов внутри группы хромосом. Также требуется разработка алгоритмов сопряжения систем решателей и оптимизаторов для снижения степени участия пользователя в системе. Кроме того, нужна проверка поставленных гипотез на задачах с большим числом параметров и более сложной структурой выходного качества отливки, чтобы оценить их применимость.

#### **Библиографические ссылки**

1. **Jolly M.** Casting simulation: How well do reality and virtual casting match? State of the art review // Int. J. Cast Metals Res. 2002. № 14. С. 303–313.
2. **Roshan H.** Process optimization as a tool in the analysis of steel casting defects, 2005.
3. **Pao William K-S.** A new geometric reasoning technique for hot spot prediction in sand casting / Rajesh S. Ransing, Roland W. Lewis, William K-S. Pao // ECTI transactions on electrical Eng., Electronics and Communications. 2006. № 1.
4. **Инструкция** пользователя к решателям OpenFOAM / OpenFOAM ltd., 2011. URL: <http://www.openfoam.com> (дата обращения 12.01.2011).
5. **Hassan Hemida.** OpenFOAM tutorial: Free surface tutorial using interFoam and rasInterFoam / Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden. 2008. № 14.



## **ОБРАБОТКА ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ: справочник**

**С.В. Кирсанов, В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, А.Г. Схиртладзе**

2010 г. 344 с. ISBN 978-5-94275-521-8

**Цена 600 р.**

Рассмотрены современные конструкции инструментов для обработки глубоких отверстий. Даны рекомендации по их проектированию, изготовлению и эксплуатации. Приведены сведения о технологии обработки глубоких отверстий, используемых станках и приборах для контроля глубоких отверстий.

Предназначен для технологов и конструкторов машиностроительных предприятий, а также студентов вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:  
по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: [realiz@mashin.ru](mailto:realiz@mashin.ru)  
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте [WWW.MASHIN.RU](http://WWW.MASHIN.RU)



## ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

### **CISCO ПОВЫШАЕТ ПРИБЫЛЬНОСТЬ ПАРТНЁРСКОГО БИЗНЕСА С ПОМОЩЬЮ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕРВИСНОЙ ПАРТНЁРСКОЙ ПРОГРАММЫ**

На своей ежегодной партнёрской конференции (проходила 16–19 апреля 2012 г. в Сан-Диего, штат Калифорния) компания Cisco объявила новую глобальную сервисную партнёрскую программу, предназначенную для повышения прибыльности и ускорения окупаемости бизнеса её партнеров. Cisco Global Services Partner Program предоставит партнёрам доступ к интеллектуальным услугам Cisco и компенсациям за объёмы услуг, предоставленных заказчикам.

В настоящее время услуги дают партнёрам Cisco до 50 % выручки (ещё пять лет назад этот показатель составлял лишь 20 %). Cisco стремится ускорить эту тенденцию с помощью сервисной партнёрской программы и встраивания интеллектуальных услуг Cisco в сервисные предложения партнёров.

Анонсированная в Сан-Диего сервисная партнёрская программа Cisco объединила 47 различных программ в единую и непротиворечивую международную систему сервисных деловых отношений. Эта программа хорошо координируется с общей партнёрской программой Cisco (Channel Partner Program). Она мотивирует партнёров устанавливать максимально продуктивные отношения с заказчиками и предлагает более высокие вознаграждения за инвестиции партнёров в решения Cisco. Модель компенсации строится на основе скидок, к которым прибавляются возвратные платежи за производительность. В результате партнёры получают от Cisco предсказуемые возвратные платежи, укрепляющие финансовое положение партнёров.

«Обкатка» этой программы на двух с половиной тысячах партнёров компании Cisco в США и Канаде дала следующие результаты:

партнёры на 15 % повысили объёмы заказов, на которые начисляются возвратные платежи;

количество партнёров, получающих возвратные платежи, увеличилось втрое по сравнению с предыдущими программами.

Новая программа будет предложена всем партнёрам во всех регионах мира в течение предстоящих 12–18 месяцев. Пока же в ней участвуют более 4 тыс. партнёров из США, Канады, Израиля и Азиатско-Тихоокеанского региона.

Новая сервисная партнёрская программа предоставит партнёрам доступ к новаторским интеллектуальным услугам Cisco, включая услуги, предоставляемые под торговой маркой Cisco, и совместные услуги Cisco и её партнёров. Авторизованные партнёры смогут воспользоваться новой совместной интеллектуальной услугой (Partner Support Service), чтобы ещё больше дифференцировать свой бизнес.

Партнёры получают доступ к интеллектуальному капиталу Cisco, чтобы на его основе экономично строить собственные уникальные предложения с интеллектуальными возможностями. При этом они смогут:

опираться на широкую базу и систему управления контрактами;

использовать интерфейсы API и инструментальные средства для интеграции рабочих потоков;

предоставлять услуги профилактической поддержки для крупных комплексных сетей заказчиков.

В настоящее время услуга Partner Support Service доступна в ограниченном объёме. Её глобальное развёртывание будет согласовано с распространением сервисной партнёрской программы Cisco. Интеллектуальные услуги Cisco помогают партнёрам быстрее наращивать прибыльность и объёмы бизнеса за счёт пакетирования, автоматизации и масштабирования интеллектуального капитала Cisco. В результате сетевая среда заказчика становится более прозрачной и понятной для партнёра. В основе интеллектуальных услуг Cisco лежат:

25-летний опыт работы в отрасли;

50 млн. установленных устройств;

6 млн. взаимодействий с заказчиками в год.

«Cisco строит самую удобную для партнёров сервисную модель во всей информационно-технологической отрасли, – подчеркнул старший вице-президент компании Cisco Ник Эрл (Nick Earle), отвечающий за продажи услуг и взаимодействие с партнёрами на мировом рынке. – Чтобы сделать эту модель эффективной, нам необходимы ясность, чёткость и предсказуемость в отношениях с партнёрами. Анонсированная нами глобальная сервисная программа поможет партнёрам создать ещё более выгодные бизнес-модели на основе интеллектуальных услуг Cisco.»

«Отношения между поставщиками инфраструктуры и их бизнес-партнёрами меняются, – утверждает главный аналитик из компании Canalys Аластер Эдвардс (Alastair Edwards). – Партнёры ищут вендоров, способных минимизировать риски и расходы, связанные с переходом на новые бизнес-модели. Cisco помогает партнёрам предпринять такой переход, предоставляя им доступ к ресурсам и интеллектуальной собственности, облегчающей дифференциацию и разработку услуг с добавленной стоимостью. Новая программа Cisco поддерживает прибыльность партнёров и вознаграждает их за высокую производительность».

**О компании Cisco.** Cisco – мировой лидер в области сетевых технологий, меняющих способы человеческого общения, связи и совместной работы. Чистый объём продаж компании в 2011 финансовом году составил 43,2 млрд дол. Информация о решениях, технологиях и текущей деятельности компании публикуется на сайтах [www.cisco.ru](http://www.cisco.ru) и [www.cisco.com](http://www.cisco.com).