Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Том 71
11
2017

Главный редактор
Микрин Е.А. — д.т.н., проф., академик РАН, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Белоусов В.Л. — д.э.н., проф., МГУПИ
Ван Сяофэн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Ван Мэйлин — д.т.н., проф., Пекинский политехнический ун-т (КНР)
Дегтярёв Ю.И. — д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. — д.т.н., проф., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Криони Н.К. — д.т.н., проф., УГАТУ (г. Уфа)
Мальцева С.В. — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Микаева С.А. — д.т.н., проф., МГУПИ
Неусыпин К.А. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Нефёдов Е.И. — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Никифоров В.М. — д.т.н., проф., ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина»
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Путилов В.Н. — ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"» (заместитель главного редактора)
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"»
Ся Юаньцин — д.т.н., проф., Пекинский политехнический ун-т (КНР)
Фёдоров И.Б. — д.т.н., проф., академик РАН, президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Шахнов В.А. — д.т.н., проф., член-кор. РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шибанов Г.П. — д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова
Янович Е.А. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор — **Мымрина И.Н.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

УЧРЕДИТЕЛИ:
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО "ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"»

Журнал зарегистрирован 29 мая 2014 г.
ПИ № ФС77-58102 в Роскомнадзоре

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК при Минобрнауки России изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней, а также в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

ООО «Издательство "Инновационное машиностроение"»

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.
Тел.: (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.
Тел.: (495) 661-03-36

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Быков Л.В., Ежов А.Д. Оптимизация конструкции теплонапряжённой энергетической установки на основании теплопрочностного расчёта . . . 483

Пищухина Т.А. Программное обеспечение для выбора оптимальной компоновки реконфигурируемой производственной системы . . . 487

Хусаинов И.Г. Исследование влияния круговой границы на процесс релаксации давления в скважине после её опрессовки . . . 490

Борисов И.И., Кривошеев С.В., Олейник Р.В., Резников С.С. Система обратной связи кистевого электромеханического протеза . . . 494

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Елисеев В.А. Проекты создания техники новых поколений . . . 497

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Иванов М.В., Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Применение фильтра Калмана и генетического алгоритма для активной системы мониторинга содержания газовой фазы во флотационном аппарате . . . 503

Богомолов А.В., Климов Р.С. Автоматизация обработки информации при проведении коллективных сетевых экспертиз . . . 509

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Цибизова Т.Ю., Чернега Е.В. Исследовательская деятельность обучающегося в системе непрерывной подготовки . . . 513

Зимин В.Н., Цибизова Т.Ю., Августан О.М. Комплексный подход к организации дополнительного образования с использованием ресурсов современного вуза . . . 520

Зимин В.Н., Чернега Е.В., Августан О.М., Сергеев Д.А. Система непрерывной подготовки в научно-образовательном центре «Технопарк информационных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана . . . 524

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Bykov L.V., Ezhov A.D. Optimization of the heat-stressed power plant design on the basis of thermal strength calculation . . . 483

Pishchukhina T.A. Software for choosing the optimal layout of the reconfigurable production system . . . 487

Khusainov I.G. Investigation of the circular boundary influence on the pressure relaxation process in a well after pressure testing . . . 490

Borisov I.I., Krivosheev S.V., Oleynik R.V., Reznikov S.S. The feedback system of a carpal electromechanical prosthesis . . . 494

MODERN TECHNOLOGY

Eliseev V.A. Projects for the creation of new generation equipment . . . 497

INFORMATION TECHNOLOGY

Ivanov M.V., Selezneva M.S., Neusypin K.A. Application of the Kalman filter and genetic algorithm for an active monitoring system of the gas phase content in a flotation apparatus . . . 503

Bogomolov A.V., Klimov R.S. Automation of information processing during collective network expert examinations . . . 509

EDUCATIONAL TECHNOLOGY

Tsibizova T.Yu., Chernega E.V. The research activity of the trainee in the continuous training system . . . 513

Zimin V.N., Tsibizova T.Yu., Avgustan O.M. Comprehensive approach to the organization of additional education through the use of the resources of a modern university . . . 520

Zimin V.N., Chernega E.V., Avgustan O.M., Sergeev D.A. System of continuous training in the scientific and educational center (*SEC*) «Technopark of Information Technologies» MSTU the name of N.E. Bauman . . . 524

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Пресса России» — 27838) или непосредственно в издательстве по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок: (495) 785-60-69

Сдано в набор 31.08.2017.
Подписано в печать 19.10.2017.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Канцлер»
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

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

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2017

УДК 536.413, 620.1

Л.В. Быков, канд. техн. наук, **А.Д. Ежов**
(Московский авиационный институт, национальный исследовательский университет)
bykov@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОНАПРЯЖЁННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВАНИИ ТЕПЛОПРОЧНОСТНОГО РАСЧЁТА

Представлен алгоритм расчёта теплонапряжённого состояния конструкции, выполненный с применением современных программных продуктов пространственного моделирования и анализа. В качестве примера рассмотрена оптимизация стыковочного узла камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя малой тяги, выполненная с помощью программного комплекса ANSYS.

Ключевые слова: оптимизационный расчёт; температурные деформации; межконтактное давление; контактное термическое сопротивление.

An algorithm for calculating the heat-stressed state of a structure is presented, which is performed using modern software products for spatial modeling and analysis. As an example, the docking unit optimization of the combustion chamber for small thrust rocket engine, performed with the help of ANSYS software is considered.

Keywords: optimization calculation; temperature deformation; intercontact pressure; contact thermal resistance.

Использование современных технологий инженерного анализа в процессе разработки и доводки перспективных образцов новой техники позволяет ещё на этапе эскизного проекта предусмотреть возможность обеспечения оптимального выбора как геометрии самого изделия, так и материалов, используемых при изготовлении элементов его конструкции. При разработке изделия технологии инженерного анализа (CAE-технологии, от англ. Computer-aided engineering) находятся как бы в стороне от самого процесса разработки 3D-модели и выполняют скорее роль инструмента проверки конструкции в широком диапазоне возможных параметров его эксплуатации. Зачастую такой инженерный анализ представляет собой отдельное научное исследование и по своему смыслу принципиально отличается от решения именно инженерной задачи создания конструкции изделия. В то же время полученное в результате инженерного анализа понимание закономерностей физико-химических процессов, сопровождающих работу изделия, позволяет создавать упрощённые эффективные методики инженерных расчётов.

Примером использования CAE-технологий может служить решение задачи отработки конструкции металлоперехода для камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя малой тяги (ЖРДМТ).

Исследуемым объектом для численного моделирования стала конструкция существующего ЖРДМТ с камерой сгорания, изготовленной на основе композиционных материалов (КМК-МС). На рис. 1 представлена конструктивная схема двигателя малой тяги, состоящего из четырёх деталей: *1* — камера сгорания из КМК-МС; *2* — переходное кольцо из титанового сплава ТВ-36; *3* — прижимное кольцо из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н9Т; *4* — переходной фланец из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н9Т.

Центрирование камеры сгорания, внутренний диаметр которой равен 15 мм, происходит в переходном фланце с помощью прижимного кольца. При этом для лучшей центровки используется переходное кольцо, представляющее собой два полукольца, скреплённых друг с другом с помощью сварки и

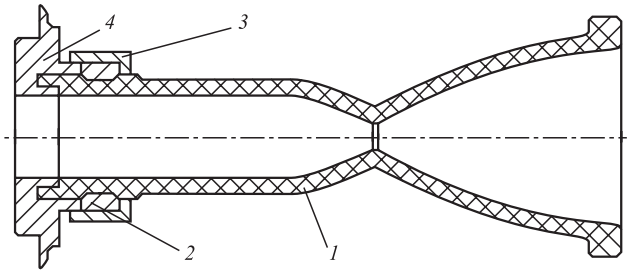


Рис. 1. Конструкция двигателя малой тяги в сборе

проточенных после этого соосно камере сгорания. Прижимное кольцо, в свою очередь, крепится к переходному фланцу сваркой.

Предварительный анализ теплофизических свойств материалов показал, что материалы деталей конструкции имеют существенно различные значения термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР), а высокие эксплуатационные температуры ЖРДМТ обусловливают значительные термические деформации деталей. При этом большая разница в величине термического коэффициента линейного расширения используемых в конструкции материалов может приводить (и приводит на практике) к возникновению значительных зазоров между смежными деталями в местах их необходимого контакта или недопустимых механических напряжений, вызванных температурной деформацией.

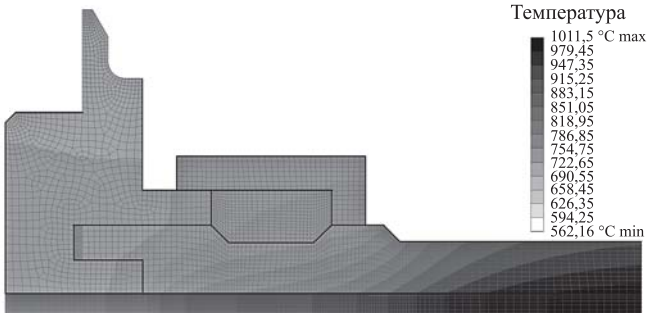


Рис. 2. Температурное поле конструкции

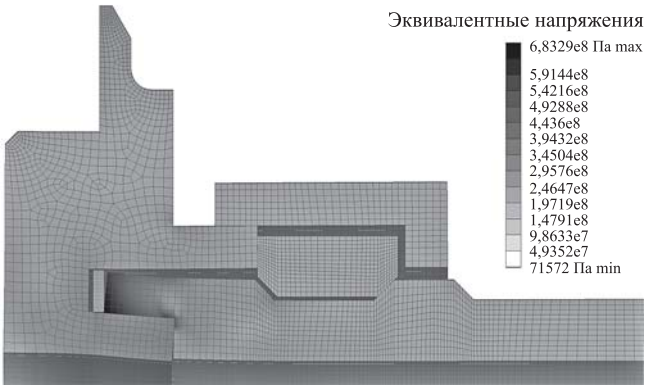


Рис. 3. Поле эквивалентных напряжений конструкции (в масштабе перемещений 5:1)

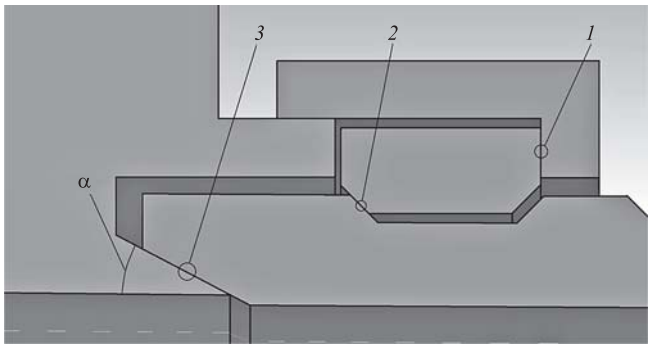


Рис. 4. Обновлённая геометрия:
1—3 — точки контакта, обеспечивающие герметичность конструкции при тепловом нагружении

Анализ теплового и напряжённо-деформированного состояния конструкции проводился в программной среде междисциплинарного конечно-элементного анализа ANSYS Multiphysics [1]. Выбор данной программной среды обусловлен возможностью использовать при выполнении сопряжённого анализа теплового и прочностного состояния конструкции одну и ту же конечно-элементную модель с соответствующим набором параметров. Подобный подход позволяет существенно упростить решение широкого спектра задач междисциплинарного взаимодействия (создание модели, решение и последующая обработка результатов), используя единственную расчётную модель.

Результаты численного моделирования температурного поля и напряжённо-деформированного состояния конструкции подтвердили предположение как о появлении зазоров между смежными деталями конструкции в местах их планируемого контакта, так и о возникновении значительных напряжений между другими контактирующими элементами, вызванными температурной деформацией. На рис. 2 и 3 представлены результаты моделирования температурного поля и напряжённо-деформированного состояния конструкции при тепловом нагружении.

По результатам, полученным в ходе расчёта, предложена доработка геометрии конструкции, позволившая уменьшить до приемлемых значений величину напряжения в узле сопряжения композиционной камеры сгорания и переходного фланца. Графическая иллюстрация конструкции с доработанной геометрией представлена на рис. 4.

Как видно из рис. 4, жёсткий контакт поверхностей был заменён на их скольжение относительно друг друга по углу сопряжения α. Такое конструктивное решение позволило не только снизить значения напряжения в узле сопряжения деталей, но и решить задачу обеспечения герметичности конструкции. В рассматриваемом случае герметичность конструкции выполняется при наличии необходимого давления в узлах контактов, а также замкнутости всего контура ЖРДМТ в целом, т. е. решение задачи сводится к обеспечению необхо-

димого давления в местах контактов точек *1—3* (см. рис. 4).

Необходимо отметить, что реальный контакт деталей происходит не по всей площади контакта, а лишь по незначительной её части. В этом случае для определения теплового состояния конструкции необходимо учитывать такое явление, как контактное термическое сопротивление (КТС) [2], которое в значительной степени деформирует линии изотерм в элементах конструкции и существенно влияет на величину и направление тепловых потоков [3].

В программном комплексе ANSYS Multiphysics используются модели контактов, применение которых для рассматриваемого случая является весьма сомнительным. На этом основании в рамках решения рассматриваемой задачи разработан специальный модуль для определения КТС между соприкасающимися поверхностями, который был включен в алгоритм выполняемого междисциплинарного анализа. Методика анализа приведена в работе [4] и сводится к выполнению ряда последовательных действий:

определение шероховатости поверхности контактирующих поверхностей;

твёрдотельное моделирование шероховатых поверхностей;

трёхмерный прочностный анализ контакта поверхностей;

трёхмерный тепловой анализ контакта поверхностей.

Результаты теплового и прочностного анализа обновлённой геометрии с учётом значений контактного термического сопротивления, рассчитанного по приведённой методике, представлены на рис. 5 и 6.

Полученные в результате расчёта температурное поле конструкции, значения эквивалентных напряжений и давлений в местах контактов позволили выполнить оптимизацию конструкции в зависимости от угла сопряжения α.

На рис. 7 и 8 приведены результаты расчёта для значения угла сопряжения 27°. Аналогичные расчёты были выполнены для различных значений углов α (15, 30, 45 и 60°). Минимальные значения межконтактного давления в местах сопряжения рабочей камеры ЖРДМТ и переходного фланца были отмечены при значениях углов от 15 до 35°. Для этого диапазона углов выполнен оптимизационный расчёт с использованием модуля ANSYS Parametric Optimization, в котором за параметр оптимизации был выбран именно угол α.

В результате расчёта найдены значения эквивалентных напряжений и давления в зонах контакта в зависимости от величины угла α и межконтактного термического сопротивления R_K.

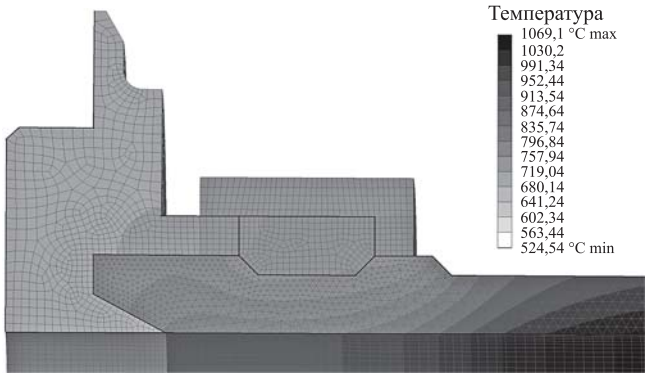


Рис. 5. Температурные поля в конструкции с учётом КТС

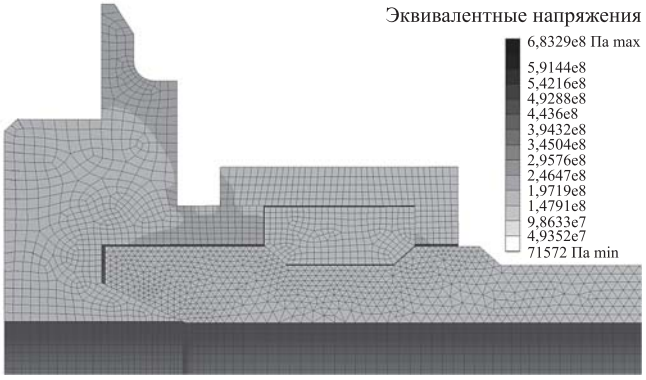


Рис. 6. Эквивалентные напряжения в конструкции с учётом КТС

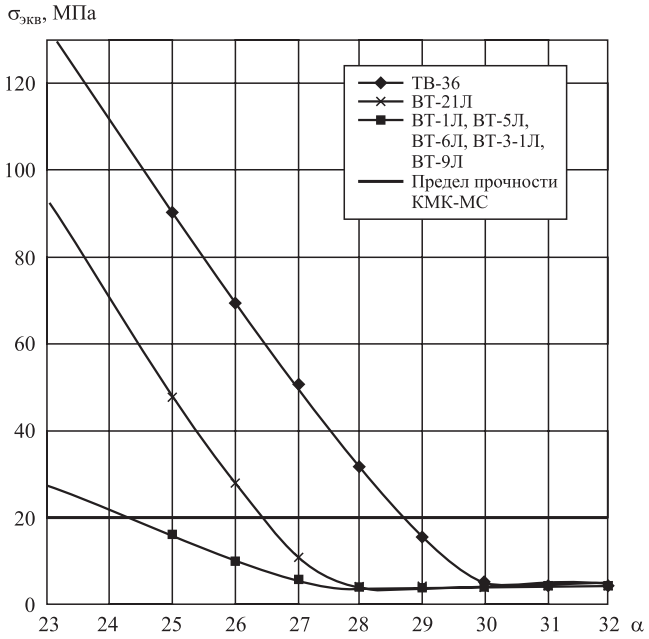


Рис. 7. Зависимость эквивалентных напряжений в композиционной камере сгорания от угла α с учётом R_K

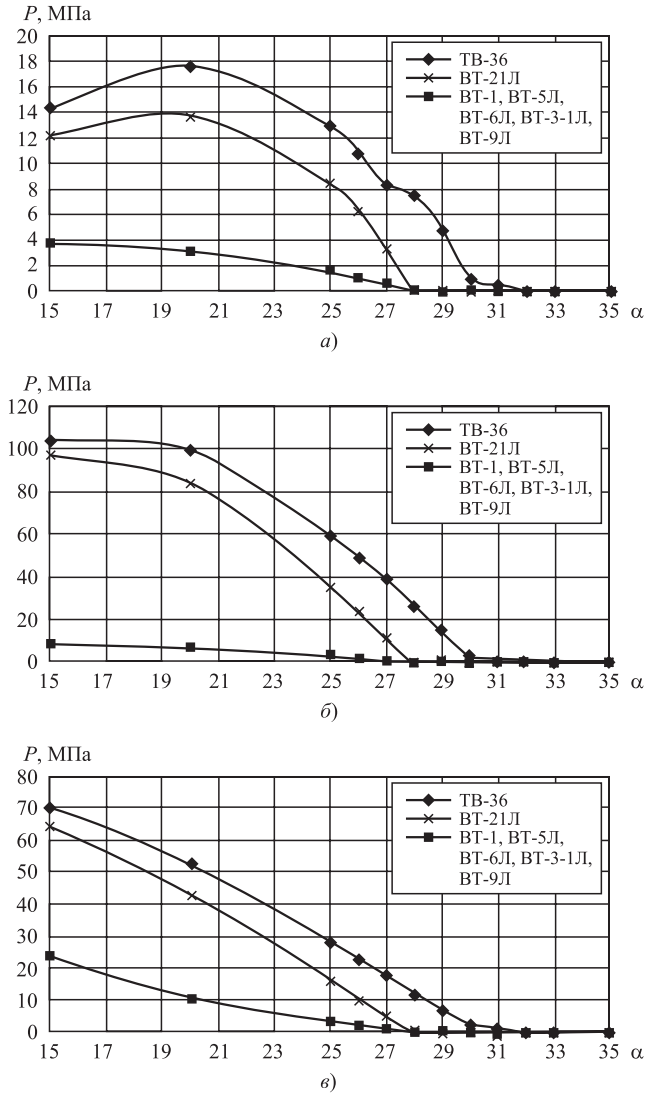


Рис. 8. Зависимость давления *P* в зонах контакта (*а — 1, б — 2, в — 3*) от угла α с учётом R_K

Вторым параметром оптимизации выбран материал прижимного кольца. Рассмотрены наиболее вероятные для его изготовления сплавы. Результаты расчёта для сплавов ВТ-1, ВТ-5Л, ВТ-6Л, ВТ-9Л, ВТ-21Л, ВТ-3-1Л, ТВ-36 представлены на рис. 7.

На рис. 8 представлены зависимости изменения значений давления *P* в зонах контактов *1—3* от угла α с учётом термического контактного сопротивления R_K.

По результатам анализа, представленного на рис. 7 и 8, можно сделать вывод, что для рассматриваемой конструкции предпочтительные значения угла сопряжения камеры сгорания и переходного фланца лежат в диапазоне от 25 до 27°, а в качестве предпочтительных материалов переходного кольца можно использовать титановые сплавы ВТ-1, ВТ-5Л, ВТ-6Л, ВТ-9Л и ВТ-3-1Л.

Представленный оптимизационный алгоритм расчёта позволяет довольно точно и в сжатые сроки определять температурные поля и соответствующее им напряжённо-деформированное состояние конструкции в результате нагрева, а также на начальном этапе проектирования выявлять основные проблемы, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации изделия, и внести необходимые коррективы в его конструкцию.

Библиографические ссылки

1. **Инженерный** анализ в Ansys Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 271 с.

2. **Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н.** Контактное термическое сопротивление. М.: Энергия, 1977. 327 с.

3. **Шлыков Ю.П.** Расчёт термического сопротивления контакта обработанных металлических поверхностей // Теплоэнергетика. 1965. № 10. С. 79—82.

4. **Меснянкин С.Ю., Ежов А.Д., Басов А.А.** Определение контактного термического сопротивления на базе трёхмерного моделирования соприкасающихся поверхностей // Известия РАН. Энергетика. 2014. № 5. С. 65—74.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присылаемых для публикации, можно найти на сайте www.mashin.ru

УДК 67.05

Т.А. Пищухина, канд. техн. наук, доц.
(Оренбургский государственный университет)

tpuits@mail.ru

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Найдено оптимальное компоновочное решение для пятистаночной реконфигурируемой производственной системы, приведён алгоритм программного средства, осуществляющего имитационное моделирование рассмотренной реконфигурируемой производственной системы.

Ключевые слова: станочная компоновка; реконфигурируемый станок; реконфигурируемая производственная система; оптимизация компоновки.

The optimum arranging solution of the five-machine tools reconfigurable production system is indicated, the algorithm of the software facilities imitating the presented reconfigurable production system is adduced.

Keywords: machine arranging; reconfigurable machine tool; reconfigurable production system; arranging optimization.

В условиях постоянно изменяющихся требований рынка, в том числе резких колебаний спроса, вызванных частым обновлением ассортимента продукции, появлением новых составляющих для уже существующих продуктов или изменениями в законодательстве, к производственным системам предъявляются всё более жёсткие требования. Превалирующие ранее гибкие производственные системы (ГПС), а также автоматические линии оказываются экономически невыгодными и недостаточно эффективными, неприспособленными к внезапному быстрому росту (или сокращению) масштабов производства, номенклатуры и её частым изменениям.

Все эти факторы привели к началу научных разработок рекомпонуемых (перекомпонуемых), или реконфигурируемых производственных систем (РПС) [1].

РПС — это производственные системы, которые способны к быстрым изменениям в структуре как аппаратного, так и программного обеспечения для того, чтобы обеспечить требуемый объём и функциональность в пределах партии деталей в ответ на случайные изменения рыночной ситуации [2].

На текущий момент эти системы находятся на стадии проектирования и являются весьма перспективным направлением, что доказывает актуальность выбранной области исследования. При проектировании РПС рассматриваются три различных аспекта:

уровень системного проектирования;

машинный уровень проектирования;

вывод оборудования на рабочий режим и калибровка.

На самом высоком уровне иерархии (системном) один из первых решаемых вопросов — компоновка производственной системы. РПС может осуществлять смену конфигурации во всех аспектах (программном, аппаратном и т. д.), поэтому число вариантов расстановки оборудования здесь достаточно велико и растёт экспоненциально с ростом числа добавляемых его единиц. Компоновка оборудования оказывает очень большое влияние на длительность технологического процесса, поскольку расставленное неоптимальным образом оборудование может привести к избыточным издержкам транспортирования. Выбор оптимальной компоновки РПС на системном уровне представляется актуальной, сложной и трудоёмкой научной задачей.

Наиболее часто используемый при выборе компоновки критерий — минимизация общего расстояния транспортирования деталей. Но применить его к реконфигурируемым системам проблематично, так как реконфигурируемые системы пока ещё не имеют реального аналога и в теории пути транспортирования заготовок в них могут изменяться случайным образом, в зависимости от состояния всей станочной системы на текущий момент. В ГПС деталь (основной поток) перемещается от станка к станку в порядке выполнения технологического процесса, причём заготовка должна по разу обойти

все станки без исключения [3]. В РПС заготовка необязательно должна обходить все станки ввиду того, что многие операции в этой системе распараллелены и станок может путём реконфигурации перестраиваться на другие операции, что занимает меньше времени, чем перемещение заготовки к другому станку. Это обстоятельство затрудняет использование привычных оптимизационных методов, где оптимизируемые параметры имеют чёткие границы и чётко определённую последовательность исполнения процесса, которому они принадлежат.

Поэтому на этапе компоновки РПС возникает проблема выбора метода оптимизации транспортных путей. В отсутствие реального аналога системы следует использовать имитационное моделирование, позволяющее первоначально оценить работу системы и вариации транспортных путей. Задача разбивается на две подзадачи:

имитационное моделирование для представления работы подобной системы;

выбор оптимальной компоновки по полученным результатам имитационного моделирования.

Компоновка станочной системы, исследуемая в данном случае, является предварительной, системной компоновкой и требует упрощённого подхода. Чтобы снизить сложность задачи, используем несколько допущений о работе станков РПС [4]:

все временны́е параметры: время транспортирования между станками, время реконфигурации станков, технологических процессов считаются заданными;

время реконфигурации для всех станков задано матрицей, которая является общей системной и симметричной;

время перемещения от реконфигурируемого станка к станку пропорционально прямым путям транспортирования: $T_{ij(ds)} = \nu(|i - d| + |j - s|)$; $i, d = 1, ..., M$; $j, s = 1, ..., K$; $\nu = 1/V$ — скорость транспортирования;

длительность операций на разных станках одинакова.

Основная задача при поиске компоновки — выбор следующего реконфигурируемого станка (РС) по окончании обработки. Алгоритм решения этой задачи с учётом всех перечисленных выше ограничений показан на рис. 1.

Экранное окно созданного программного средства для выбора оптимальной компоновки показано на рис. 2

В системе функционируют пять реконфигурируемых станков, обрабатывающих 18 деталей (число деталей можно изменять в программе). Программа осуществляет «срез» компоновки, считая каждую конкретную конфигурацию фиксированной по расстановке станков и отдельно существующей, перебирая с учётом реконфигурации пути транспортирования по ней. Цель формулируется как минимизация общего расстояния транспортирования деталей. Целевая функция задается следующим образом [5]:

$$J = \min \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} f_{ij} c_{ij} d_{ij},$$

где f_{ij} — частота движения (показывает сколько раз надо проехать по данному маршруту); c_{ij} — стоимость перемещения одной детали между двумя станками; d_{ij} — расстояние между станками i и j.

В предположении, что величина c_{ij} остаётся постоянной, выражение функционала упростится:

$$J = \min \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} f_{ij} d_{ij}.$$

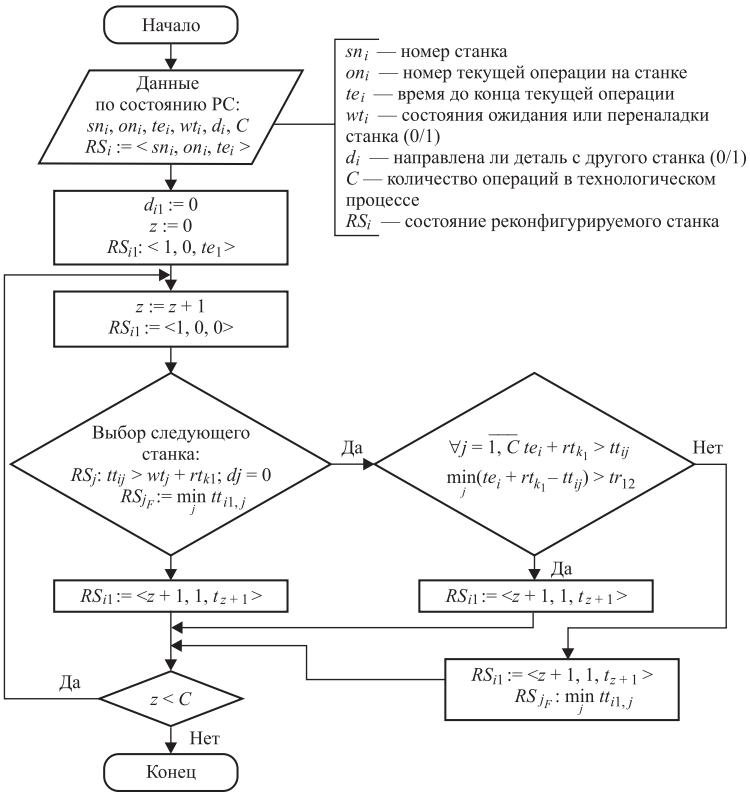


Рис. 1. Алгоритм имитационного моделирования РПС

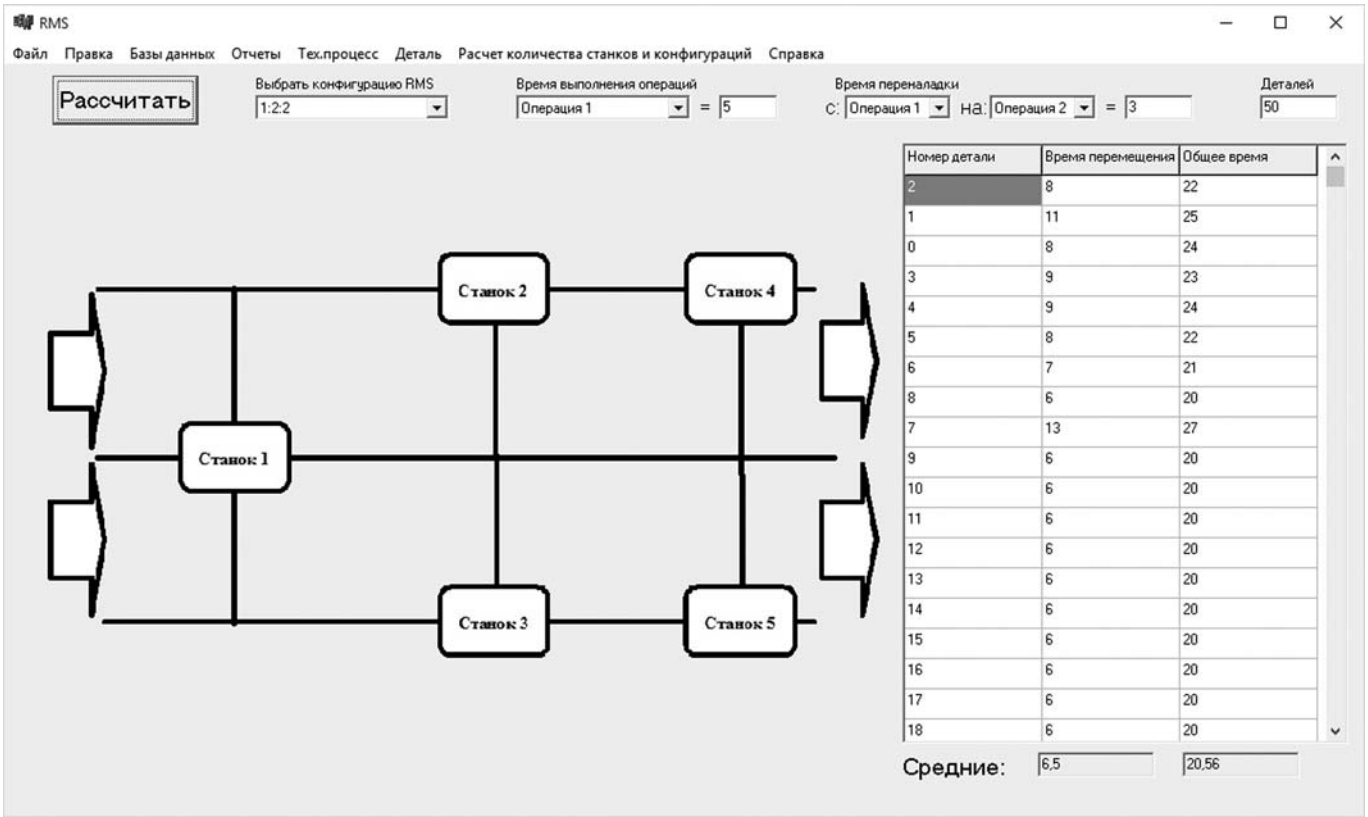


Рис. 2. Экранное окно программного средства для выбора оптимальной компоновки

Оптимальной по длительности транспортирования при всех выбранных условиях оказалась компоновка 3:1:1 (в первом ряду три станка, далее — по одному).

Таким образом, была поставлена и решена задача выбора оптимальной компоновки пятистаночной РПС. Разработанное программное средство, осуществляющее имитационное моделирование работы РС, возможно использовать для дальнейших исследований в направлении выяснения влияния на оптимальную компоновку таких факторов, как: длительность времени реконфигурации, длительность времени операции, расстояний между станками. Далее необходимо усложнять задачу, вводя случайные факторы постепенно при учёте уже достигнутых результатов.

Библиографические ссылки

1. **Koren Y.** The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable System. 2010, 424 с.

2. **Engineering** Research Center for Reconfigurable Manufacturing Systems [Электронный ресурс] // Сайт Мичиганского университета // URL: http://erc.engin.umich.edu/ (дата обращения 11.11.2015).

3. **Родина А.А., Колодин А.Н., Хватов Б.Н.** Расчёт и проектирование ГПС: учеб. пособие. Тамбов, ТГТУ, 2014. 81 с.

4. **Мизюн В.А.** Интеллектуальное управление производственными системами и процессами: принципы организации и инструменты. Тольятти, СНЦ РАН, 2012. 214 с.

5. **Norhashimah M.** Genetic Algorithms optimization for the machine layout problem // International Journal of Computer, Internet and Management. 2000. Vol. 8. No. 1. P. 33—47.

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении,
а также непосредственно на сайте издательства
ООО «Инновационное машиностроение».

УДК 622.276

И.Г. Хусаинов, д-р физ.-мат. наук, доц.
(Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета)
kig10@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРУГОВОЙ ГРАНИЦЫ НА ПРОЦЕСС РЕЛАКСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ В СКВАЖИНЕ ПОСЛЕ ЕЁ ОПРЕССОВКИ

Рассмотрена современная технология оценки параметров призабойной зоны пласта. Решена задача опрессовки скважины, находящейся в центре пористого пласта, имеющего высокопроницаемую границу с конечным эффективным радиусом. Изучена зависимость времени релаксации давления в скважине от величины эффективного радиуса границы, а также от начального значения давления в скважине и значения коэффициента пористости окружающей скважину пористой среды. Установлены интервалы значения радиуса высокопроницаемой границы, при которых нужно учитывать влияние круговой границы на процесс релаксации давления при оценке параметров призабойной зоны скважины методом опрессовки.

Ключевые слова: фильтрация; жидкость; давление; проницаемость; вязкость; пласт; скважина.

A modern technology for estimating the parameters of the bottom hole formation zone is considered. The problem of pressure testing a well located in the center of a porous formation having a high permeability boundary with a final effective radius is solved. The dependence of the pressure relaxation time in the well on the value of the effective boundary radius, as well as on the initial value of the pressure in the well and the porosity coefficient value of the porous medium, surrounding the well, is studied. The intervals of the value for the radius of the high permeability boundary are established, under which it is necessary to take into account the influence of the circular boundary on the pressure relaxation process at the evaluation of the wellbore zone parameters by the pressure testing method.

Keywords: filtration; liquid; pressure; permeability; viscosity; layer; well.

Введение. Оперативный контроль коллекторских характеристик прискважинной зоны позволяет оптимизировать автоматизацию процессов эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и тем самым увеличивать продолжительность и эффективность эксплуатации нефтегазовых скважин.

Для исследования коллекторских характеристик призабойной зоны пластов используются различные гидродинамические, геофизические, термогидродинамические методы. В связи с тем, что вновь вводимые нефтегазовые месторождения характеризуются, как правило, низкой проницаемостью, повышенной вязкостью нефти и сложным геологическим строением, то актуальными становятся разработка и развитие методов исследования таких месторождений.

В работах [1—4] для оценки коллекторских характеристик призабойной зоны пласта предлагается использовать метод опрессовки с введением газа. Опрессовка является одним из общепринятых способов определения герметичности гидравлических систем. При этом, в основном в качестве главной критической меры герметичности систем, принимается выполнение некоторых допустимых норм [5] для снижения давления в системе в зависимости от конкретных технологических условий, определяемых интенсивностью утечек флюидов.

Темп релаксации давления в скважинах, окружённых пористыми породами, после их опрессовки зависит от коллекторских характеристик окружающей пористой породы [6—8]. Поэтому по времени релаксации давления можно судить, например, о величине эффективного коэффициента проницаемости породы вокруг скважины. Кроме того, добавляя газовую фазу при опрессовке и увеличивая тем самым упругоёмкость среды в скважине, можно добиваться, чтобы характерное время релаксации находилось в пределах, удобных с точки зрения технической реализации этого способа на практике.

В работе [1] исследован процесс релаксации давления внутри полости после опрессовки для бесконечного пласта. Получены нелинейные интегральные уравнения, описывающие зависимости динамики релаксации давления в полости от коллекторских характеристик пористой среды. Показано, что независимо от геометрии задачи зависимость периода полу-

восстановления давления в полости от коэффициента проницаемости является обратно пропорциональной.

В данной работе исследуется задача опрессовки скважины, окружённой пористой средой, насыщенной жидкостью и находящейся в центре пористого пласта, имеющего высокопроницаемую границу с конечным эффективным радиусом.

Основная часть. Пусть имеется скважина с радиусом a, окружённая пластом, имеющим высокопроницаемую границу с конечным эффективным радиусом R_k (рис. 1). В скважине выбирают исследуемый участок и закрывают оба его конца. Длина цилиндрического участка скважины намного больше её радиуса, а торцы участка непроницаемы.

В исходном состоянии давление жидкости во всем пористом пласте вокруг скважины постоянно и равно p_0', а сама скважина заполнена жидкостью и газом. В начальный момент давление в скважине мгновенно увеличивается до некоторого значения p_0. После этого за счёт фильтрации жидкости из скважины в окружающую пористую среду значение давления будет медленно восстанавливаться.

Предполагается, что газовая фаза в скважине находится в специальном контейнере, который исключает её фильтрацию через стенки в окружающую пористую среду. Технически это можно реализовать, например, используя оболочку с податливыми или гофрированными стенками или пневматическое устройство

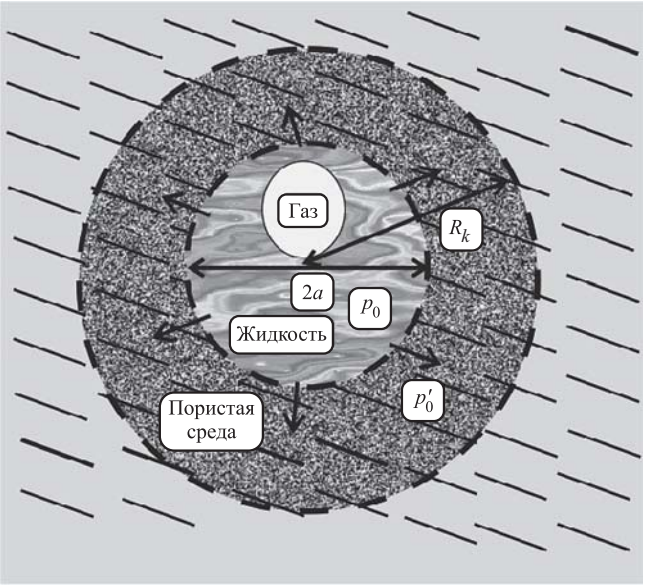


Рис. 1. Схематическое изображение (вертикальная проекция) скважины и высокопроницаемой границы с конечным эффективным радиусом R_k

«цилиндр — поршень». Газовая фаза будет работать как объёмная «пружина», выталкивающая содержащуюся в скважине жидкость в окружающее пористое пространство.

При описании исследуемого процесса примем следующие допущения: давление внутри скважины однородно, фильтрация газа через боковые поверхности скважины и фазовые переходы отсутствуют. Внутри скважины масса газа остаётся постоянной в течение всего процесса.

В рамках изложенных допущений уравнение сохранения массы жидкости внутри скважины запишем в виде [1—4]

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{2}{a}\rho_l\,\upsilon\big|_{r=a}, \qquad (1)$$

где ρ — плотность газожидкостной системы внутри полости, $\rho = \rho_l(1 - \alpha_g)$; ρ_l — плотность жидкости; α_g — объёмная доля газа в полости; t — время; υ — скорость фильтрации жидкости через стенки полости; r — радиальная координата.

Для определения скорости фильтрации жидкости через стенки скважины в окружающую пористую среду используем закон Дарси:

$$\upsilon' = -\frac{k}{\mu_l}\frac{\partial p'}{\partial r}, \qquad (2)$$

где p', υ' — давление и скорость фильтрации жидкости вокруг скважины; μ_l — динамический коэффициент вязкости жидкости; k — коэффициент проницаемости пористой среды.

На стенке скважины выполняется условие неразрывности среды:

$$\upsilon' = \upsilon,\ r = a.$$

Поле давления вокруг скважины описывается с помощью уравнения пьезопроводности:

$$\frac{\partial p'}{\partial t} = \chi_l\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial p'}{\partial r}\right),\ a < r < \infty, \qquad (3)$$

где χ_l — коэффициент пьезопроводности, который вычисляется по формуле $\chi_l = \frac{k\rho_{l0}C_l^2}{m\mu_l}$; ρ_{l0} — плотность жидкости в начальный момент; C_l — скорость звука в жидкости; m — коэффициент пористости.

Сжимаемость жидкости, находящейся в скважине и в пористой среде, будем учитывать в акустическом приближении:

$$p = p_0 + C_l^2\left(\rho_l - \rho_{l0}\right), \qquad (4)$$

где p — текущее давление внутри скважины; p_0 — давление внутри скважины в начальный момент.

Газ будем считать калорически совершенным, и для описания его поведения примем политропический закон:

$$\alpha_g = \alpha_{g0}(p_0/p)^{1/\gamma}, \tag{5}$$

где α_g, α_{g0} — текущая и начальная объёмные доли газовой фазы в скважине; γ — показатель политропы.

Начальное условие для уравнения пьезопроводности (3) запишем в виде

$$p = p_0',\ t = 0,\ a < r. \tag{6}$$

На стенке скважины выполняется условие непрерывности давления, и граничное условие для уравнения пьезопроводности может быть записано в виде

$$p' = p(t),\ t > 0,\ r = a. \tag{7}$$

Круговая граница является высокопроницаемой:

$$p = p_0',\ r = R_k. \tag{8}$$

Для уравнения пьезопроводности с переменным граничным условием решение, описывающее распределение давления в конечном круговом пористом пласте вокруг скважины, имеет вид [9]:

$$p - p_0' = \int_0^t \frac{\partial U(r, t-t')}{\partial t}\left(p(t') - p_0'\right)dt'. \tag{9}$$

Функция $U(r, t)$ определяется по формуле

$$U(r,t) = 1 - \frac{\ln(r/a)}{\ln(R_k/a)} + \pi\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left(-\alpha_n^2 æ_l t\right)J_0(\alpha_n R_k)J_0(\alpha_n a)\Psi(\alpha_n r)}{J_0^2(\alpha_n a) - J_0^2(\alpha_n R_k)}. \tag{10}$$

Здесь функция $\Psi(\alpha_n r)$ определяется по формуле

$$\Psi(\alpha_n r) = Y_0(\alpha_n R_k)J_0(\alpha_n r) - J_0(\alpha_n R_k)Y_0(\alpha_n r), \tag{11}$$

где параметры α_n выбирают из условия $\Psi(\alpha_n a) = 0$; $J_0(z)$ и $Y_0(z)$ — функция Бесселя первого и второго рода нулевого порядка.

Используя решение уравнения пьезопроводности (9) и закон Дарси (2), из закона сохранения массы (1) после некоторых преобразований получим следующее интегральное уравнение, описывающее релаксацию давления в скважине, окружённой пластом с эффективным конечным радиусом R_k:

$$\alpha_{g0}\left(\left(\frac{p_0}{p}\right)^{1/\gamma} - 1\right) - \frac{p - p_0}{\rho_{l0}C_l^2}\left(1 - \alpha_{g0}\left(\frac{p_0}{p}\right)^{1/\gamma}\right) = \frac{2k}{a^2\mu_l}\int_0^t\left(\frac{1}{\ln R} + 2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left(-x_n^2\frac{t-t'}{t_{al}}\right)J_0^2(x_n R)}{J_0^2(x_n) - J_0^2(x_n R)}\right)\times \left(p(t') - p_0'\right)dt', \tag{12}$$

где $R = R_k/a$, $x_n = \alpha_n a$, x_1, x_2, ... — корни уравнения $Y_0(x_n R)J_0(x_n) - J_0(x_n R)Y_0(x_n) = 0$.

Результаты численного расчёта. В работе найдена численная схема решения нелинейного интегрального уравнения (12). На рис. 2 представлены кривые, иллюстрирующие динамику процесса релаксации давления в скважине с начальным объёмным содержанием газа $\alpha_{g0} = 0{,}1$ при разных значениях параметра R_k. В расчётах приняты следующие значения параметров скважины, пористой среды, жидкости и газа: $a = 0{,}1$ м, $p_0' = 1$ МПа, $p_0 = 10$ МПа,

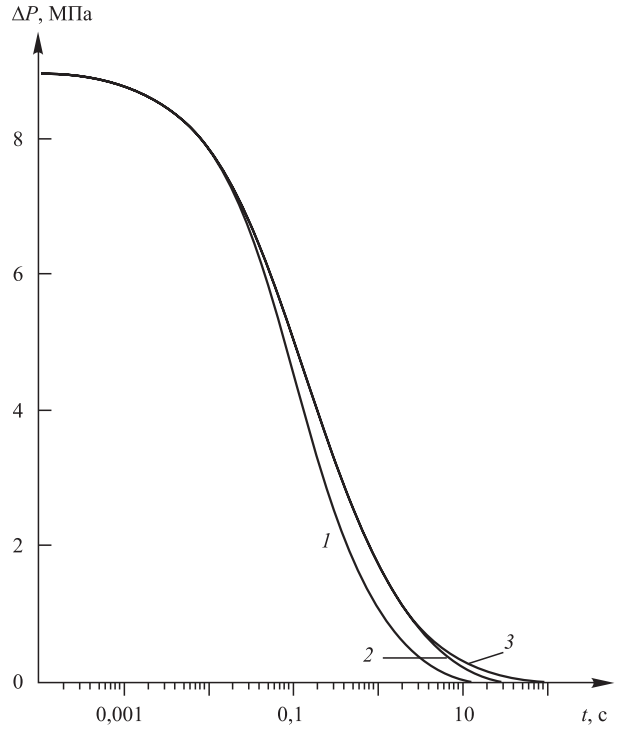


Рис. 2. Динамика процесса релаксации давления в скважине при разных значениях параметра R_k

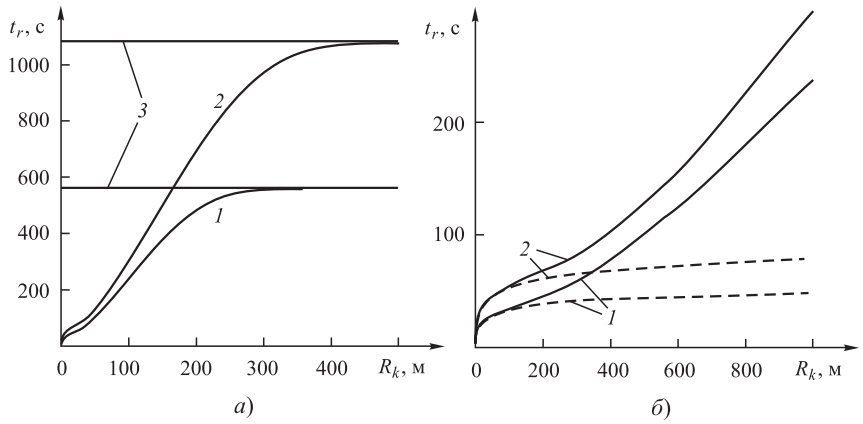


Рис. 3. Зависимость времени релаксации давления от величины конечного радиуса высокопроницаемой границы R_k при разных значениях начального давления в скважине p_0:
а — при малых значениях радиуса высокопроницаемой границы (R_k < 100 м); *б* — в увеличенном формате

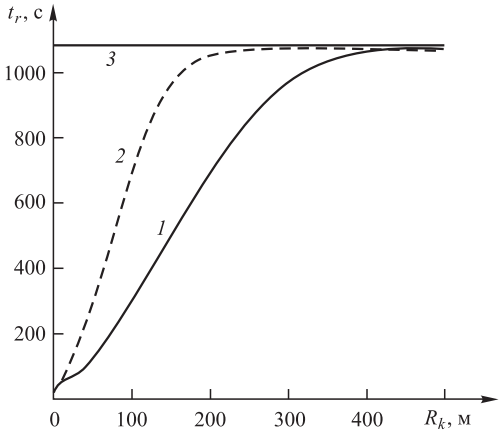


Рис. 4. Зависимость времени релаксации давления от величины конечного радиуса высокопроницаемой границы R_k при разных значениях пористости m

m = 0,1, $k = 10^{-12}$ м^2, ρ_{l0} = 1000 кг/м^3, C_l = = 1500 м/с, μ_l = 0,001 Па·с, γ = 1,4. Кривые *1*, *2* и *3* соответствуют значениям параметра R_k = 1, 10 и 100 м. Из рис. 2 видно, что чем меньше радиус высокопроницаемой границы, тем быстрее восстанавливается давление в скважине.

На рис. 3 приведены графики зависимости времени релаксации давления в скважине от значения радиуса высокопроницаемой границы при разных значениях начального давления в скважине. Кривая *1* соответствует значению p_0 = 5 МПа, кривая *2* — p_0 = 10 МПа. На рис. 3, *а* и 4 линия *3* соответствует значению времени релаксации давления в случае, если пласт имеет бесконечную протяжённость. Как видно из рис. 3, *а*, влияние границы на время релаксации практически не сказывается при R_k > 500 м.

На рис. 3, *б* приведена более детальная картина при малых значениях радиуса пласта R_k ($R_k \leqslant$ 100 м). Пунктирные кривые получены пренебрегая вторым слагаемым в ядре интегрального уравнения (12). Это соответствует квазистационарному приближению для поля давления вокруг скважины. Как видно из рисунка, при R_k < 10 м решение, полученное при квазистационарном приближении для ядра интегрального уравнения, совпадает с полным решением уравнения (12).

На рис. 4 приведены графики зависимости времени релаксации давления в скважине от величины конечного радиуса пласта R_k при разных значениях пористости m. Кривая *1* соответствует значению m = 0,1, а кривая *2* — m = 0,4. Из рисунка видно, что при m = 0,4 влияние высокопроницаемой границы практически не сказывается при R_k > 200 м.

Заключение. Получена математическая модель, описывающая релаксацию давления в скважине после её опрессовки, когда вокруг скважины имеется высокопроницаемая круговая граница. Исследованы зависимости времени релаксации давления в скважине после опрессовки от значений радиуса высокопроницаемой границы R_k, начального давления в скважине и пористости среды. Установлено, что с уменьшением пористости усиливается влияние высокопроницаемой границы вокруг скважины на время релаксации давления, а также с уменьшением радиуса высокопроницаемой границы уменьшается время релаксации.

Библиографические ссылки

1. **Шагапов В.Ш., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М.** Релаксация давления в полости, окружённой пористой и проницаемой породой, при её опрессовке введением газа // Прикладная механика и техническая физика. 2006. Т. 47. № 1. С. 109—118.

2. **Хусаинов И.Г., Хусаинова Г.Я.** Исследование параметров пласта методом опрессовки // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: http://www.science-education.ru/117-13813 (дата обращения: 04.07.2014).

3. **Хусаинов И.Г.** Динамика релаксации давления в полости с плоско-параллельными стенками после её опрессовки // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. URL: http://www.science-education.ru/119-15159 (дата обращения: 31.10.2014).

4. **Хусаинов И.Г., Хусаинова Г.Я.** Компьютерное моделирование процесса релаксации давления в сферической полости после опрессовки // Успехи современного естествознания. 2016. № 10. С. 167—170.

5. **Карнаухов М.Л.** Справочник по испытанию скважин. М.: Недра, 1984. 242 с.

6. **Шагапов В.Ш., Хусаинова Г.Я., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М.** Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой горной породой // Физика горения и взрыва. 2002. Т. 38. № 3. С. 106—112.

7. **Хафизов Р.М., Хусаинов И.Г., Шагапов В.Ш.** Динамика восстановления давления в «вакуумированной» скважине // Прикладная математика и механика. 2009. Т. 73. Вып. 4. С. 615—621.

8. **Хусаинов И.Г.** Эволюция импульса давления при прохождении через пористую преграду, расположенную в воде // Фундаментальные исследования. 2014. № 11—12. С. 2645—2649.

9. **Маскет М.** Течение однородных жидкостей в пористой среде. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1949. 628 с.

УДК 615.477.21

И.И. Борисов, С.В. Кривошеев, Р.В. Олейник, С.С. Резников, канд. техн. наук, доц.
(Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики)

krivosheev.sergey89@gmail.com

СИСТЕМА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ КИСТЕВОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА

Приведены результаты работы по внедрению в кистевой электромеханический протез сенсоров и элементов, обеспечивающих внутреннюю, звуковую и тактильную обратную связь. За счёт введения данных сенсоров планируется добиться повышения интуитивности в управлении протезом, а также повысить точность позиционирования тросиковой системы передачи усилий к пальцам протеза.

Ключевые слова: активный кистевой протез; обратная связь; вибродвигатели; резистивный датчик давления; потенциометр; датчик Холла.

The results of the work on the implementation of sensors and elements in the electromechanical carpal prosthesis providing internal, sound and tactile feedback are presented. Due to the introduction of these sensors, it is planned to increase the intuitive of the prosthesis control, as well as to increase the accuracy of positioning the cable system of transferring forces to the fingers of the prosthesis.

Keywords: active carpal prosthesis; feedback; vibrating motors; resistive pressure sensor; potentiometer; Hall sensor.

В последние годы было разработано много миоэлектрических протезов рук, обладающих большим числом степеней свободы и небольшой массой [1]. Данные протезы уже позволяют человеку совершать набор определённых действий, с которыми он сталкивается в повседневной жизни. В большинстве своём эти протезы управляются с помощью задающих воздействий, получаемых методом поверхностной электромиографии (пЭМГ) [2]. Кроме задачи разработки интуитивного управления с применением пЭМГ, которая решается разными научными группами, существует также проблема оснащения миоэлектрических протезов системой обратной связи, так как согласно опросам среди взрослых и детей доля отказов от обычных протезов составляет 23 и 35 % соответственно. Основной причиной отказов является как раз отсутствие надёжной системы обратной связи, с помощью которой пользователи смогут чувствовать действие устройства [3]. В работе [4] было доказано, что звуковое дополнение к визуальной обратной связи значительно снижает когнитивную нагрузку пользователя, что делает процесс управления проще и интуитивнее. В работе [5] говорится о том, что применение вибротактильной обратной связи в задачах, связанных с захватом объектов в виртуальном пространстве, позволило повысить эффективность использования виртуального протеза, однако данная система уступает визуальной обратной связи в вопросах эффективности. Кроме того, в работе [6] исследуется вопрос применения электростимуляции для реализации обратной связи. Обзор специальной литературы позволяет говорить о том, что работа в этом направлении ведётся активно, но авторы в основном

не пытаются комбинировать различные способы реализации обратной связи.

Данная статья посвящена разработке системы обратной связи для кистевого электромеханического протеза. Система обратной связи в протезах не нашла ещё общепризнанного и оптимального исполнения, и поэтому эта проблема остаётся пока ещё нерешённой. Предлагается новый способ обеспечения обратной связи на основе системы датчиков, предоставляющей пользователю три канала поступления информации: визуальный, звуковой и тактильный. В результате, как предполагается, ментальная нагрузка на пользователя уменьшится, и процесс управления станет естественнее и интуитивнее. Кроме того, в конструкцию протеза заложена система датчиков для обеспечения внутренней обратной связи, которая призвана повысить точность позиционирования пальцев протеза и решить проблему, связанную с использованием для передачи усилия от двигателей системы тросиков, расположенных в протезе. Проблема заключается в том, что в процессе эксплуатации тросики растягиваются под действием внешних сил. Это растяжение необходимо отслеживать, фиксировать и устранять, желательно автоматически.

В ходе работы над проектом было разработано три варианта кистевого протеза, каждый из которых был улучшенной копией предыдущего. Протез обладает 5 пальцами, 7 степенями свободы и 12 вращательными сочленениями (рис. 1). Действие протеза основано на использовании системы тросиков, которая позволяет одному двигателю управлять бóльшим числом степеней свободы [7, 8]. Каждый палец протеза приводится в движение собственным двигателем. На валу двигателя расположен шкив с двумя канавками. Сигналами управления протезом являются снятые с помощью поверхностной электромиографии мышечные потенциалы, для управления используется всего один электрод. Варианты решений, которые могут быть применены для выполнения этой задачи, описаны в работе [9]. Расположение электродов на культе зависит от мышечного тонуса, а также показаний импеданса.

Рис. 1. Вариант кистевого протеза

Предложена система обратной связи, которую можно разделить по назначению на внутреннюю систему обратной связи протеза и систему обратной связи между пользователем и протезом.

Внутренняя система обратной связи необходима для того, чтобы контролёр искусственной кисти, так же как и пользователь, имел точную информацию о положении и перемещении пальцев протеза, а также всю информацию о взаимодействии кисти с объектами окружающей среды. Это требуется для улучшения управляемости, точности позиционирования и расширения функциональности. Система должна сигнализировать о начале и конце процесса захвата объекта, а также о характере захвата. Система обратной связи помимо уже упомянутых положительных моментов позволяет предотвратить поломку протеза. Например, первый вариант искусственной кисти обладал только визуальной обратной связью и при сгибании пальца протеза зачастую происходило чрезмерное наматывание нейлонового тросика на шкив, что приводило к его разрыву. Для устранения этого стали устанавливать различные режимы работы протеза, например осторожный захват или, наоборот, силовой. Контроль за положением пальцев протеза осуществляется с помощью потенциометров и датчиков Холла, а взаимодействие пальцев протеза с объектами окружающей среды регистрируется с помощью датчиков давления, расположенных на рабочей поверхности дистально-медиальной фаланги (рис. 2).

Система обратной связи между пользователем и протезом необходима для предоставления пользователю информации о работе устройства и характере захвата объекта. Было установлено, что одной визуальной информации при захвате объектов недостаточно. Даже звуковые сигналы, информирующие о начале и конце процесса захвата, кардинально улучшают показатели внимательности пользо-

вателя протеза, тем самым упрощая процесс захвата [4]. Однако данной информации бывает мало, так как процесс захвата объекта может проходить вне зоны видимости пользователя, что требует дополнительных способов по взаимодействию между ним и устройством. Предложен вариант информирования пользователя. В гильзу протеза монтируются пять миниатюрных вибродвигателей (по числу пальцев) таким образом, чтобы их рабочая поверхность касалась кожи пользователя. Расположенные на кончиках пальцев резистивные датчики давления передают информацию о характере и силе захвата объекта. Данные о силе захвата передаются путём повышения интенсивности вибраций; информация о том, какие пальцы протеза участвуют в захвате, доводится до пользователя через яркость свечения светодиодов, расположенных в каждом пальце, а также через вибрацию определённых двигателей.

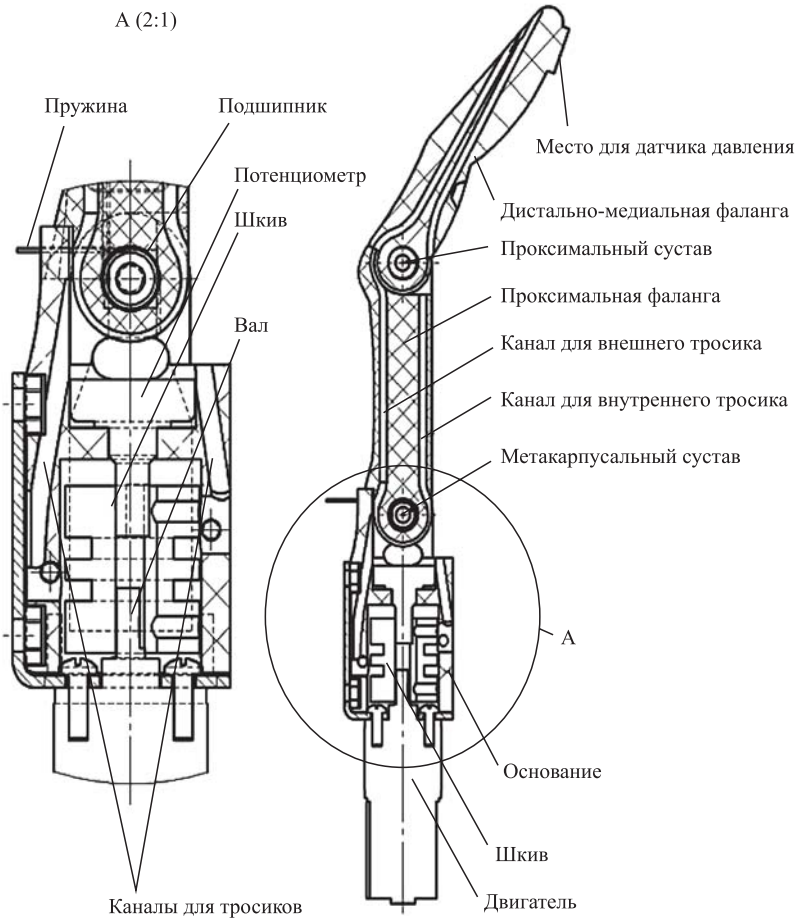


Рис. 2. Устройство указательного пальца протеза и расположение датчиков

Заключение. Разработано и собрано несколько вариантов кистевого электромеханического протеза. Предложена и внедрена в последнюю версию протеза система обратной связи, позволяющая получать объективную информацию о положении каждого пальца протеза в пространстве и характере его взаимодействия с объектами окружающей среды. За счёт динамической корректировки положения пальцев протеза в зависимости от натяжения тросиков повышена точность позиционирования протеза в процессе эксплуатации. Однако для подтверждения вывода о повышении эффективности использования протеза со световой, визуальной и вибротактильной связью необходимо реализовать предложенную систему в производственных условиях и провести её испытания с участием пользователя.

Библиографические ссылки

1. **Antfolk C., D'Alonzo M., Ros'en B.,** et al. Sensory feedback in upper limb prosthetics // Expert Review of Medical Devices. 2013. Vol. 10 (1). P. 45—54.

2. **Carrozza M.C., Cappiello G., Micera S., Edin B.B., Beccai L., Cipriani C.** Received: Design of a cybernetic hand for perception and action // Biological Cybernetics. Dec. 2006. Vol. 95 (6). P. 629—644.

3. **Biddiss E., Chau T.** Upper limb prosthesis use and abandonment: a survey of the last 25 year // Prosthetics and Orthotics International. 2007. Vol. 31 (3). P. 236—257.

4. **Gonzalez J., Soma H., Sekine M.,** et al. Psychophysiological assessment of a prosthetic hand sensory feedback system based on an auditory display: A preliminary study // Journal of Neuroengineering and Rehabilitation. 2012. Vol. 9 (1). P. 1—14.

5. **Witteveen H.J., Rietman H.S., Veltink P.H.** Vibrotactile grasping force and hand aperture feedback for myoelectric forearm prosthesis users // Prosthetics and Orthotics International. Jun. 2015. Vol. 39 (3). P. 204—212.

6. **Patel G., Dosen S., Castellini C. & Farina D.** Multichannel electrotactile feedback for simultaneous and proportional myoelectric control // Journal of Neural Engineering. Sep. 2016. Vol. 13 (5).

7. **Борисов И.И., Кривошеев С.В., Резников С.С., Олейник Р.В.** Разработка электромеханического протеза кисти с обратной связью // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Сборник докладов. 2015. С. 541—543.

8. **Borisov I.I., Krivosheev S.V., Oleinik R.V., Reznikov S.S.** Development of Design, Control System and Feedback System of Electromechanical Hand // Papers of «Doctoral School of Energy and Geotechnology II». 2015. P. 181—182.

9. **Кривошеев С.В.** Различные стратегии управления бионическим кистевым протезом с учётом определённых параметров // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 3. С. 29—33.

УДК 629.1.072.2

В.А. Елисеев, д-р техн. наук, проф.
(ЗАО «Институт инновационно-технологического менеджмента»)
dr.ye@mail.ru

ПРОЕКТЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНИКИ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ

Рассмотрены направления создания поездов новых и будущих поколений, предназначенных для высокоскоростного движения на выделенных направлениях. На основе современных подходов к управлению проектами предложена классификация и раскрыта специфика перспектив поездов новых поколений. Показано, что кардинальные обновления и пионерские показатели в этой сфере могут ожидаться в части фундаментальных разработок и инженерно-технических идей со спектром от расширения внедрения поездов на магнитной подушке, апробирования вакуумных поездов и поездов-экранопланов до предстоящего физического моделирования магнитного космического и гравитационного поездов.

Ключевые слова: проект; поезд; новое поколение.

The creation directions of the new and future generations trains, intended for high-speed traffic on selected directions are considered. On the basis of modern approaches to project management, a classification is proposed and the specific features of the prospects for new generation trains are disclosed. It is shown that cardinal updates and pioneering indicators in this sphere can be expected over the fundamental developments and engineering and technical ideas connected to the expansion of the introduction of trains on a magnetic cushion, the testing of vacuum trains and ekranoplan trains and physical modeling of magnetic space and gravitational trains.

Keywords: project; train; new generation.

Введение. Направления создания поездов новых поколений. Любой проект характеризуется наличием определённого набора признаков, которые являются универсальными, т. е. присущими каждому проекту. Сравнительный анализ показателей и значений этих признаков для комплекса разных проектов обусловливает их классификацию, которая иллюстрирует инновационно-инвестиционные отличия и степень проработанности проектов, что важно для менеджмент-маркетингового принятия решений, особенно в рамках управления проектами создания техники новых поколений, например, высокоскоростных поездов.

Общая протяжённость всех мировых железнодорожных путей составляет более 1,13 млн км, в том числе в США — 226 427 км, в Китае — 93 250 км и в России — 87 157 км. Экскурс к современным сетям отечественных железных дорог показывает, что они подразделяются на стратегические, социально значимые, грузообразующие, технологические и высокоскоростные линии, а приоритеты их строительства, как правило, определяются геополитическими, геосоциальными и геоэкономическими интересами страны. При этом особое внимание уделяется транспортному машиностроению в части инноваций подвижного состава (пассажирских электропоездов и электровозов, грузовых электровозов и тепловозов), обеспечению высокоскоростного движения поездов на выделенных направлениях [1]. В развитие ориентиров, отмеченных в работе [1], представляется целесообразным учесть отечественные и зарубежные опыт и достижения в конкурентных направлениях создания идущих на смену поездов новых и будущих поколений. Кардинальные обновления в сфере создания поездов новых поколений ожидаются в части фундаментальных разработок и инженерно-технических идей создания высокоскоростных поездов на магнитной подушке (маглевы, магнитопланы), апробации вакуумных поездов и поездов-экранопланов, моделирования магнитных космических (космическая пушка) и гравитационных поездов [2—6].

Необходимо отметить, что основная конкурентная сфера рассматриваемых поездов будущего — скорость транспортных средств

(при снижении объёмов перевозок) на выделенных направлениях. Эти поезда призваны не заменить традиционные (особенно тяжеловесные грузовые), а расширить потребительские возможности на выделенных направлениях общего и необщего пользования.

Цель статьи — раскрыть сравнительные особенности инновационно-инвестиционных перспектив проектов поездов новых и будущих поколений, предназначенных для высокоскоростного движения на выделенных направлениях.

Поезд на магнитной подушке (маглев, магнитоплан). Поезд удерживается над полотном дороги, движется и управляется силой электромагнитного поля. Между поездом и поверхностью полотна специальным компьютером поддерживается зазор в 10 мм: трение между ними исключается, а единственная тормозящая сила оказывается связанной только с аэродинамическим сопротивлением. Такие поезда относятся к монорельсовому транспорту, хотя вместо магнитного рельса может быть устроен канал между магнитами как на японском поезде «JR-Maglev» (рис. 1), установившем абсолютный рекорд скорости среди всех типов действующих поездов — 581 км/ч. Как и его немецкий аналог компании «Transrapid», японский поезд может обходиться без машиниста — его движением управляет автоматика.

С начала разработки проекта в Великобритании и ФРГ перспективы поезда на магнитной подушке оценили и в КНР, где была построена первая в мире коммерческая линия. Реализация проекта осуществлена компанией «Transrapid», его стоимость превысила 1,5 млрд долл. (высокая ценовая категория маглева является сдерживающим фактором его распространения).

Рис. 1. Поезд на магнитной подушке

Между поездами Японии и ФРГ есть различия. Так, в проекте «JR-Maglev» не используется монорельс, поезд движется по каналу между магнитами, а на малых скоростях применяются специальные колеса. Такой подход имеет следующие преимущества: простота эксплуатации, высокая максимальная скорость и бóльший уровень безопасности, но японская разработка существенно дороже.

В настоящее время маглев не может использовать имеющуюся транспортную инфраструктуру (есть даже предложение строительства «трубчатой дороги» с движением через специальные кольца над поверхностью земли), но появились проекты с расположением магнитных элементов между рельсами обычной железной дороги или под полотном автотрассы. Основное достоинство маглева — самая высокая скорость среди всех видов общественного наземного транспорта, а недостаток — высокая стоимость создания и обслуживания дороги (стоимость её строительства сопоставима с проходкой тоннеля метро закрытым способом). Кроме того, маглев как будто «привязан» к своей дороге. Но появилась концепция компании «Launchpoint Technologies» (США) по созданию «стабилизированной постоянной магнитной системы», которая позволит маглеву двигаться без этой «привязки»: для изменения вектора движения маглева достаточно перенаправить одну из магнитных линий в нужную сторону (подобно стрелочному переводу на современной железной дороге).

Помимо этого, предлагается создание автоматизированных мини-поездов, подобных лифту: перед отправкой пассажир указывает конечный пункт прибытия, и поезд отправится в путь (концепция личного железнодорожного транспорта).

В целом, в проекте маглева не выявлено проблем и факторов, способных помешать его реализации, как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе [2]. Но пока в пассажирских перевозках маглев имеет экономический потенциал на коротких участках пути (десятки километров), без промежуточных станций и с массовым круглосуточным пассажиропотоком.

Таким образом, замысел проекта маглева доведён до технического воплощения в нескольких вариантах. Средства решения определены или устанавливаются при создании новых поездов. Поставленные цели во многом

достигнуты. Результаты проекта конкретны (разработана новая техника) и абстрактны (приобретены соответствующие опыт, знания и т. д.). Одновременно эти результаты являются текущими (разработаны технологии, документация) и конечными (налажено производство, ожидается прибыль и т. д.). Стадия реализации проекта — внедрение. Вид проекта — мегапроект, его ныне достигнутую длительность можно считать среднесрочной.

Вакуумный поезд. Вакуумный поезд (рис. 2) — пока нереализованный высокоскоростной вид транспорта, предполагающий перемещение посредством магнитной левитации внутри вакуумного тоннеля (трубы) или в очень разряженном воздухе. Огромны его перспективы по достижению скоростей, многократно превышающих скорости реактивной авиации, путём уменьшения аэродинамического сопротивления размещением поезда в вакуумном тоннеле. Отсутствие воздушного сопротивления и трения (когда нет износа труб и вагонов из-за отсутствия контакта с ними) позволит двигаться с экономически оправданной скоростью 6400...8000 км/ч (ныне декларируется 350 км/ч), т. е. выше, чем у любого другого наземного вида транспорта при полностью автоматической маршрутизации, но высокой ожидаемой стоимости инфраструктуры.

В наиболее перспективном проекте вакуумного поезда США «Гиперпетля» для создания буфера некоторая часть «атмосферы» перенаправляется по сторонам вакуумного поезда, не давая ему касаться стен тоннеля. Для обсуждения перспектив строительства вакуумной дороги Москва — Санкт-Петербург создана российско-американская рабочая группа: предварительно, строительство трубопровода обойдётся в 7,5 млрд долл., а окупаемость проекта составит 20 лет при пропускной способности 7,4 млн чел. в год, время в пути займёт 30 мин, а стоимость билета — 20 долл. (аналогично намечаемому проекту США «Сан-Франциско — Лос-Анджелес»).

Представляется, что вакуумные поезда технически осуществимы и могут иметь спрос в системе пассажирских перевозок. Но пока остаётся открытым вопрос об объёмах реально необходимых ресурсов в виде существенных инвестиций и оправданности их вложения — финансовый риск мегапроекта велик. Замысел проекта близок к техническому воплощению, а средства его реализации уточняются и изыскиваются. Цели проекта представляются рискованными, но достижимыми. Результаты долгосрочного проекта намечаются, находятся в процессе обсуждения. Стадией реализации проекта является намечаемая апробация.

Поезд-экраноплан. Аэродинамический экранный эффект обеспечивает высокоскоростной (400...600 км/ч) и сверхнизкий полёт: от нескольких сантиметров до нескольких метров от твёрдой поверхности или воды, на которых при необходимости может базироваться поезд-экраноплан или экранолёт — модификация, расширяющая лётные возможности поезда-экраноплана (рис. 3 и 4).

Предполагается, что такой «поезд с крыльями» станет незаменимым на выделенных направлениях пассажирских и грузовых перевозок, как международных, так и внутренних — для нужд регионов и организаций.

Международные маршруты экранопланов (в том числе экранолётов) могут быть существенно (в разы) короче, чем используемые в настоящее время железнодорожные (а также автомобильные и морские).

Замысел проекта доведён до технического воплощения в целом ряде стран. Средства решения частично использованы и в основном определены на перспективу. Поставленные

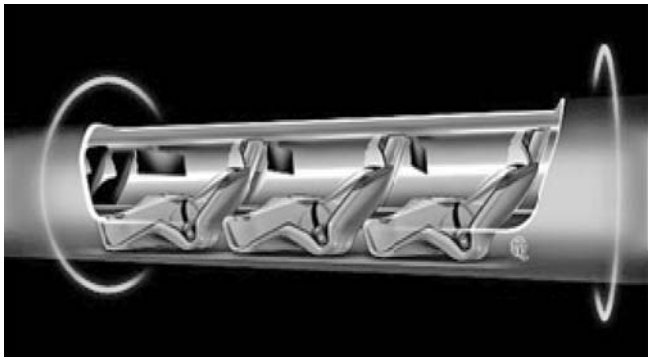


Рис. 2. Вакуумный поезд

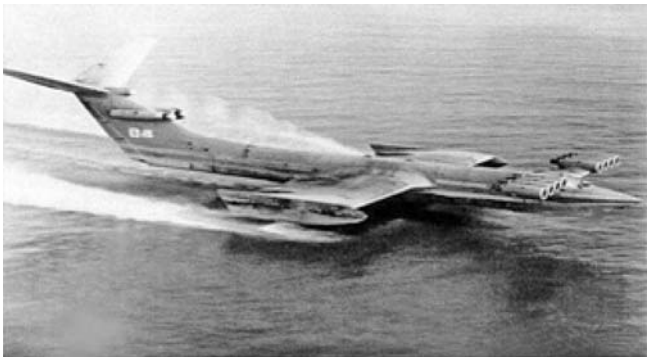


Рис. 3. Экраноплан КМ

Рис. 4. Гидросамолёт Бе-2500

цели успешно достигаются. Результаты проекта принципиально получены, хотя требуют доработки. Стадия реализации проекта — текущая апробация. Вид проекта, как правило, мультипроект, а по длительности — он, скорее, среднесрочный.

Магнитный космический поезд. Прорабатывается использование магнитных ускорителей в качестве средства вывода грузов в космос. Монопроект системы космических запусков перспективен (рис. 5), так как предполагает возможность доставки на орбиту грузов до 300 тыс. т по цене меньше текущей почти в 300 раз за 1 кг.

Для реализации проекта и избавления от замедляющего движение атмосферного воздействия вместо ракет, топлива и/или ионных двигателей предлагается использовать технологию магнитной подушки (маглева, магнитоплана). Но в отличие от традиционного горизонтального расположения магнитной подушки должен быть построен почти вертикальный вакуумный тоннель (с электромагнитной энергетикой) высотой около 20 км, из которого космические поезда будут «выстреливаться» в космос как из «космической пушки».

Необходимо отметить, что магнитный космический поезд по существу не пригоден для обслуживания наземных пассажиро- и грузопотоков.

Замысел проекта в настоящее время далёк от технического воплощения. Средства решения предварительно определены: требуемые инвестиции составляют порядка 60 млрд долл. Ожидаемые результаты уже представляют научно-технический интерес, но пока также далеки от практического получения. Длительность проекта — ≈20 лет (т. е. проект долгосрочный) и стадией его реализации пока остаётся «идея».

Гравитационный поезд. На сегодняшний день представляет собой концептуальное транспортное средство (рис. 6), так как пока не существует материалов для изготовления поезда и тоннеля, способных выдержать тектонику плит и температуру земной магмы.

Имеется в виду, что в принципе поезд можно приводить в движение, используя практически только силу тяжести и ускорение свободного падения в прямолинейном подземном тоннеле, из которого выкачан воздух, а задачу трения качения — решать с помощью магнитной подвески (маглева). Первую половину пути поезд будет катиться вниз («под гору») без локомотивной тяги, а вторую — подниматься вверх («в гору»), замедляясь без тормозов до пункта назначения (остановки).

Теоретически, не обязательно строить тоннель через центр Земли — практичнее строительство без выхода за пределы земной коры. Тогда, по достижении первой космической скорости гравитационным становится вакуумный поезд, который благодаря соответствующей магнитной энергии преодолеет остаточное сопротивление тоннельного воздуха.

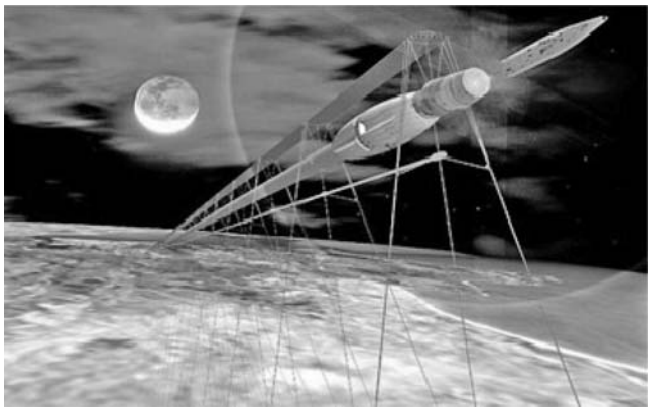


Рис. 5. Магнитный космический поезд

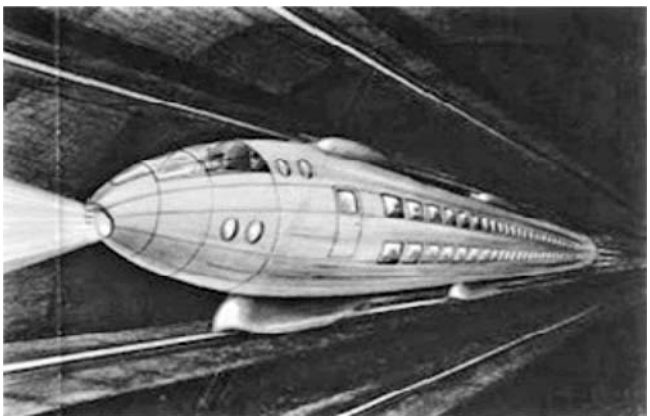


Рис. 6. Гравитационный поезд

Гравитационный поезд — самый амбициозный и долгосрочный монопроект, требующий решения комплекса системотехнических и конструктивно-технологических проблем. В настоящее время его замысел далёк от технического воплощения, ожидаемые результаты проекта представляют собой лишь существенный научно-технический интерес, а «идея» остаётся начальной стадией его реализации. К тому же средства реализации ещё не только не определены, но даже примерно не рассчитаны.

Классификация проектов. Основания, по которым классифицированы проекты с учётом совокупных международных опыта и достижений (имея в виду только лучшие значения и показатели в настоящее время) на обобщённом примере разных стран (Россия, США, ФРГ, Великобритания, КНР, Япония, Южная Корея), а также приведённые данные сведены в таблицу «Классификация проектов поездов новых поколений для высокоскоростного движения на выделенных направлениях».

Как видно из таблицы, виды (масштаб) рассматриваемых проектов представлены монопроектами (отдельными проектами), мультипроектом (комплексным, включающим несколько монопроектов) и мегапроектами, представляющими собой те или иные международные и/или государственные целевые программы. Так, например, специалисты России и США обсуждают внедрение международного проекта создания вакуумного поезда Москва — Санкт-Петербург, а в Японии возникла государственная востребованность в расширении предстоящего внедрения поездов-экранопланов.

Монопроекты (по виду) одновременно являются мегапроектами (или, как минимум, крупными) по масштабу инвестирования

Классификация проектов поездов новых поколений для высокоскоростного движения на выделенных направлениях

Признаки классификации	Поезд на магнитной подушке (маглев, магнитоплан)	Вакуумный поезд	Поезд-экраноплан	Магнитный космический поезд	Гравитационный поезд
Замысел (задача, проблема) проекта	Техническое воплощение	Близок к техническому воплощению	Техническое воплощение	Далёк от технического воплощения	Далёк от технического воплощения
Средства решения (реализации)	Определены (или устанавливаются при создании новых поездов)	Уточняются и изыскиваются	В основном или частично определены	Предварительно определены	Не определены
Цели (ожидаемые результаты)	Во многом достигнуты	Представляются рискованными, но достижимыми	Достигаются	Представляют научно-технический интерес	Представляют научно-технический интерес
Результаты проекта	Конкретные (разработана новая техника); абстрактные (приобретены опыт, знания и т. д.); текущие (разработаны технологии, документация); конечные (налажено производство, ожидается прибыль и т. д.)	Намечаются, находятся в процессе обсуждения	Принципиально получены, требуют доработки	Далеки от практического получения	Далеки от практического получения
Стадия реализации проекта (степень проработанности)	Внедрение	Намечается апробация	Текущая апробация	Идея	Идея
Вид (масштаб) проекта	Мегапроект	Мегапроект	Мультипроект	Монопроект	Монопроект
Длительность проекта	Среднесрочная	Долгосрочная	Среднесрочная	Долгосрочная	Долгосрочная

(⩾ 1 млрд долл.), т. е. все проекты дорогостоящие.

К одной из стадий реализации проектов (степени их проработанности) относится «идея», однако для магнитного космического (космической пушки) и гравитационного поездов (см. таблицу) в развитие «идей» пока не осуществлены не только апробации, но и физическое моделирование.

По типу все проекты являются не только техническими, но одновременно организационными, экономическими и социальными.

Для дальнейших разработки и реализации проектов должен быть предусмотрен соответствующий обеспечивающий комплекс.

Заключение. Достижения в конкурентных направлениях создания идущих на смену поездов новых и будущих поколений показывают, что кардинальные обновления и пионерские показатели в этой сфере ожидаются в части фундаментальных разработок и инженерно-технических решений со спектром от расширения внедрения поездов на магнитной подушке и практической реализации вакуумных поездов и поездов-экранопланов до предстоящего физического моделирования магнитного космического и гравитационного поездов.

Введена классификация проектов поездов новых поколений и раскрыта специфика инновационно-инвестиционных перспектив новых и будущих поколений поездов, предназначенных для высокоскоростного движения на выделенных направлениях.

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что действующие поезда на магнитной подушке и поезда-экранопланы не только имеют свою нишу применения (и поэтому необходимость совершенствования, тиражирования и расширения внедрения), но и в разные периоды определённо могут оправдывать затраченные на эти проекты средства.

Вакуумные поезда технически осуществимы и близки к апробации, но пока остаётся открытым вопрос об объёмах необходимых ресурсов в виде существенных инвестиций, их оправданности и риска вложения.

Из-за технических сложностей осуществимости «идей» в проектах создания магнитного космического и гравитационного поездов требуется соответствующее физическое моделирование (с последующей апробацией). Кроме того, эти проекты чрезвычайно до́роги (в том числе в обслуживании поездов) и пока не очевидно, что результаты оправдают затраченные средства, но в любом случае в перспективе предполагаемая реализация проектов уже сейчас представляет научно-исследовательский интерес, имеет научно-техническое значение.

Библиографические ссылки

1. **Распоряжение** правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р «О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года».

2. **Антонов Ю.Ф.** Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. Тр. 2-й Междунар. науч. конф. Киров: МЦНИП, 2014. 457 с.

3. **Вакуумный** поезд «Hyperloop» — поезд в будущее [Электронный ресурс]. Режим доступа: vise.imtechnology/vakuumny-poezd-hyperloop-poezd (дата обращения: 22.05.2017).

4. **Концепции** транспортных систем на базе экранопланов [Электронный ресурс]. Режим доступа: ekranoplan-ru.narod.ru (дата обращения: 22.05.2017).

5. **Магнитный** космический поезд Startram [Электронный ресурс]. Режим доступа: yaplakal.comforum3/topic1290931.html (дата обращения: 22.05.2017).

6. **Гравитационный** поезд [Электронный ресурс]. Режим доступа: dic.academic.rudic.nsf/ruwiki/877729 (дата обращения: 22.05.2017).

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация. Современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала.

При этом ссылка на журнал обязательна.

УДК 681.513

М.В. Иванов, канд. техн. наук, доц., **М.С. Селезнева, К.А. Неусыпин,** д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ВО ФЛОТАЦИОННОМ АППАРАТЕ

Рассмотрена задача мониторинга содержания газовой фазы во флотационном аппарате системы очистки сточных вод. Обработку информации в активной системе мониторинга диаметра пузырьков воздуха предложено проводить с помощью адаптивного нелинейного фильтра Калмана. Исследованы различные адаптивные модификации фильтра Калмана. Разработан фильтр с использованием алгоритма самоорганизации.

Ключевые слова: очистка сточных вод; флотационный аппарат; пузырьки воздуха; фильтр Калмана; самоорганизация.

The problem of monitoring the gas phase content in the flotation apparatus of the sewage treatment system is considered. The information processing in the active system for monitoring the diameter of air bubbles is proposed to be carried out with the help of an adaptive non-linear Kalman filter. Various adaptive modifications of the Kalman filter are investigated. A filter is developed using the self-organization algorithm.

Keywords: sewage treatment; flotation apparatus; air bubbles; Kalman filter; self-organization.

Введение. Объектом исследования является пневматический флотационный способ очистки сточных вод. Одним из ключевых параметров, характеризующих эффективность флотационной очистки, является размер пузырьков воздуха. Согласно результатам исследований [1] оптимальным является диаметр пузырьков, равный 0,1 мм. Однако со временем эффективность аэрационного оборудования ухудшается, что приводит к изменению создаваемого им размера пузырьков. В связи с этим, в процессе очистки необходимо контролировать размер пузырьков для получения наибольшей эффективности. Для контроля и последующего управления процессом формирования пузырьков необходимого размера используются аудиосигналы, полученные от гидрофонов, размещённых в ёмкости. Обычно с выходов гидрофонов сигналы, искажённые помехами, подвергаются обработке с помощью преобразования Фурье [2] для получения спектральных характеристик, по которым определяются фракции пузырьков, так как зависимости параметров пузырьков от частоты аудиосигналов известны [3].

В настоящей статье разработан каскадный алгоритм фильтрации измерительного сигнала в системе анализа фракций пузырьков. Каскадный алгоритм обработки информации включает адаптивные фильтры Калмана, алгоритм осреднения оценочных реализаций по ансамблю критериев и преобразование Фурье. Применение каскадного алгоритма обработки информации позволяет повысить точность определения фракций пузырьков в системе очистки жидкости.

Система измерения аудиосигналов. Большинство аудиосигналов представляют собой совокупность сигналов от нескольких источников звука. Разделение таких аудиосигналов необходимо для решения множества задач: распознавание речи, идентификация голоса, полифоническое разложение музыки и др.

В общем случае реальные аудиосигналы можно описать следующим уравнением [4]:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^{J} \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} a_{ij}(\tau) s_j(t-\tau), \qquad (1)$$

где $i = 1, 2, \ldots$ — количество звукозаписывающих устройств; $j = 1, 2, \ldots$ — количество источников звуков; $s_j(t)$ — сигналы источников звуков; $a_{ij}(\tau)$ — весовой множитель, характеризующий смешивание сигналов; τ — время осреднения.

В случае безэхового распространения и смешивания звука, отсутствия отражённого

звука комплексные значения весовых множителей a_{ij} могут быть определены преобразованием Фурье:

$$a_{ij}(f) = k_{ij} e^{-i2\pi f \tau_{ij}}; \qquad (2)$$

$$k_{ij} = \frac{1}{\sqrt{4\pi r_{ij}}} \text{ и } \tau_{ij} = \frac{r_{ij}}{c},$$

где r_{ij} — расстояние между j-м источником звука и i-м звукозаписывающим устройством; c — скорость звука в среде.

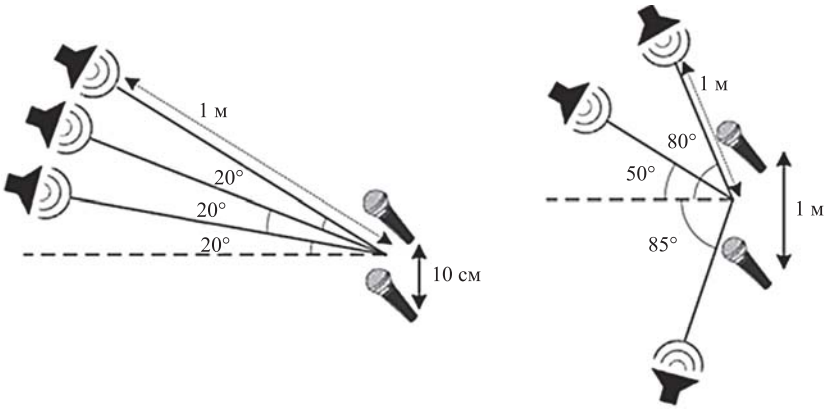


Рис. 1. Примеры взаимного расположения источников звука и звукозаписывающих устройств

Таким образом, величина весового коэффициента может быть определена вне зависимости от частоты, а фаза зависит от частоты, взаимного расположения источников звука и звукозаписывающих устройств. При этом, по умолчанию, взаимное расположение источников звука неизвестно, а взаимное расположение звукозаписывающих устройств может быть точно задано в качестве начальных условий (рис. 1).

Известны несколько методов для разложения результирующих сигналов на составляющие. Все они основываются либо на известной схеме смешивания сигналов источников звука, либо на вероятностных методах оценки способа смешивания. При этом задача может быть сильно упрощена, если число звукозаписывающих устройств совпадает с числом источников звуков.

В любом случае схема определения смешивания сигналов основана на определении разницы в добегании сигнала до каждого из звукозаписывающих устройств.

Разложение результирующего сигнала на составляющие осуществляется с учётом следующих допущений:

звук распространяется без отражений и преломлений (безэховое распространение);

количество источников звука точно определено;

каждый источник звука излучает синусоидальный звук разной частоты и фазы.

Результатом расчётной модели должно стать разложение результирующего сигнала (рис. 2, *а*) на составляющие (рис. 2, *б—г*).

Стабильный регуляризованный фильтр Калмана. При решении конкретных прикладных задач применение фильтра Калмана сопряжено с рядом таких проблем, как возможное отсутствие сходимости процесса оценивания, возникающее из-за неполноты или недостаточности априорной информации о свойствах процесса.

Частично компенсировать этот недостаток можно при использовании регуляризованного фильтра Калмана. Регуляризованный фильтр Калмана представляет собой фильтр, в структуру которого включён генератор случайного

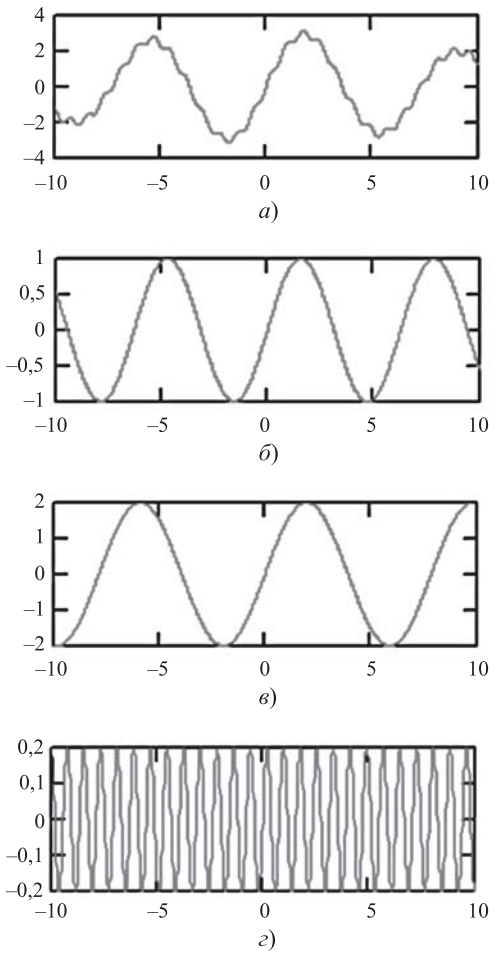


Рис. 2. Пример результирующего сигнала (*а*) и его составляющих (*б—г*)

стационарного сигнала $u(t)$. Это приводит к смещению оценки выходного сигнала $\hat{x}(t)$, но улучшает её статистические свойства и сходимость процесса оценивания [5, 6].

Коэффициент усиления фильтра, вычисляемый по невязке

$$\sigma_z^2 = \left\| Z(t) - H(t)\hat{x}(t)^2 \right\|, \qquad (3)$$

может стать меньше некоторого порогового значения, ограничивающего область устойчивости. Проблема заключается в выборе способа вычисления и установки коэффициента усиления фильтра $K(t)$. Подобная проблема может быть решена следующим способом.

В общем случае алгоритм регуляризованной фильтрации определяется векторным дифференциальным уравнением [6]:

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = F(t)\hat{x}(t) + K_\alpha(t)E_\alpha(t). \qquad (4)$$

Коэффициент усиления $K_\alpha(t)$ фильтра определяется следующим образом:

$$K_\alpha(t) = V_{\hat{x}}(t)H^T(t)\left[\psi_\varepsilon(t) + \alpha E\right]^{-1}, \qquad (5)$$

где $V_{\hat{x}}(t)$ — ковариация погрешности выходного сигнала; ψ_ε и ψ_w — ковариационные матрицы шума входного сигнала и белого шума соответственно; $E(t) = Z(t) - H(t)\hat{x}(t)$ — вектор невязки; α — параметр регуляризации, минимизирующий невязку $\|E_\alpha(t)\|^2$.

Известный метод замораживания может быть отнесён к методам регуляризации. Этот метод заключается в жёстком ограничении коэффициента фильтра относительно определённого порога, который выбирается из практических соображений.

Решение задач оценивания с использованием методов регуляризации решения будет устойчивым в том случае, если погрешность результата обработки согласована с погрешностью исходных данных. В практических приложениях согласованность часто нарушается, что обусловлено наличием аномальных погрешностей (сбоев, промахов, грубых ошибок, выбросов).

Расходимость фильтра Калмана, обусловленная отсутствием достоверной априорной информации о ковариационной матрице входного шума, является одной из наиболее часто встречающихся причин, ограничивающих применение фильтра Калмана для оценки состояния динамических объектов.

Фильтр Язвинского позволяет предотвратить расходимость процесса фильтрации за счёт адаптивной оценки ковариационной матрицы входного шума в процессе функционирования алгоритма. Фильтр Язвинского относится к семейству корреляционных алгоритмов. Адаптивная оценка ковариационной матрицы входного шума осуществляется на основе обработки статистического комплекса летательного аппарата (ЛА), доступная информация об исследуемом процессе содержится в обновляемой последовательности. Поэтому для синтеза адаптивной цепи в алгоритме Язвинского предложено использовать статистические свойства обновляемой последовательности.

А.Ф. Язвинский определяет значение ковариационной матрицы входного шума, при котором наиболее вероятно появление мгновенного значения обновляемой последовательности γ_k. Определение такого значения проводится путём максимизации плотности вероятности появления обновляемой последовательности γ_k. Плотность вероятности $P_{k-1}(q)$ имеет следующий вид:

$$\begin{gathered} P(\gamma_k) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}}\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}\gamma_k^2\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-1}}; \\ P(\gamma_k) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\gamma_k - M\gamma_k)^2}{2\sigma_{\gamma_k}^2}}. \end{gathered} \qquad (6)$$

Учитывая принятый вид ковариационной матрицы входного шума, это выражение примет вид

$$\begin{aligned} P(\gamma_k) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}}\Big[& H\Phi P_{k-1}\Phi^T H^T + \\ & + qHGQG^T H^T + R\Big]^{-\frac{1}{2}} \times \\ & \times \exp\Big[-\frac{1}{2}\gamma_k^2(H\Phi P_{k-1}\Phi^T H^T + \\ & + qHGQG^T H^T + R)^{-1}\Big]. \end{aligned} \qquad (7)$$

После дифференцирования $P(\gamma_k)$ по q и приравнивая результата нулю, находим

$$\begin{aligned} \frac{dp(\gamma_k)}{dq} = & -\frac{1}{2}(2\pi)^{-\frac{1}{2}} HH^T\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-\frac{3}{2}} \times \\ & \times \exp\left\{-\frac{1}{2}\gamma_k^2\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-1}\right\} + \frac{1}{2}(2\pi)^{-\frac{1}{2}} \times \\ & \times \gamma_k^2 HGG^T H^T\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-\frac{5}{3}} \times \\ & \times \exp\left\{-\frac{1}{2}\gamma_k^2\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-1}\right\} = 0 \end{aligned} \qquad (8)$$

или

$$-\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-\frac{3}{2}} + \gamma_k^2\left[M(\gamma_k^2)\right]^{-\frac{5}{3}} = 0. \qquad (9)$$

Упрощая это выражение, получим условие состоятельности

$$\gamma_k^2 = M(\gamma_k^2). \qquad (10)$$

Выражение для ковариационной матрицы обновляемой последовательности имеет вид

$$M(\gamma_k^2) = HP_{k/k-1}H^T + R. \qquad (11)$$

Запишем это выражение с учётом апостериорной ковариационной матрицы ошибок оценивания:

$$M(\gamma_k^2) = H\Phi P_{k-1}\Phi^T H^T + HGQG^T H^T + R. \quad (12)$$

С учётом принятого вида ковариационной матрицы входного шума

$$M(\gamma_k^2) = H\Phi P_{k-1}\Phi^T H^T + qHGQG^T H^T + R. \quad (13)$$

Отсюда определим величину q:

$$q = \frac{\gamma_k^2 - H\Phi P_{k-1}\Phi^T H^T - R}{HGG^T H^T}. \qquad (14)$$

Выражение позволяет оценивать значение ковариационной матрицы входного шума адаптивным образом после получения каждого последующего измерения z_k. Если $\hat{q} > 0$, это говорит о том, что обновляемая последовательность не состоятельна к своей статистике. Поэтому ковариационную матрицу ошибок оценивания необходимо увеличивать. Естественно имеется в виду увеличение нормы ковариационной матрицы. Следствием увеличения ковариационной матрицы ошибок оценивания является увеличение нормы матрицы усиления фильтра. Таким способом увеличивается вес измерений в формировании оценок вектора состояния.

Если же $\hat{q} \leqslant 0$, то это соответствует ситуации, когда значение обновляемой последовательности невелико и состоятельно к своей статистике. Тогда в алгоритме принимается $\hat{q} = 0$, так как по определению скалярная величина q всегда положительна.

Недостатками фильтра Язвинского являются необходимость иметь достоверную статистическую информацию о ковариационной матрице измерительного шума и возможные ошибки, обусловленные использованием для вычисления оценки вектора состояния только одного значения обновляемой последовательности. В условиях малых входных шумов возможны ситуации, когда появляются случайные всплески измерительного шума (аномальные измерения) при достаточно больших значениях априорной ковариационной матрицы измерительного шума: $\|Q\| \ll \|R\|$.

Таким образом, величина $\gamma_k^2 - H\Phi P_{k-1} \times \times \Phi^T H^T - R$ оказывается слишком малой. На данном этапе неизвестно, чем это обусловлено — малым входным шумом или аномальным измерением (большим измерительным шумом).

Для устранения последнего недостатка А.Ф. Язвинский предлагает использовать в фильтре не одно значение обновляемой последовательности, а некоторое значение, вычисленное на конечной измерительной выборке.

Расширенный фильтр Калмана. Обозначим вектор компонент исследуемой системы $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{bmatrix}^T$, где n — порядок системы, $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 & \hat{x}_2 & \dots & \hat{x}_n \end{bmatrix}^T$ — вектор оценок компонент системы. Следует отметить, что вектор $\hat{\mathbf{x}}$ является оценкой вектора состояния $\mathbf{x}$ ведущей системы, которая выполняется с применением оптимального непрерывного нелинейного фильтра Калмана, например, расширенного фильтра Калмана (РФК).

Рассматриваемые генераторы хаотических колебаний обычно описывают обыкновенными дифференциальными уравнениями второго и третьего порядков:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = f(\mathbf{x}, t) + \mathbf{w}(t), \qquad (15)$$

где $f(\mathbf{x}, t)$ — некоторая векторная нелинейная функция; $\mathbf{w}(t)$ — вектор-столбец входного возмущения, который является аналогом гауссовского белого шума (ГБШ) с нулевым математическим ожиданием.

Часть вектора состояния измеряется

$$\mathbf{z}(t) = s(\mathbf{x}, t) + \mathbf{v}(t), \qquad (16)$$

где $\mathbf{z}(t)$ — вектор наблюдений размерности m; $s(\mathbf{x}, t)$ — сигнал, описываемый векторной функцией-столбцом; $\mathbf{v}(t)$ — вектор-столбец гауссовского белого шума с нулевым математическим ожиданием и матрицей спектральной плотности $\mathbf{N}(t)$.

Кроме того, предположим, что вектор входного возмущения $\mathbf{w}(t)$ и вектор шума измерений $\mathbf{v}(t)$ имеют следующие характеристики:

$$E[w(t)w^T(t)] = W(t)\delta(t-\tau),$$
$$E[v(t)v^T(t)] = V(t)\delta(t-\tau),$$

где $\delta(t-\tau)$ — дельта-функция; $E[w(t)v^T(t)] = 0$.

В данном случае рассматривается только вопрос синхронизации хаотических колебаний, поэтому можем считать, что $s(\mathbf{x}, t) = \mathbf{x}(t)$. Тогда выражение (16) приобретает вид

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t). \qquad (17)$$

Поскольку передаются все компоненты хаотических колебаний, то $m = n$.

Для получения оценки $\hat{\mathbf{x}}$ целесообразно использовать расширенный фильтр Калмана [6]. Тогда, оценка $\hat{\mathbf{x}}$ имеет следующий вид:

$$\frac{d\hat{\mathbf{x}}(t)}{dt} = f(\hat{\mathbf{x}}, t) + \mathbf{R}(t)\left[\frac{\partial\hat{\mathbf{x}}(t)}{\partial\mathbf{x}^T}\right]^T \times \times \mathbf{N}^{-1}(t)\left[\mathbf{z}(t) - \hat{\mathbf{x}}(t)\right], \qquad (18)$$

где

$$\frac{d\mathbf{R}(t)}{dt} = \left[\frac{\partial f(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial\mathbf{x}^T}\right]\mathbf{R}(t) + \mathbf{R}(t)\left[\frac{\partial f(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial\mathbf{x}^T}\right]^T - - \mathbf{R}(t)\left[\frac{\partial\hat{\mathbf{x}}(t)}{\partial\mathbf{x}^T}\right]^T \mathbf{N}^{-1}(t)\left[\frac{\partial\hat{\mathbf{x}}(t)}{\partial\mathbf{x}^T}\right]\mathbf{R}(t);$$

$$\left[\frac{\partial f(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial\mathbf{x}}\right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial f_1(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial f_2(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \frac{\partial f_n(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial f_n(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)}{\partial x_n} \end{bmatrix},$$

$$\left[\frac{\partial\hat{\mathbf{x}}(t)}{\partial\mathbf{x}}\right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial\hat{x}_1}{\partial x_1} & \frac{\partial\hat{x}_1}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial\hat{x}_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial\hat{x}_2}{\partial x_1} & \frac{\partial\hat{x}_2}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial\hat{x}_2}{\partial x_n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \frac{\partial\hat{x}_n}{\partial x_1} & \frac{\partial\hat{x}_n}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial\hat{x}_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}.$$

На основании того, что компоненты вектора $\mathbf{x}$ передаются по отдельным, не влияющим друг на друга каналам, получим [5]:

$$\left[\frac{\partial\hat{\mathbf{x}}(t)}{\partial\mathbf{x}}\right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial\hat{x}_1}{\partial x_1} & \frac{\partial\hat{x}_1}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial\hat{x}_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial\hat{x}_2}{\partial x_1} & \frac{\partial\hat{x}_2}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial\hat{x}_2}{\partial x_n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \frac{\partial\hat{x}_n}{\partial x_1} & \frac{\partial\hat{x}_n}{\partial x_2} & \ldots & \frac{\partial\hat{x}_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \qquad (19)$$

Тогда выражение (4) примет окончательный вид:

$$\frac{d\hat{\mathbf{x}}(t)}{dt} = f(\hat{\mathbf{x}}, t) + \mathbf{R}(t)\mathbf{N}^{-1}(t)\left[\mathbf{z}(t) - \hat{\mathbf{x}}(t)\right], \qquad (20)$$

где

$$\frac{d\mathbf{R}(t)}{dt} = \left[\frac{\partial f(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial\mathbf{x}^T}\right]\mathbf{R}(t) + \mathbf{R}(t)\left[\frac{\partial f(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial\mathbf{x}^T}\right]^T - \mathbf{R}(t)\mathbf{N}^{-1}(t)\mathbf{R}(t).$$

Таким образом, выражение (20) полностью описывает устройство для синхронизации хаотических колебаний в соответствии с известным алгоритмом расширенного фильтра Калмана.

Для того чтобы оформить алгоритм расширенного фильтра Калмана при решении нелинейных задач оценивания, необходимо воспользоваться разложением в ряд Тейлора. Однако такая линеаризация заменяет исходную нелинейную модель приближённой линейной моделью. В основу расширенного фильтра Калмана положена структура известного линейного фильтра Калмана, поэтому точность синхронизации хаотических колебаний с использованием расширенного фильтра Калмана не является высокой.

Разработка адаптивного фильтра Калмана для активной системы мониторинга содержания газовой фазы во флотационном аппарате. Одним из развивающихся методов представления нелинейных систем является линеаризация исходных систем обратной связью [7]. Такое представление осуществляется с использованием соответствующего оператора преобразования. Различают два основных метода линеаризации обратной связью: полная

линеаризация нелинейной системы обратной связью (input-state linearization, линеаризация обратной связью по состоянию) и частичная линеаризация (input-output linearization, линеаризация обратной связью по выходу системы). Такая линеаризация не является приближением, а эквивалентным представлением исходной нелинейной системы. Следует отметить, что оператор преобразования в общем случае не является единственным. По этому методу линеаризации можно представить исходную нелинейную систему в эквивалентном виде: модель имеет структуру линейных дифференциальных уравнений с параметрами, которые зависят от состояния (State Dependent Coefficient, SDC) [7]. Однако преобразование SDC возможно применить лишь для одного класса нелинейных систем.

В общем случае построение нелинейной модели исследуемого процесса можно осуществить с помощью эволюционных алгоритмов, например алгоритма самоорганизации [8, 9] или генетического алгоритма (ГА).

Алгоритм самоорганизации. Алгоритм самоорганизации представляет собой способ селекции моделей-претендентов с помощью ансамбля критериев [10, 11]. Ансамбль критериев селекции делает выбор модели однозначным. Использование критериев, каждый из которых осуществляет многозначный выбор модели, усложняет реализацию алгоритмов. Таким образом, методом самоорганизации может быть получена математическая модель исследуемой системы, которая в дальнейшем используется в нелинейном фильтре Калмана. Функциональная схема алгоритма самоорганизации представлена на рис. 3.

На схеме представлены основные процедуры алгоритма самоорганизации, где x_1, x_2, x_3, ..., x_n — модели претендентов; АКС — ансамбль критериев селекции; y^{m1}, y^{m2}, ..., y^{mm} — построенные модели после рядов селекции по АКС; | || ||| — процессы генерирования моделей-претендентов.

Одним из распространённых алгоритмов самоорганизации является алгоритм, основанный на методе группового учёта аргументов (МГУА).

Полное описание исследуемого процесса имеет вид

$$\varphi = f_1(x_1, x_2, x_3, ..., x_i). \qquad (21)$$

Его целесообразно заменить несколькими частными описаниями:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2),\ y_2 = f_1(x_1, x_3),\ ...,$$
$$y_m = f_1(x_{n-1}, x_n),\ \text{где}\ m = C_n^2;$$
$$z_1 = f_1(y_1, y_2),\ z_2 = f_1(y_1, y_3),\ ...,$$
$$z_p = f_1(y_{m-1}, y_m),\ \text{где}\ p = C_m^2.$$

Исключая промежуточные переменные, можно получить аналог полного описания исследуемого процесса. Аналог должен соответствовать по виду полному описанию. МГУА позволяет найти оценки коэффициентов полного уравнения.

Модель в классическом алгоритме самоорганизации имеет вид

$$c_{k-1} = \sum_{i=1}^{L} a_i \mu_i\left(f_i, x\right), \qquad (22)$$

где L — число базисных функций; a_i — амплитуда; f_i — частота; μ_i — базисные функции из параметризованного множества F_p.

$F_p = \left\{a_i \mu_i\left(f_i, x\right) \middle| i = \overline{1, L}\right\}$ — набор базисных функций. Каждая базисная функция определяется в соответствии с двухмерным вектором параметров $(a_i f_i)^T$.

Алгоритм позволяет построить модель, которая затем используется в фильтре Калмана.

Выводы. Разработанный каскадный алгоритм позволяет повысить точность обработки информации в активной системе мониторинга содержания газовой фазы во флотационном аппарате очистки сточных вод. Повышение точности осуществляется в линейной постановке задачи за счёт адаптивного вычисления характеристик входного шума в адаптивном фильтре Калмана, а в нелинейной постановке — за счёт построения нелинейной модели фильтра Калмана с помощью алгоритма самоорганизации.

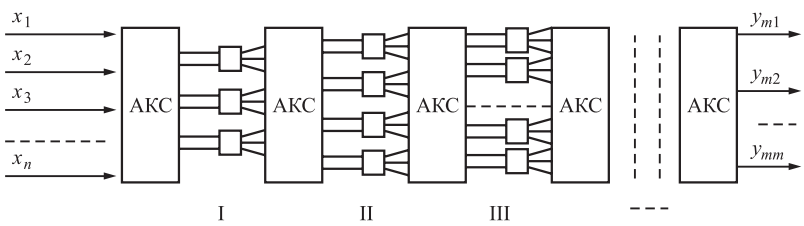


Рис. 3. Функциональная схема алгоритма самоорганизации

Библиографические ссылки

1. **Ксенофонтов Б.С., Иванов М.В.** Интенсификация очистки сточных вод и почвы методом флотации. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.

2. **Kozhevnikova I.N., Bjorno L.** Experimental study of acoustical emission from bubble cloud excitation // Ultrasonics. Vol. 30. 1992. No 1. P. 21—25.

3. **Minnaert M.** On musical air-bubbles and the sound of running water // Philosophical Magazine. 1993. Vol. 16. P. 235—248.

4. **Sayeh Mirzaei, Hugo Vanhamme, Yaser Norouzi.** Blind audio source counting and separation of anechoic mixtures using the multi channel complex NMF framework // Signal Processing. 115(2015). P. 27—37.

5. **Шахтарин Б.И.** Нелинейная оптимальная фильтрация в примерах и задачах. М.: Гелиос АРВ, 2008.

6. **Шахтарин Б.И.** О нелинейных оптимальных и квазиоптимальных фильтрах Стратоновича // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51. № 11. С. 1324—1336.

7. **Афанасьев В.Н.** Управление нелинейными неопределенными динамическими объектами. М.: Либроком/URSS, 2015.

8. **Неусыпин К.А., Шэнь Кай.** Модификация нелинейного фильтра Калмана с использованием генетического алгоритма // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 5. С. 9—11.

9. **Neusypin K.A., Proletarsky A.V., Shen Kai et al.** Aircraft self-organization algorithm with redundant trend // Journal of Nanjing University of Science and Technology. 2014. № 5. P. 602—607.

10. **Шахтарин Б.И., Шэнь Кай, Неусыпин К.А.** Модификация нелинейного фильтра Калмана в схеме коррекции навигационных систем летательных аппаратов // Радиотехника и электроника. 2016. Т. 61. № 11. С. 1065—1072.

11. **Неусыпин К.А.** Разработка модифицированных алгоритмов самоорганизации для коррекции навигационной информации // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 1. С. 37—39.

УДК 347(075)

А.В. Богомолов, д-р техн. наук, проф., **Р.С. Климов,** канд. техн. наук
(Главный научно-исследовательский испытательный центр робототехники Минобороны России, г. Москва)

a.v.bogomolov@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОЛЛЕКТИВНЫХ СЕТЕВЫХ ЭКСПЕРТИЗ

Изложена технология автоматизированной обработки информации при проведении групповых сетевых экспертиз на основе метода Дельфи, применение которой позволяет автоматизировать поддержку принятия решения о необходимости проведения следующего тура экспертизы за счёт организации обратной связи на основе оценки коэффициента конкордации.

Ключевые слова: автоматизация экспертиз; сетевая экспертиза; принятие решений; коллективная экспертиза; групповая экспертиза; метод Дельфи; коэффициент конкордации.

The technology of automated information processing during group network expert examinations based on the Delphi method is stated. Its application allows to automate the decision support on the need to conduct the next examination due to the organization of feedback based on the evaluation of the concordance coefficient.

Keywords: examinations automation; network expertise; making decisions; collective examination; group examination; The Delphi method; concordance coefficient.

Введение. В целях сокращения множества альтернативных вариантов решения задачи, аналитическое описание которых вызывает затруднения, в большинстве случаев применяют *экспертизы* — исследования, проводимые лицами, компетентными в определённой (как правило, «узкой») предметной области, привлечёнными по поручению заинтересованных лиц для ответа на вопросы, требующие специальных познаний [1].

Прогресс информационно-телекоммуникационных технологий обусловил целесообразность (с позиции качество/стоимость) реализации технологий *коллективных сетевых экспертиз* — экспертиз, широко использующих современные информационные технологии, сети связи и передачи данных для организации групповых экспертных процедур с привлечением сетевых экспертов, имеющих равные (в том числе — независимо от места

пребывания) возможности участия в экспертизе [2—5]. Технологии коллективных сетевых экспертиз в настоящее время интенсивно развиваются, причём одним из приоритетов их развития является получение объективных результатов с максимально возможной автоматизацией экспертизы.

Основная часть. В общем случае коллективная сетевая экспертиза предполагает выполнение следующих этапов (стадий) [2]:

1) принятие решения о необходимости проведения экспертного опроса и формулировка руководителем его цели;

2) подбор и назначение руководителем основного состава рабочей группы (научного руководителя и секретаря, модераторов и ответственных за технологическое обеспечение экспертизы);

3) разработка рабочей группой (точнее, её основным составом, прежде всего научным руководителем и секретарем) и утверждение заказчиком экспертизы технического задания на проведение экспертного опроса;

4) разработка рабочей группой подробного сценария (т. е. регламента) проведения сбора и анализа экспертных мнений (оценок);

5) формирование экспертной комиссии;

6) подбор экспертов в соответствии с их компетентностью;

7) проведение сбора экспертной информации;

8) анализ экспертной информации с помощью включённых в сценарий методов: при применении согласно сценарию экспертной процедуры из нескольких туров — необходимость повторения этого и предыдущего этапов;

9) итоговый анализ экспертных мнений, интерпретация полученных результатов и подготовка заключительного документа для руководителя;

10) официальное окончание деятельности рабочей группы, в том числе утверждение руководителем рабочей группы заключительного документа, представление его заказчику экспертизы.

Несмотря на ряд очевидных преимуществ: оперативность и полнота охвата проблемы; возможность привлечения множества экспертов, каждый из которых может являться специалистом по части рассматриваемых вопросов (возможность агрегирования неполных предпочтений); возможность непосредственных коммуникаций между экспертами и др., коллективные сетевые экспертизы обладают недостатками, связанными с утратой «живого» общения, возможностью манипулирования результатами экспертизы и др. [2, 3].

Опыт организации и проведения коллективных сетевых экспертиз показывает, что их специфика должна быть учтена в основном на стадиях 6—8, для остальных стадий следует использовать (с соответствующей адаптацией) результаты, известные в теории экспертных оценок.

Для подбора экспертов в соответствии с их компетентностью эффективным оказывается применение методики, предложенной Г.П. Шибановым [6]. В соответствии с этой методикой компетентность эксперта определяется структурой и весомостью аргументов, послуживших ему основанием для ответа на поставленные вопросы, а также уровнем его осведомлённости в рассматриваемой области знаний. Представительность (репрезентативность) экспертной группы в целом оценивается по величине средней арифметической компетентности входящих в её состав экспертов. Группа экспертов считается компетентной, если эта величина превышает априорно заданное (исходя из специфики задач экспертизы) пороговое значение k (как правило, $k = 0{,}7$). Методика Г.П. Шибанова, например в модификации [7], позволяет автоматизировать формирование представительной группы экспертов, обеспечивающей значимость результатов экспертизы.

После формирования группы экспертов для определения числа туров экспертизы, необходимых для получения согласованного мнения группы экспертов, выполняют сбор экспертной информации и её предварительный анализ. Несмотря на множество возможных тактик, подходов и стратегий экспертизы, опыт показывает, что для получения объективных и обоснованных результатов процедура экспертизы должна быть интуитивно понятной эксперту. Из этих соображений наиболее подходящим для применения при решении задач исследования представляется классический метод экспертного оценивания, известный как дельфийский метод (метод Дельфи).

Метод Дельфи разработан в 1950—1960-е гг. в США для прогнозирования влияния будущих научных разработок на методы ведения войны, а его многочисленные модификации

и интерпретации эффективно применялись для решения многих прикладных задач, требующих получения мнения группы экспертов [8—10]. Особенностями метода являются заочность, многоуровневость и анонимность. Исходная предпосылка метода Дельфи, как и всех методов обработки экспертной информации, — если грамотно обобщить и обработать индивидуальные оценки квалифицированных экспертов, то можно получить коллективное мнение, обладающее достаточной степенью достоверности и надёжности.

Суть метода Дельфи заключается в том, чтобы с помощью серии последовательных действий добиться максимального консенсуса при определении коллективного решения. Базовым принципом метода является то, что некоторое количество независимых экспертов (в идеале несвязанных и не знающих друг о друге) лучше оценивает ситуацию и определяет результат, чем структурированная группа (коллектив) экспертов. Применение метода Дельфи позволяет избежать открытых столкновений между носителями противоположных позиций, поскольку не требует непосредственного контакта экспертов между собой и, следовательно, исключает групповое влияние, возникающее при совместной работе и состоящее в приспособлении к мнению большинства, что даёт возможность реализации сетевых экспертиз.

Субъектами метода Дельфи являются две группы:

группа экспертов, каждый из которых ранжирует альтернативные варианты (или отвечает на вопросы анкеты) индивидуально в письменной форме;

экспертная комиссия (организационная группа), которая сводит мнения экспертов воедино.

Экспертиза с помощью метода Дельфи предполагает выполнение следующих шагов:

организационная группа рассылает экспертам множество альтернативных вариантов решения с просьбой оценить, все ли альтернативы учтены;

эксперты анонимно рассматривают множество альтернативных вариантов решения, дают оценки полноты учёта альтернатив и представляют результаты в организационную группу;

доработанный организационной группой перечень альтернативных вариантов вновь рассылается на рассмотрение экспертам: при наличии принципиальных разногласий процедура повторяется до устранения принципиальных разногласий, а сформированный после этого список альтернативных вариантов является предметом экспертизы;

эксперты анонимно осуществляют ранжирование альтернативных вариантов, ставя в соответствие каждому варианту количественную оценку — ранг в диапазоне от 1 (лучшая оценка) до m (число альтернативных вариантов, худшая оценка), причём нескольким альтернативным вариантам может быть поставлена одна и та же оценка (допускаются связанные ранги), а также дают краткий комментарий своему решению;

результаты ранжирования представляются в организационную группу, которая определяет промежуточные результаты и принимает решение о завершении или о необходимости проведения следующего тура экспертизы (при проведении следующего тура экспертам доступны обезличенные комментарии, сделанные на предыдущем этапе экспертизы).

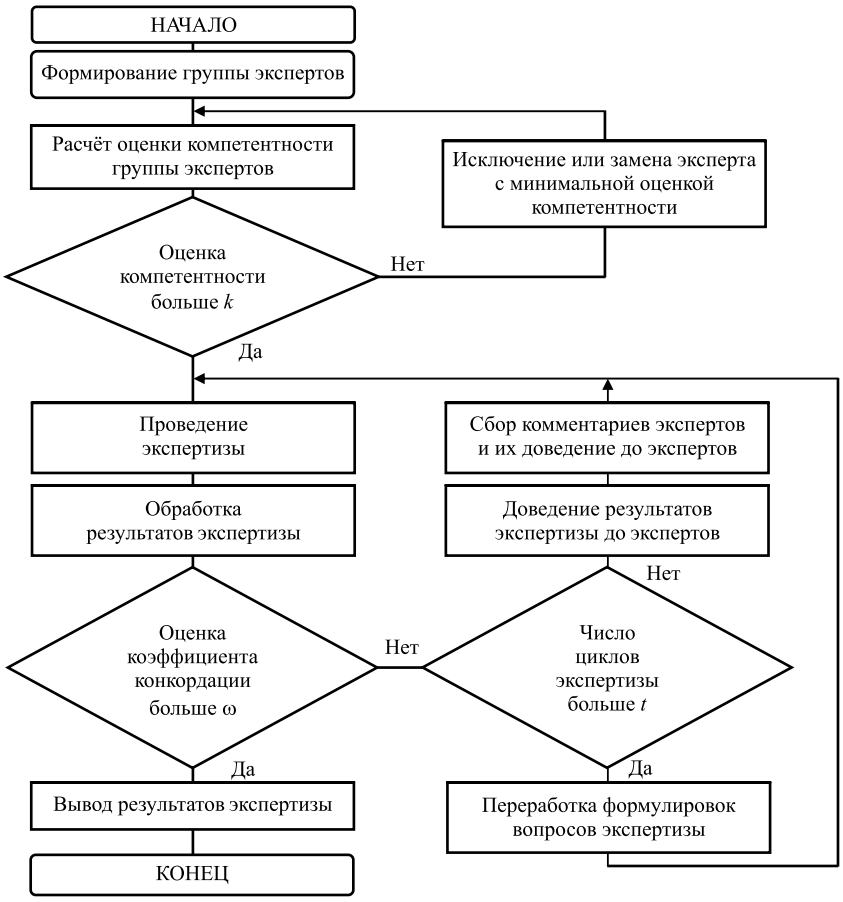
Для использования метода Дельфи в сетевых коллективных экспертизах предлагается определять промежуточные результаты и принимать решение о завершении или о необходимости проведения следующего тура экспертизы автоматизировано (без задействования организационной группы) на основе *коэффициента конкордации* (множественного коэффициента корреляции рангов по Кендаллу) [8].

При этом расчёт коэффициента конкордации следует производить с учётом наличия связанных рангов и расчётом уровня статистической значимости.

Если оценка коэффициента конкордации превышает некоторый априорно заданный порог ω (как правило, $\omega = 0{,}8$), то экспертиза завершается — определяется результирующее ранжирование альтернативных вариантов.

Если оценка коэффициента конкордации не превышает ω, то проводят повторную экспертизу вариантов решения: экспертам (при соблюдении анонимности) направляют краткие комментарии всех экспертов и просят повторно ранжировать альтернативные варианты. При этом исходя из потребностей практики ограничивают число возможных туров (циклов) экспертизы, при количестве туров более априорно заданного (t) осуществляют повторное формирование группы экспертов.

Алгоритм реализации 6—8-го этапов (стадий) коллективной сетевой экспертизы на основе метода Дельфи и оценки коэффициента конкордации представлен на рисунке.



Алгоритм обработки информации при проведении коллективных сетевых экспертиз

Несмотря на разнообразие методов определения ранжирования альтернативных вариантов группой экспертов, наиболее простым и хорошо зарекомендовавшим на практике является метод, согласно которому:

для каждого альтернативного варианта определяются ранги, выставленные экспертами;

один минимальный и один максимальный ранг исключаются из рассмотрения, а оставшиеся ранги суммируются;

альтернативные варианты ранжируются — упорядочиваются в порядке убывания суммы рангов.

Хотя метод Дельфи критикуют за «беззащитность» эксперта перед экспертной группой (все эксперты знают друг друга, и их очень мало) и большую длительность экспертизы (вследствие наличия обратной связи время проведения зависит от средств коммуникации экспертов), по нашему мнению, именно наличие обратной связи, мотивированность отбираемых экспертов (их «нацеленность» на результат) и предлагаемое использование оценки коэффициента конкордации для объективизации согласованности мнений экспертов позволяют успешно использовать этот метод для решения задач коллективных сетевых экспертиз.

Заключение. Изложенный подход к автоматизации формирования группы экспертов, сбора и обработки экспертной информации на основе метода Дельфи и организации обратной связи на основе оценки коэффициента конкордации является эффективным инструментарием реализации коллективных сетевых экспертиз.

Библиографические ссылки

1. **Анохин А.Н.** Методы экспертных оценок. Обнинск: ИАТЭ, 1996. 148 с.

2. **Сетевая** экспертиза / Под ред. Д.А. Новикова и А.Н. Райкова. М.: Эгвес, 2010. 163 с.

3. **Губанов Д.А., Коргин Н.А., Новиков Д.А.** Модели нечеткой сетевой экспертизы // Системы управления и информационные технологии. 2010. № 4. С. 13—18.

4. **Максимов И.Б., Столяр В.П., Богомолов А.В.** Прикладная теория информационного обеспечения медико-биологических исследований. М.: БИНОМ, 2013. 313 с.

5. **Орлов А.И.** Экспертные оценки. М.: Экзамен, 2002. 32 с.

6. **Шибанов Г.П.** Порядок формирования экспертных групп и проведения коллективной экспертизы // Информационные технологии. 2003. № 12. С. 26—29.

7. **Гузий А.Г., Лушкин А.М., Майорова Ю.А.** Теория и практика экспертного анализа состояний сложных динамических систем. М.: ИД академии им. Н.Е. Жуковского, 2015. 128 с.

8. **Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г.** Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 263 с.

9. **Соколов А.В.** Будущее науки и технологий: результаты исследования Дельфи // Форсайт. 2009. Т. 3. № 3. С. 40—58.

10. **Илиева С.Б.** Базовые процессы и круговое протекание метода Дельфи // Науч. тр. Северо-Западного института управления. 2014. Т. 5. № 1 (13). С. 141—148.

УДК 378.1

Т.Ю. Цибизова, д-р пед. наук, проф., **Е.В. Чернега**
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)
vesta952006@yandex.ru

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ В СИСТЕМЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ

Рассмотрены особенности реализации образовательных концепций в современной России. Выделены ключевые моменты образовательного процесса, в частности, исследовательская деятельность обучающегося в процессе непрерывной подготовки. Предложены подходы к реализации исследовательской деятельности: системный, деятельностный, компетентностный, индивидуально-личностный.

Ключевые слова: образовательный процесс; непрерывная подготовка; исследовательская деятельность; опережающее образование; цифровая экономика.

The features of the educational concepts implementation in modern Russia are considered. Key points of the educational process are distinguished, in particular, the research activity of the trainee in the process of continuous preparation. Approaches to realization of research activity are offered: system, activity, competence, individual and personal.

Keywords: educational process; continuous training; research activity; advanced education; digital economy.

Введение. В России на современном этапе особенно актуальным становится не просто подготовка кадров для отечественной промышленности, а увеличение качественного кадрового состава, способного вывести страну на новый уровень развития, восприимчивого к инновационным тенденциям научно-технического, экономического, политического и социального прогресса [1, 2].

Как концептуально сформулировал Хо Ши Мин: «Хочешь иметь пищу через десять лет — посади плодовое дерево, хочешь хорошо жить через сто лет — воспитай народ». Для того чтобы подрастающее поколение стало надёжным резервом российской экономики и культуры, для конструктивного использования их знаний и умений в интересах государства необходимо, чтобы молодёжь чувствовала себя востребованной, имела перспективы самореализации в сложной жизни, получила действенную альтернативу негативным явлениям, существующим сегодня в молодёжной среде.

Процесс развития системы отечественного образования ориентирован на её вхождение в мировое образовательное пространство, что особенно явно начинает проявляться в практической реализации новой образовательной парадигмы, связанной с усилением значения исследовательской деятельности обучающихся в системе опережающего образования [3].

Социокультурные условия формирования стратегии общества, характеризуемого как «постиндустриальное», при увеличении количества получаемой, обрабатываемой и используемой информации, создании высокотехнологичных производств, расширении междисциплинарных связей и полипрофессиональных интересов, создании в России цифровой экономики [4] требуют подготовки специалиста нового уровня, способного:

реализовывать активную общественную и профессиональную позицию, умение адаптироваться к различным жизненным и производственным ситуациям;

обеспечивать процесс создания, внедрения и транслирования инноваций, направленных на опережающее развитие научных и производственных отраслей;

овладевать технологией приобретения разносторонних знаний, обеспечивающих его успешную адаптацию в новых условиях общественного развития и способность созидать инновационные продукты и технологии.

Основные пути решения задачи. На решение проблемы опережающей подготовки высококвалифицированных кадров для цифровой экономики России направлена, в частности, стратегия создания в оборонно-промышленном комплексе (ОПК) системы многоуровневого непрерывного образования (начального, среднего,

высшего и дополнительного профессионального образования), включая меры по закреплению кадров в организациях ОПК, развитию базовых кафедр и лабораторий в структуре ведущих образовательных учреждений высшего профессионального образования, созданию и развитию на базе крупных интегрированных структур научно-образовательных подразделений для переподготовки и повышения квалификации инженерно-технических работников, а также отраслевых аспирантур в научно-исследовательских организациях [5].

Стратегическое значение проекта государственной программы Российской Федерации «Развитие образования» до 2020 г. заключается в поставленной для решения задаче повышения доступности качественного образования, соответствующего требованиям инновационного развития экономики, современным потребностям общества и каждого гражданина.

Создание новой организационно-правовой и структурно-содержательной основы отечественного образования обусловлено развитием национальных исследовательских центров; инфраструктуры поддержки инновационной деятельности школьников, молодёжи и специалистов производства и науки, включающей технико-внедренческие интегрированные образовательно-производственные и научные структуры, наукограды, технопарки, бизнес-инкубаторы, фонды поддержки молодёжного предпринимательства, центры трансфера технологий и федеральные центры коллективного пользования научным оборудованием. Эти меры позволяют интенсифицировать процесс внедрения исследовательской деятельности в образовательный процесс системы опережающего образования, а также ускорить всестороннее взаимопроникновение образования, науки и высокотехнологичного производства.

Для эффективной реализации программы опережающего образования целесообразно осуществлять изучение и организацию исследовательской деятельности обучающихся и рассматривать её как особый вид познавательной, образовательной, научно-практической деятельности в системе опережающего образования. Именно навыки исследовательской деятельности, внедрение в неё способов, методов и технологий способствуют подготовке высококвалифицированных кадров, научных исследователей, учёных, преподавателей, специалистов, умеющих ставить и решать сложные научные задачи, неординарно мыслить, создавать наукоёмкую продукцию, открывать закономерности и законы, развивать науку, технику и технологии будущего.

Исследовательская деятельность — это организуемый процесс в целях выявления закономерностей и механизмов функционирования изучаемого явления, овладения обучающимися системой научных знаний, выработки познавательных умений и навыков, получения новой информации о чём-либо, и, как следствие, формирования мировоззрения, нравственных и других качеств личности, развития её творческих сил и способностей.

На современном этапе развития общества, по мнению А.М. Новикова, ведущей формой организации деятельности выступает организационная культура деятельности проектно-технологического типа, согласующаяся с исследовательской, проектной и конструкторской деятельностью. Отсюда возникает необходимость внедрения исследовательской деятельности в образовательный процесс общего и профессионального образования. Так как сфера образования является достаточно консервативной и по классификации Б. Минцберга образовательные организации относятся к «профессиональным бюрократиям» [4] процесс внедрения исследовательской деятельности в систему опережающего образования является сложным и трудоёмким.

Однако практика организации исследовательской деятельности на разных этапах системы непрерывного образования сталкивается с несогласованностью и разрозненностью реализации исследовательской деятельности. Отсутствуют систематичность и последовательность освоения образовательных программ исследовательской деятельности, не разработана целостная система организации исследовательской деятельности обучающихся в системе непрерывного образования.

Анализ педагогической теории и практики показывает актуальность исследовательской деятельности, реализуемой на всех образовательных уровнях, в производственных и научных структурах. Наличие определённых факторов затрудняет комплексное и эффективное решение проблемы привлечения школьников и молодёжи к исследовательской деятельности, а также подготовку специалистов в сфере науки, непрерывного образования, производства (высоких технологий), снижает устойчивость системы формирования высококвалифицированных кадров.

В этой связи целесообразно рассмотреть исследовательскую деятельность в системе непрерывного образования на этапах «школа — довузовская подготовка — вуз», «студент — основное образование — бакалавр», «бакалавр — научное образование — магистр», «магистр — иннова-

ционное образование — высокотехнологичное производство» как сквозной и необходимый элемент образовательного процесса в системе непрерывного образования.

Особую актуальность приобретает разработка концептуальных оснований исследовательской деятельности как совокупности подходов, принципов, положений, методов и способов, необходимых для организации исследовательской деятельности обучающихся в системе непрерывного образования.

Значимым в ходе исследования представляется интегративный характер исследовательской деятельности:

совершенствование академических знаний, научных исследований и практических умений;

развитие вариативности образовательных программ исследовательской деятельности;

создание системы выявления и поддержки склонных к исследовательской деятельности обучающихся;

развитие инфраструктуры поддержки инновационной деятельности молодёжи и специалистов образования, производства и науки;

разработка поэтапной структуры организации исследовательской деятельности в системе «школа — вуз — наука — производство».

На современном этапе развития информационного общества можно выделить следующие обострившиеся *противоречия:*

между усиливающейся потребностью общества, государства, производства в подготовке высококвалифицированных специалистов, обладающих определёнными научными и исследовательскими навыками, и отсутствием в современном образовании целостной системы организации исследовательской деятельности в образовательном процессе;

между существующей глобализацией науки и образования, потенциальными возможностями участия в международных научных исследованиях, мобильностью учащихся и специалистов, профессиональными и образовательными потребностями личности и недостаточным количеством образовательных программ исследовательской деятельности в образовательном процессе, способствующих формированию навыков исследовательской деятельности;

между возрастающей интеграцией образования, науки, современного производства и отсутствием теоретических и методических основ организации и реализации исследовательской деятельности обучающихся в образовательном процессе системы непрерывного образования в новых условиях.

Экспериментальной базой исследования стали Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана и Научно-образовательный центр «Технопарк информационных технологий».

Научно-исследовательская деятельность в образовательных системах. В настоящее время в условиях перехода к постиндустриальному обществу обучение исследовательской и проектной деятельности становится необходимым элементом подготовки на всех образовательных уровнях системы непрерывного образования.

Проведённый в ходе исследования анализ отечественного образования Русского государства IX—X вв. (время Владимира Мономаха), в средние века (начало книгопечатания), XVII—XVIII вв. (становление научной школы, создание академий, университетов), в XX в. (развитие советской системы образования) и до настоящего времени показал, что элементы непрерывного образования, профильного, индивидуального обучения, профессионального образования и исследовательской деятельности существовали на всех этапах развития общества и формировались вместе с эволюцией этого общества, принимая новые виды и формы.

На этапе индустриального общества вопросы подготовки кадров, интеграции обучения, образования, производства и науки, форм и методов образования через исследовательскую деятельность приобрели наиболее важное значение, использовались и внедрялись для построения лучших образовательных систем и учреждений. Характерными примерами образовательных учреждений являлись:

Петербургская академия наук, в своей работе осуществлявшая связь научно-исследовательской работы с практическими задачами;

Московский университет, обучение в котором происходило при тесном взаимодействии образования и науки в целях развития самостоятельного, неординарного мышления обучающихся;

Императорское московское техническое училище (ныне МГТУ им. Н.Э. Баумана), в котором система обучения ремеслу будущих инженеров получила признание во всем мире как «русский метод обучения ремёслам», основанный на глубокой практической подготовке, серьёзном изучении теоретических предметов, постоянной взаимосвязи с промышленностью и реальных научных достижениях.

Дальнейшее развитие исследовательской деятельности в системе непрерывного образования продолжилось с переходом общества на новый исторический этап, определяемый в современных научных исследованиях как постиндустриальный. Согласно концепции организации человеческой деятельности, классифи-

цированной по типу сознания и виду, ведущей на современном этапе педагогической системы является деятельность проектно-технологического типа, средством формирования которой становится исследовательская деятельность, формирующая способность к самообразованию, творчеству, проектной и научной работе, интеллектуализации и инновационности профессиональной деятельности личности. В таких условиях исследовательская деятельность обучающихся направлена на формирование устойчивой мотивации личности к пониманию процесса приобретения и углубления знаний, мобильности в их освоении, самореализации и самоактуализации своих личностных характеристик.

С.Л. Рубинштейн определил, что связь между потребностно-мотивационной сферой и способностями существует как в проявлении, так и в формировании способностей. В данном контексте важно отметить, что А.Н. Леонтьев выделяет типы мотивов: побудительные — смыслообразующие и мотивы-стимулы (внутренние и внешние). Поскольку к внутренним мотивам относится познавательная потребность, то В.Г. Леонтьев выделяет следующие её основные критерии:

интенсивное стремление субъекта к знанию и познавательной деятельности;

активный поиск и ожидание информации;

формулирование вопросов, задач и проблемных ситуаций;

осуществление целенаправленной научной деятельности.

В рамках проблемы становления исследовательской деятельности в современном образовательном процессе интересен подход, представленный А.К. Марковой, который согласуется с показателями наличия исследовательской познавательной потребности у школьников:

умение активно работать с материалом, различным образом его преобразовывать, определять способ работы;

желание возвратиться к анализу способа работы даже после получения правильного результата или при отсутствии внешнего принуждения;

умение сопоставить несколько способов получения одного результата;

умение ориентироваться на способ, даже если желание быстрее получить результат отвлекает от анализа способа деятельности.

Как уже отмечалось, в современных условиях процесс реорганизации системы отечественного образования ориентирован на её вхождение в мировое образовательное пространство. Поэтому первоочередной задачей системы непрерывного образования является разработка совокупности условий для эффективного воспроизводства профессиональных, научных, научно-исследовательских и научно-педагогических кадров. В процессе исследования показано, что закрепление молодёжи в сфере науки, образования и высоких технологий, сохранение преемственности поколений в науке и непрерывном образовании целесообразно исследовать в рамках внедрения инноваций в образовательную деятельность обучающихся в контексте идей Болонской декларации.

С этой целью был проведён сравнительный анализ образовательных систем России с образовательными моделями Германии и США.

Одним из первых европейских государств, подписавших 19 июня 1999 г. Болонскую декларацию, является Германия, которая поэтапно реформировала свою систему высшего образования, при этом старалась максимально сохранить свои образовательные традиции. В результате вузам Германии было предоставлено право выбора подготовки студентов как по классическому, так и по новому европейскому варианту подготовки бакалавров и магистров. В соответствии с принципом, который впервые выдвинул известный реформатор прусских вузов XIX в. Вильгельм фон Гумбольдт: «Учёба и научная работа в университетах взаимосвязаны», образовательная стратегия Германии нацелена на усиление сотрудничества вузов с исследовательскими центрами и промышленными предприятиями, что позволяет исключить дублирование исследований, облегчить обмен новейшими технологиями и разработками, ускорить процесс практического внедрения изобретений. Таким образом, в Германии взаимосвязь образования, науки и производства в ходе непрерывного образования личности, тесная связь экономической и образовательной стратегии способствуют успешной адаптации личности в общественной и профессиональной сфере в условиях общегосударственного и регионального экономического развития.

На развитие исследовательской деятельности в системе образования США большое влияние оказывают крупнейшие корпорации, заинтересованные в подготовке высококвалифицированных специалистов для своих отраслей экономики. Одной из крупнейших корпораций США является Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (NASA), которое поставило перед образованием следующие задачи:

активное вовлечение студентов в исследования;

формирование вводных или обзорных курсов, которые обеспечили бы научную грамотность всех студентов;

набор и обучение абитуриентов, представляющих всё разнообразие нации в области науки, инженерии и технологии;

достижение лучшего баланса между научной и образовательной функциями и соответствующими обязанностями научно-технического преподавательского состава.

Россия, следуя идее «Болонского процесса» и стремясь сохранить свои образовательные традиции, вынуждена реформировать также свою систему образования, решая вопросы, связанные с двухуровневой системой высшего образования, оценкой качества образования, вариативностью образовательных программ, мобильностью образовательных траекторий, улучшением материально-технической базы учебных заведений, заинтересованностью работодателей в подготовке высококвалифицированных специалистов по необходимым промышленности и экономике направлениям.

Решение поставленных задач требует обучения исследовательской деятельности на всех уровнях системы непрерывного образования с учётом прогнозирования потребностей общества (страны) в специалистах различного профессионально-квалификационного уровня, развития высокотехнологических направлений промышленности и производства, структурных сдвигов в экономике, социального и культурного развития, в целях повышения качества образования и улучшения уровня подготовки кадров. Как показало исследование, поэтапное формирование исследовательской деятельности обучающихся необходимо осуществлять в соответствии с образовательными и возрастными особенностями личности для приобретения соответствующих знаний, умений и профессиональных компетенций.

Составляющие исследовательской деятельности в системе непрерывного образования. В настоящей работе предлагается следующее определение *исследовательской деятельности* — это процесс овладения обучающимися системой научных знаний специально разработанными средствами и методами в целях выявления закономерностей, структуры, механизмов функционирования изучаемого явления; содержания, принципов, методов и возможностей тех или иных объектов, отношений, их трансформаций и преобразований; выработки познавательных умений и навыков, состоящих в целенаправленном изучении малоизвестных (неизвестных) явлений и фактов, получении новой информации о чём-либо; формирования мировоззрения, нравственных и других качеств личности, развитие её творческих сил и способностей.

Исследовательская деятельность выступает неотъемлемой частью образовательного процесса, способствуя развитию индивидуальных способностей личности, расширению дифференцированного обучения, обеспечению соответствия уровня образования требованиям научно-технического прогресса как условия реализации всех внешних и внутренних мотивов, исследовательской и познавательной потребностей личности в любом возрасте, формирует способность к творчеству, научной деятельности, самообразованию и является важной частью общественной и профессиональной культуры.

В результате исследования определены основные *функции* исследовательской деятельности:

информационная, содержащая сведения о новых знаниях, профессиональных и научных областях деятельности;

обучающая, формирующая базовые умения в предполагаемой сфере профессиональной деятельности;

развивающая, способствующая развитию типологических свойств и качеств личности;

социализирующая, обеспечивающая вхождение в социальную группу (среду) и адаптацию в ней в плане социальных ролей, как личностное достижение в деятельности и во взаимоотношениях;

корректирующая и релаксационная, обеспечивающие личности снятие психологических затруднений и барьеров.

При решении задачи развития исследовательской деятельности обучающихся в системе непрерывного образования использованы следующие принципы: интеграции, преемственности и вариативности.

В частности, принцип интеграции рассматривается в нескольких аспектах. В аспекте содержания исследовательской деятельности — это элемент обучения, интегрированный в образовательный процесс системы непрерывного образования; в аспекте организации исследовательской деятельности этот принцип устанавливает взаимосвязь всех компонентов исследовательской деятельности, её видов, форм, методов и способов; в аспекте реализации исследовательской деятельности он указывает на необходимость интеграции науки, образования, производства; в аспекте результатов принцип интеграции указывает на формирование приобретённых интегрированных знаний.

Принцип вариативности рассматривается как возможность выбора видов исследователь-

ской деятельности, способов её организации, образовательных программ, профессиональной образовательной траектории.

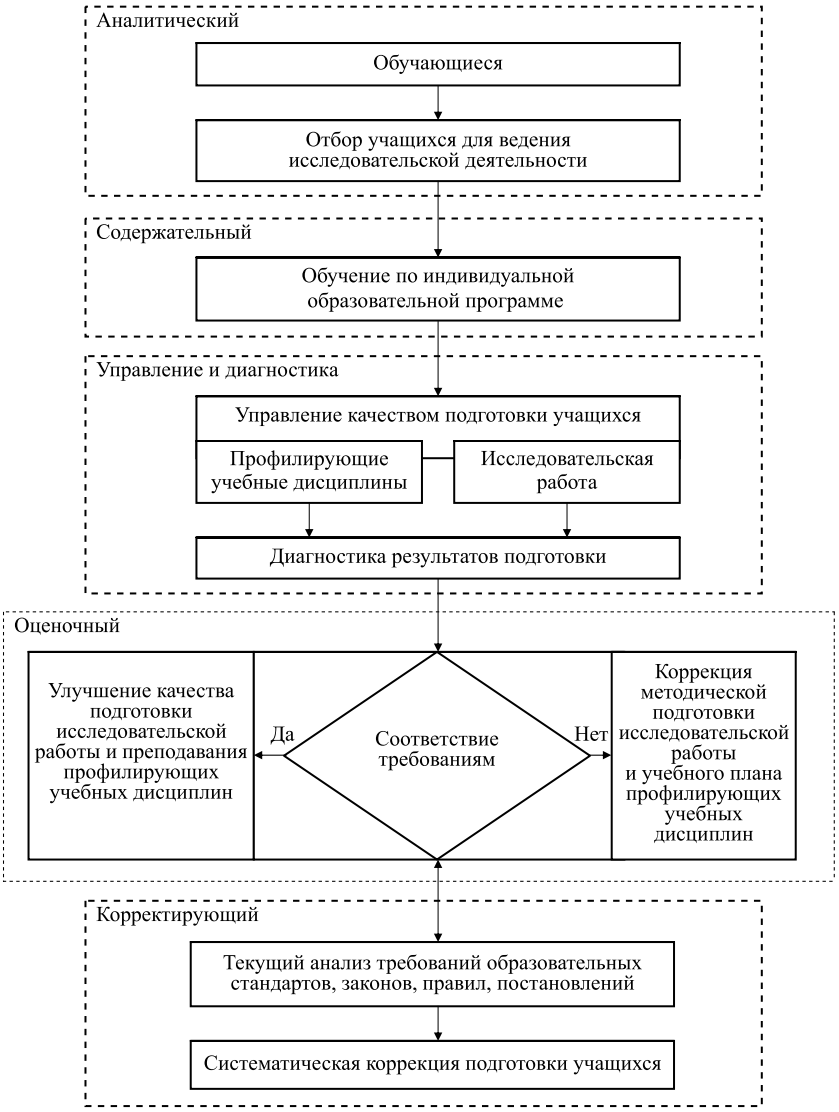
Как правило, результатами исследовательской деятельности являются интегрированные знания, обусловленные междисциплинарной (межпредметной) интеграцией, интеграцией науки и производства (профессиональной деятельности), науки и образования (педагогической деятельности), образования и производства (профессиональной деятельности), факторов развития личности.

Междисциплинарная интеграция возникает при непосредственном проведении исследовательской работы. Необходимость применения математических методов для расчётов эксперимента, изучения физических (химических, биологических, экономических, технологических и др.) процессов исследуемой области или объекта, компьютерная обработка процесса исследования и результатов поиска требуют от исследователя дополнительных знаний по той или иной дисциплине, а также понимания, что разные предметные области взаимосвязаны, дают возможность более углубленного освоения общеобразовательных предметов, улучшают накопление базовых фундаментальных знаний, составляющих основу дальнейшего освоения общепрофессиональных и специальных дисциплин.

Интеграция науки и производства возникает в процессе профессиональной (или профориентационной) и исследовательской деятельности, содействует материализации научных знаний, осуществляет информационную связь в отношениях «обучение — знание — наука» и «наука — производство». Каждый новый результат рождается не только как следствие открытия нового, но и как следствие обобщения и переосмысления уже имевшегося знания, вовлечённого в оборот профессиональной деятельности. В методологическом смысле накопленные научные знания становятся орудием дальнейшей практической, производственной и профессиональной деятельности.

Интеграция образования и производства возникает в процессе подготовки высококвалифицированных специалистов.

Процесс исследовательской деятельности, научно-технического творчества определяется не только образовательной (обучающей), профессионально ориентированной (производственной), научной составляющими, но и необходимостью развития человека как личности в его индивидуальном и социальном направлениях. К такой интеграции относится целостное развитие личности учащегося, склонного к исследовательской деятельности, который рассматривается в качестве субъекта профессионального и социального самоопределения. Развитие личности характеризуется стремлением к творческой деятельности, самовыражением и самоутверждением в профессиональной деятельности; устойчивой доминирующей системой мотивов, убеждений, интересов, отношением к усваиваемым знаниям и умениям, социальным нормам и ценностям; уровнем нравственной и эстетической культуры; развитием самосознания.



Модель реализации исследовательской деятельности

Разработана обобщённая модель реализации исследовательской деятельности для всех категорий обучающихся (см. рисунок), которая прошла апробацию в системе «школа — вуз — наука — производство».

Представленная модель состоит из нескольких ключевых блоков: аналитический, содержательный, управления и диагностики, оценочный, корректирующий.

Аналитический блок связан с привлечением, выявлением и отбором учащихся для ведения исследовательской деятельности в соответствии с требованиями к обучению, направлению, объёму и специфике знаний, необходимых для участия в исследовательской деятельности.

Содержательный блок ориентирован на процесс обучения по индивидуальным образовательным программам исследовательской деятельности. Индивидуальная образовательная программа может содержать не только саму исследовательскую работу, но и изучение предметных и профильных дисциплин, необходимых для ведения исследовательской деятельности.

Блок управления и диагностики отвечает за контроль процесса подготовки учащихся по профилирующим дисциплинам (тесты, рубежный контроль, контрольно-диагностические тренинги и др.) и выполнения исследовательской работы.

Оценочный блок направлен на анализ результатов обучения (защита исследовательской работы, выступления на конференции и т. п.).

Корректирующий блок соотносит текущие требования законодательства, образовательных стандартов, правил, постановлений, требований к образовательному процессу и выполнению исследовательской деятельности с реальной практикой, что позволяет проводить систематическую коррекцию образовательных программ и процесса обучения исследовательской деятельности, а также своевременно принимать меры по исправлению недостатков в подготовке учащихся.

Организация исследовательской деятельности апробирована в рамках модели «Сфера ИНТ», в системе преемственной связи образовательных ступеней «школа — довузовская подготовка — вуз», «студент — основное образование — бакалавр», «бакалавр — научное образование — магистр», «магистр — инновационное образование — высокотехнологичное производство».

Освоение исследовательской деятельности приводит к социальному развитию личности и приобретению таких качеств, которые способствуют её профессиональной и жизненной адаптации:

социализация — обеспечивает преобразование обучающихся как субъектов познавательной деятельности и собственного развития, осознанно и преднамеренно осуществляющих свой личностный выбор путей социального становления, сознательно направляющих свою активность на усвоение культурных норм и освоение социальных ролей, принимающих ответственность за максимальную реализацию личностного потенциала;

конкурентность — обеспечивает состязательность в исследовательской деятельности, соотнесение своих возможностей и достижений с достижениями других, удовлетворение потребности в игре, обеспечивающей мотивацию, моральные стимулы, интерес к себе и своим способностям, стимул к систематическим углубленным занятиям отдельными предметами в целях максимальной реализации своих способностей; творческое соревнование, являющееся гармоничным сочетанием интеллектуального состязания, науки и образования;

мотивация — обеспечивает заинтересованность в продуктивной исследовательской деятельности, способствует личностному росту, любознательности, интересу к науке, дальнейшей профессиональной деятельности, самореализации и самоутверждению личности, формирует чувство удовлетворения от участия в исследовательской деятельности;

коммуникативность и *инновационность* — обеспечивают применение передовых образовательных, информационных, интеллектуальных технологий, что позволяет считать исследовательскую деятельность обучающихся своеобразным испытательным «полигоном» инновационной деятельности в условиях постиндустриального образования;

квалифицированность — обеспечивает накопление научного опыта, способности к проектированию непрерывной векторной траектории образовательных исследовательских программ непрерывного образования, формирует интерес к науке, образованию, профессиональной деятельности и мотивацию в непрерывном образовании в любом возрасте.

Разработанная и апробированная в процессе исследования ступенчатая модель организации исследовательской деятельности «Сфера ИНТ» охватывает все виды исследовательской деятельности, использует возможности всех способов организации исследовательской деятельности в образовательном процессе «школа — вуз — наука — производство» и эффективно влияет на процесс подготовки высококвалифицированных специалистов, способствуя повышению их образовательного и профессионального уровня.

Выводы. Таким образом, сформулированы основные функции и составляющие, на которых базируется система реализации научной деятельности обучающихся.

Предложены научные подходы к исследовательской деятельности: *системный* — рассмотрение организации непрерывной исследовательской деятельности как целостного комплекса взаимосвязанных элементов; *деятельностный* — формирование широкого спектра видов и форм исследовательской деятельности; *компетентностный* — формирование в процессе исследовательской деятельности необходимых компетенций, ориентированных на профессиональное поле деятельности; *индивидуально-личностный* — развитие личностных качеств обучающихся, выявление возможностей, стимулирующих самостановление, самоутверждение и самореализацию.

Библиографические ссылки

1. **Цибизова Т.Ю., Назаров А.В.** Профильное обучение: сделано в России. М.: МГОУ, 2006. 200 с.

2. **Цибизова Т.Ю., Орешкина А.К.** Развитие преемственности образовательных процессов в системе непрерывного образования. М.: Изд-во МГОУ, 2010. 228 с.

3. **Александров А.А.** и др. Вопросы теории и реализации непрерывного образования. М.: Изд-во МГОУ, 2012. 274 с.

4. **Цибизова Т.Ю.** Подготовка высококвалифицированных специалистов в системе непрерывного профессионального образования (на примере МГТУ им. Н.Э. Баумана) // European Social Science Journal. 2011. № 2. С. 154—159.

5. **Цибизова Т.Ю., Неусыпин К.А.** Стратегическое управление организацией: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 32 с.

УДК 378.1

В.Н. Зимин, д-р техн. наук, проф., **Т.Ю. Цибизова,** д-р пед. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),
О.М. Августан
(Mail.ru Group, г. Москва)

vesta952006@yandex.ru

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ СОВРЕМЕННОГО ВУЗА

Рассмотрены вопросы развития дополнительного образования, как составляющая подсистемы непрерывного профессионального образования. Показано, что использование ресурсов современного вуза формирует процесс обучения в открытой социально-педагогической системе, призванной реализовать социальные цели и функции, существенно влияя на потребность в образовании и развитии личности. Сделан вывод о том, что комплексный подход к организации дополнительного образования позволит повышать креативность образования, делать его развивающим и опережающим, реализовывать новые образовательные технологии и методики обучения, использовать вариативные образовательные программы с учётом преемственности образовательного процесса, а также возрастных, образовательных и индивидуальных особенностей личности.

Ключевые слова: дополнительное образование; профессиональная ориентация; научно-исследовательская деятельность; социально-педагогическая система; организационно-педагогические условия.

The questions of development of additional education as a component of a subsystem of continuous vocational education are considered. It is shown that the use of the modern university resources forms the process of teaching in an open social and pedagogical system designed to realize social goals and functions, significantly affecting the need for education and personal development. The conclusion is drawn that a comprehensive approach to the organization of additional education will increase the creativity of education, make it developmental and advanced, implement new educational technologies and teaching methods, utilize alternative educational programs by taking into account the continuity of the educational process, as well as age, education, and individual personality characteristics.

Keywords: additional education; professional orientation; scientifically and research activity; social and educational system; organizational and pedagogical conditions.

Введение. Для современного постиндустриального общества характерны тенденции глобализации и инновационной ориентации экономики, промышленности и производства, основанные на знаниях. Современной экономике нужны инженеры и менеджеры,

которые открыты для нововведений в науке и технике в условиях стремительно меняющихся технологий [1].

Подготовка высококвалифицированных кадров сегодня является актуальной и особо значимой задачей во всем мире. Очевидно, что её решение должно быть основано на интеграции науки, образования и производства, согласовано с обновлением сущности этапов подготовки таких кадров, их устойчивым формированием и развитием в образовательном процессе системы непрерывного образования [2].

Методологией интегративного подхода являются создание условий для постоянного взаимодействия системы образования с внешней средой реального производства, целостность такого взаимодействия, развитие интегрированной системы «образование — производство», характеризующейся функционально устойчивыми связями между профессиональной подготовкой в образовательных учреждениях и производственными структурами производства [3].

В МГТУ им. Н.Э. Баумана накоплен богатый опыт в организации преемственности исследовательской и проектной деятельности учащихся, в том числе в системе дополнительного образования, форм и методов формирования научного мировоззрения и научного мышления молодёжи.

Российское инженерное образование и, как пример, «русский метод обучения ремёслам» МГТУ им. Н.Э. Баумана, имело в основе именно интеграцию образовательного процесса с научно-исследовательской и практической деятельностью [4].

Большую роль в такой подготовке играет участие молодёжи, школьников, студентов и аспирантов в реальных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и практико-ориентированных работах реального сектора экономики под руководством профессорско-преподавательского состава вуза и сотрудников промышленных предприятий и организаций [5].

Развитие системы дополнительного образования будет приобретать инновационно-социализирующую тенденцию своего развития, поскольку как составляющая подсистемы непрерывного образования она отражает ситуацию в экономике, социальной, политической, духовной и культурной сферах современного общества, самой системе образования в условиях постиндустриального этапа развития.

В данном контексте определение сущности дополнительного образования заключается в том, что оно формируется как открытая социально-педагогическая система, призванная осуществлять социальные цели и функции, существенно влияя на потребность в образовании и развитии личности. На это существенное влияние оказывают:

мотивационная направленность, определяющаяся склонностями и интересами личности и её возможностями;

интеллектуальная направленность, определяющаяся сформированностью умственных способностей и интеллектуальной деятельностью;

коммуникативная направленность, определяющаяся умением взаимодействия с людьми;

типологическая направленность, определяющаяся свойствами темперамента и характера;

валеологическая направленность, определяющаяся состоянием здоровья личности.

Таким образом, под дополнительным образованием понимается «такая парадигма или доктрина образования, которая во главу угла ставит развитие личности, познавательных, физических, художественных и, в итоге, творческих способностей, а не просто достижение определённого уровня тех или иных дополнительных знаний, умений, навыков» [6].

Выполнение данного условия позволяет представить образовательный процесс дополнительного образования в новом качестве, что способствует развитию вариативности его форм. Как отмечает Л.Г. Логинова: «Ценностное, социокультурное содержание программы обнаруживается в том, каким потенциалом она располагает в согласовании содержания образовательной деятельности с побудительными, коммуникативными, адаптивными, ориентационными механизмами поведения её субъектов — педагога и обучающегося» [7].

Организационно-педагогические условия реализации дополнительного образования в научно-образовательных центрах вуза. Определяя социально-педагогический потенциал дополнительного образования целесообразно выделить его отличительные особенности:

возможность расширения образовательного пространства при условии наличия (и многообразия) векторов образовательных программ;

возможность мобильного «входа» и «выхода» личности из образовательного процесса как устойчивого и вместе с тем постоянно расширяющегося личностного образовательного пространства, создающего условия саморазвития и самореализации [8].

Традиционно дополнительное образование ориентировано на личностные потребности и стимулирование мотивов к образова-

нию. В этой связи отличительная особенность современного инновационно-социализирующего дополнительного образования должна проявиться в том, чтобы не столько личность адаптировалась бы к имеющимся условиям образовательного процесса, а сколько сама сущность образовательного процесса дополнительного образования проектировалась бы с учётом индивидуальных особенностей и потребностей личности.

Сформированные на базе высшего учебного заведения научно-образовательные центры (НОЦ) реализуют образовательные программы дополнительного образования, создавая организационно-педагогические условия, адекватно отражающие личностные потребности обучающихся в обучении, самообразовании, профессиональной и исследовательской деятельности с учётом интеллектуальных и уровневых характеристик в условиях образовательного процесса проектно-технологического типа организации человеческой деятельности.

Под организационно-педагогическими условиями понимается совокупность специально созданных организационных, нормативно-правовых, научно-методических, учебно-методических, технологических и социально-психологических условий, обеспечивающих эффективность образовательного процесса в целях личностно-профессионального становления и интеллектуального развития субъектов образовательной деятельности. Это согласуется с организационно-педагогическими условиями соответствия базовых образовательных программ индивидуальным учебным планам; обеспечения инновационной направленности учебных программ; доступности параллельного освоения дополнительных программ обучения с основными, а также с многообразием видов интеграции образовательных программ профессиональной ориентации в образовательном процессе интегрированных систем «школьник — студент — специалист», «школа — вуз — наука — производство», «школа — дополнительное образование — вуз — организация науки — производство — дополнительное профессиональное образование» [8].

Рассмотрим организационно-педагогические условия организации образовательных программ дополнительного образования на основе принципа преемственности, включающие в себя эффективную подготовку абитуриентов к поступлению в высшие учебные заведения, студентов — к выбору будущей профессии и, как следствие, к устойчивому социальному положению в обществе.

Комплексный подход к решению этой задачи предполагает возможность:

использовать разнообразные образовательные методики, технологии и подходы к обучению в постоянно меняющихся внешних условиях;

формировать у обучающихся способность к самоорганизации;

развивать инновационную подготовку, обеспечивающую наряду со знаниями формирование системы навыков, умений и компетенций, необходимых учащемуся в последующей образовательной и профессиональной деятельности;

реализовывать принципы индивидуализации обучения, мобильности учащихся, их права свободного выбора формы, места, темпа и содержания профессиональной подготовки, позволяющих в дальнейшем варьировать свою подготовку не только в пределах одного вуза, но и в рамках родственных направлений и специальностей системы непрерывного образования;

развивать систему довузовской подготовки и дополнительного образования в целях интеграции профильного образования, обеспечения сотрудничества вуза с предприятиями, промышленными и производственными организациями, расширения участия в процессе профориентации молодёжи, популяризации научно-инновационной деятельности в молодёжной среде;

совершенствовать организационно-методическое и информационное обеспечение образовательных программ.

Основными принципами и методами организации образовательного процесса являются:

реализация межпредметных связей;

изучение теоретических дисциплин в тесной связи с практикой;

метод стратегического учения, суть которого заключается в постановке перед обучаемым этапных задач и использовании стратегически важных тем, предусматривающих переработку профессионально ёмкой информации;

метод развития системного мышления в обучении (дидактические приёмы ориентированы на формирование у учащихся способности устанавливать связи и отношения при рассмотрении отдельных фактов, событий, частей, элементов в проблемных ситуациях);

метод конструктивного обучения, аналогичный техническому конструированию (перед учащимся ставится проблема или задача по устранению различных неисправностей; после нахождения неисправности нужно найти правильное решение по её устранению);

игровое (имитационное) планирование предстоящей практической деятельности, представляющее собой разновидность ролевой игры, что стимулирует индивидуальную активность учащихся и вместе с тем развивает способность к групповой работе;

метод проектов, достоинством которого является бóльшая самостоятельность учащихся.

Организационно-педагогические условия реализации дополнительного образования в НОЦ образовательных организаций высшего образования должны базироваться на следующих основных элементах:

реализация комплексной системы организации исследовательской, инновационной и творческой деятельности учащихся;

использование методики и технологии организации исследовательской, инновационной и проектной деятельности учащихся на базе НОЦ;

создание научно-организационного и методического обеспечения творческой и исследовательской деятельности молодёжи, как средства интеграции образования и науки, усиления роли научной деятельности в образовательном процессе;

использование современных передовых образовательных технологий с целью создать условия профессионального самоопределения учащихся;

создание модели развития систем «преподаватель — ученик», «научный руководитель — обучающийся»;

привлечение научно-исследовательских институтов, предприятий и организаций в целях мотивации, заинтересованности и привлечения молодёжи к реальным задачам, проблемам и разработкам современного производства, отбора и подготовки высококвалифицированных кадров для предприятий, соответствия направлениям подготовки специалистов в вузах и потребностям рынка труда в специалистах соответствующего профиля.

Заключение. Комплексный подход к организации дополнительного образования с использованием ресурсов НОЦ образовательных организаций высшего образования включает:

повышение креативности образования, переориентацию процесса обучения на практические умения и навыки учащихся, что способствует эффективной подготовке к деятельности в различных сферах экономики, промышленности и производства, т. е. сделает образование развивающим и опережающим;

реализацию оригинальных методик ведения научно-исследовательской, опытно-конструкторской и практико-ориентированной работы, направленной на развитие научно-профессиональной деятельности молодёжи;

разработку современной технологии проведения комплексных научно-практических молодёжных мероприятий;

применение технологических процедур привлечения учащихся к научно-исследовательской деятельности, в научно-практических и научно-образовательных мероприятиях, методов отбора и критериев оценки научно-исследовательских и научно-образовательных проектов и работ обучающихся;

использование разнообразных образовательных траекторий, соответствующих многовариантности образовательных программ профессиональной ориентации;

реализацию преемственности образовательного процесса обучающихся с учётом возрастных, образовательных и индивидуальных особенностей личности.

Библиографические ссылки

1. **Galikhanov M.F., Ilyasova A., Ivanov V., Gorodetskaya I.M., Shageeva F.T.** Continuous professional education as an instrument for development of industry employees' innovational competences within regional territorial-production cluster. Proceedings of 2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning, 2015. P. 251—255.

2. **Цибизова Т.Ю.** Подготовка высококвалифицированных специалистов в системе непрерывного профессионального образования (на примере МГТУ им. Н.Э. Баумана) // European Social Science Journal. 2011. № 2. С. 154—159.

3. **Shaidullina A.R., Masalimova A.R., Vlasova V.K., Lisitzina T.B., Korzhanova A.A., Tzekhanovich O.M.** Science and Manufacture Integration Models Features in Continuous Professional Education System// Life Science Journal, 2014. 11(8s). URL: http://www.lifesciencesite.com 478 (date views: 12.06.2016).

4. **Цибизова Т.Ю., Терехова Н.Ю.** О перспективах развития высшего образования в современных условиях // European Social Science Journal. 2013. № 2 (30). С. 62—67.

5. **Александров А.А., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Концепция взаимодействия МГТУ им. Н.Э. Баумана с предприятиями ракетно-космической отрасли в вопросах целевой подготовки инженеров и научных кадров // European Social Science Journal. 2013. № 1 (29). С. 121—126.

6. **Панов В.И.** Некоторые подходы к методологии развивающего образования // Психологическая наука и образование. 1998. № 3—4. С. 38—46.

7. **Логинова Л.Г.** Качество дополнительного образования детей. Менеджмент. М.: Феникс, 2008. 392 с.

8. **Орешкина А.К., Цибизова Т.Ю.** Развитие преемственности образовательных процессов в системе непрерывного образования. М.: МГОУ, 2010. 228 с.

УДК 378.1

В.Н. Зимин, д-р техн. наук, проф., **Е.В. Чернега**
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),
О.М. Августан, Д.А. Сергеев
(Mail.ru Group, г. Москва)

o.avgustan@corp.mail.ru

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ЦЕНТРЕ «ТЕХНОПАРК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Рассмотрены особенности инженерной подготовки, реализованной в НОЦ «Технопарк информационных технологий» — совместном образовательном проекте МГТУ им. Н.Э. Баумана и компании Mail.ru Group. Выделены доминирующие составляющие системы подготовки, позволяющие обучающимся успешно работать на современных предприятиях и реализовывать свой потенциал в условиях информационного общества.

Ключевые слова: система инженерной подготовки; образовательные программы; информационные образовательные технологии; абилитация.

Features of engineering training implemented in the SEC «Technopark of Information Technologies» — a joint educational project of Moscow State Technical University the name of N.E. Bauman and the Mail.ru Group company are considered. The dominant components of the training system, allowing students to successfully work in modern enterprises and realize their potential in the information society, are selected.

Keywords: engineering training system; educational programs; information educational technologies; habilitation.

Введение. В настоящей работе представлены результаты исследования по разработке и внедрению новых методов обучения в области комплексной непрерывной профессиональной подготовки абитуриентов, бакалавров, магистров, специалистов, повышения квалификации инженерных и научных кадров, а также послевузовской подготовки специалистов высшей квалификации по инженерным специальностям.

Реализация многоуровневой системы предъявляет определённые требования к структуре и организации профессионально-образовательного процесса в техническом университете, которые на основе анализа отечественного и зарубежного опыта могут быть сведены к следующему [1, 2]:

модульность и вариативность профессионально-образовательной системы;

модульность структуры учебных курсов, наличие обязательных модулей свободного и ограниченного выбора;

динамизм, систематическое обновление содержания модулей учебных курсов и гибкость при стабильной их структуре;

индивидуальность форм обучения (традиционная, экстернат, включённое обучение, продолженное обучение, сэндвич-технология, информационная технология и т. д.);

рейтинговая система оценки и аттестации результатов обучения;

организация специальных служб, способствующих реализации функции абилитации [3, 4].

Современный этап развития образовательных программ предусматривает использование интенсивных технологий обучения (ИТО), обеспечивающих существенное повышение интенсивности обучения за счёт сокращения времени на освоение заданного объёма знаний, увеличения объёма знаний при заданном времени на их освоение и использования перечисленных факторов одновременно.

Реализация образовательных программ в современном информационном обществе предполагает использование методов и форм опережающей подготовки, усовершенствования модели организации непрерывного обучения «школа — вуз — аспирантура — переподготовка и повышение квалификации — предприятие», которая сочетает в себе самостоятельную работу слушателя с различными источниками информации, оперативное взаимодействие с преподавателями-тьюторами, групповое обучение с использованием многообразных технологий дистанционного обучения, а также оперативного контроля.

Комплекс образовательных программ, реализованный в НОЦ «Технопарк», позволил создать систему опережающей подготовки инженеров, способных работать в условиях пере-

хода экономики к шестому технологическому укладу. Разработанная система включает такие базовые элементы, как современные информационные образовательные технологии, реализацию функции абилитации через построение и постоянную коррекцию индивидуальной профессиональной траектории, которая наряду с обучением и образованием обеспечивает комплексную подготовку человека к профессиональной деятельности, а также его профессиональную самореализацию.

Успешность деятельности обучаемого на всех этапах подготовки определяется не только высоким уровнем практических знаний, продуктивным владением методами познания и деятельности, но и комплексной подготовкой к профессиональной работе.

В основу разработанной системы подготовки положена Концепция непрерывного обучения [1], которая направлена на интеграцию знаний и методов познания и деятельности, саморазвитие личности, ориентирована на высокие интеллектуальные образовательные технологии.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана и компании Mail.ru ведётся подготовка специалистов на основе традиций сложившейся и постоянно развивающейся в стенах классической инженерной школы политехнического образования. Её основополагающими принципами являются интеграция образования, науки и инновационной деятельности, эффективное взаимодействие и кооперация с промышленными предприятиями и научными организациями.

Система инженерной подготовки. Исследования по разработке и внедрению новых методов обучения в области опережающей комплексной инженерной подготовки студентов в условиях информационного общества охватывают период с 2011 по 2017 г. Работа выполнялась в течение указанного периода в рамках различных государственных и межвузовских программ.

Создание в России новой, конкурентоспособной комплексной системы опережающего образования лиц, способных эффективно работать в условиях цифровой экономики информационного общества, включает следующие составляющие:

научные основы опережающего инженерного образования, представленные в монографиях, научных публикациях авторов и учебных пособиях;

реализация комплексного опережающего инженерного обучения студентов в МГТУ им. Н.Э. Баумана и образовательных центрах Mail.ru: «Технопарке», «Техносфере», «Технотреке», «Технополисе» (см. рисунок);

новые методы комплексного опережающего инженерного образования студентов с учётом реализации функции абилитации.

Изменение условий и стереотипов жизни, высокие интеллектуальные и психоэмоциональные нагрузки вносят определённое своеобразие в реформирование системы образования и усложняют становление новых гуманистических идеалов человечества и лучших традиций российских образовательных учреждений.

Технопарк информационных технологий Mail.ru—МГТУ

Изучение отечественного и зарубежного опыта формирования системы опережающего образования, а также анализ её организационной структуры и материально-технического обеспечения, сложившихся традиций, форм, методов и содержания подготовки инженеров позволили выделить *приоритетные направления* опережающего инженерного образования:

— формирование инновационного мышления в экономике для разных категорий производства и менеджмента предприятий на основании глубокого исследования и анализа потребности реализовать трудоустройство членов общества с повышенной конкурентоспособностью в образовательных услугах;

— совершенствование программ комплексной опережающей инженерной подготовки и повышения квалификации лиц с повышенными возможностями путём освоения новых образовательных технологий:

анализа и прогнозирования кадровых потребностей промышленного комплекса России в обучении и переподготовке по перспективным промышленным технологиям, в области предпринимательства, менеджмента и государственного управления;

специальных возможностей, информационно-компьютерных, современных информационных технологий обучения различных категорий студентов и школьников;

научных исследований в общеобразовательной школе;

сохранения здоровья в обществе и, в первую очередь, в образовательной среде;

— совершенствование организационной структуры системы комплексного опережающего инженерного образования [5, 6], определение конкретных перспектив её дальнейшего развития и нормативно-правовое обеспечение деятельности [7];

— реализация функции абилитации на всех этапах опережающей подготовки путём формирования элитных групп обучающихся с повышенными возможностями, участие в образовательном процессе, обеспечиваемое технологиями специальных возможностей, позволяющее реализовать эффект синергизма в рамках образовательного процесса [8, 9];

— непрерывный мониторинг системы трудоустройства выпускников средних и высших образовательных учреждений, молодых специалистов и устойчивое взаимодействие с предприятиями ОПК.

В настоящее время в МГТУ им. Н.Э. Баумана разработаны и полностью адаптированы к учебному процессу новые методы комплексного опережающего обучения по следующим направлениям (в том числе в интересах государственных предприятий): информатика, информационная поддержка наукоёмких изделий, информатика и системы управления, радиоэлектроника и специальное машиностроение.

Комплексное опережающее образование характеризуется всесторонней подготовкой (реабилитацией) личности к изменяющимся условиям профессиональной деятельности и жизни, интеграцией учебного и социального процессов в единый социально-образовательный процесс, полноценное духовное и физическое развитие, формированием индивидуальной профессиональной траектории, включением лиц в производственные процессы цифровой экономики и информационного общества в целом.

В результате проведённой работы:

сформирована структура системы опережающей подготовки, переподготовки и повышения квалификации инженерных кадров для цифровой экономики страны;

сформулированы принципы реализации функции абилитации на всех этапах формирования профессиональной траектории в рамках системы опережающего образования;

предложены принципы, методы и условия саморазвития личности в системе комплексного опережающего инженерного образования;

разработана методология развития системы опережающего образования в рыночных социально-экономических условиях информационного общества с использованием технологий специальных возможностей [10];

внедрена технология комплексной опережающей инженерной подготовки с учётом реализации функции абилитации на основе активного использования «русского метода обучения ремёслам».

Разработка модели адаптации выпускника образовательной организации. Рост инновационных возможностей промышленной организации невозможен без существенной активизации образовательного потенциала её персонала. Поэтому формирование системы непрерывного профессионального образования тесно связано, с одной стороны, с развитием профессиональных и инновационных компетенций, а с другой — с современной ориентацией российской промышленности на формирование инновационной экономики. Современной организации нужен эрудированный специалист, свободно и критически мыслящий, готовый к исследовательской работе.

Сегодня от сотрудников требуются не только тщательное выполнение должностных инструкций, но и заинтересованное участие ра-

ботников в новшествах на каждом рабочем месте, способность делать то, что не предусмотрено должностной инструкцией. Особое значение имеет наличие у работника разносторонних профессиональных навыков и способностей их развивать, а также приобретать новые.

Одной из актуальных задач, которые решаются в образовательных организациях, является эффективная подготовка студентов к работе в организациях по выбранной специальности. В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана модель адаптации студента к своей профессиональной деятельности.

В ходе формирования системы непрерывного профессионального образования особое внимание уделено инновационно-ориентированному профессиональному образованию [11]. Последнее представляет собой совокупность образовательных программ разного уровня, а также научных, образовательных, инновационных структур и механизмов управления.

Реализация сформулированной концепции в профессиональном образовании способствует достижению основной цели — подготовки квалифицированного специалиста соответствующего уровня и профиля, обладающего интегрированными знаниями, умениями и навыками, конкурентоспособного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Предложенная модель характеризует содержание, структуру и совокупность внутренних связей процесса подготовки специалистов [12, 13].

Непрерывное профессиональное образование — это постоянный, непрекращающийся процесс обучения в сфере профессионального образования и профессиональной подготовки [11]. Непрерывное профессиональное образование лиц старшего школьного возраста и взрослых создаёт условия постоянного профессионального, карьерного и личностного роста в течение всей жизни.

Комплексный подход к решению этой задачи предполагает, в частности, адаптацию к процессу своей профессиональной деятельности на предприятиях выбранного профиля [14]. При поступлении в вуз абитуриент должен разработать свою профессиональную траекторию. Обычно профессиональная траектория формируется в процессе профессиональной ориентации абитуриента под влиянием окружающей среды на основе собственного жизненного опыта и самооценки. В процессе обучения в вузе студент обязан продемонстрировать свои творческие способности путём выполнения научно-исследовательской работы по профилю выбранной кафедры и в соответствии со своей профессиональной траекторией.

В рамках разработанной программы научный руководитель предлагает студенту решить научно-исследовательскую задачу (которая может быть сформулирована самостоятельно) и консультирует его в процессе работы.

Результаты работы представляются в соответствующей форме, рецензируются, а затем студент делает доклад на конференции профилирующего предприятия. Комиссия, включающая ведущих специалистов предприятия и преподавателей кафедры, оценивает научный доклад, результаты работы и рассматривает возможность их использования на практике. По результатам работы конференции прошедшим отбор студентам присваивается статус лауреата, который позволяет получить приоритет при трудоустройстве на предприятие. Таким образом реализуется механизм адаптации студентов (будущих молодых специалистов) в рамках концепции «русского метода обучения ремёслам», которая в последнее время приобретает всё бóльшую популярность.

Реализация представленного механизма адаптации осуществляется в рамках системы управления качеством подготовки специалистов конкретного вуза. Система управления качеством включает ряд требований к подготовке бакалавров, специалистов и магистров, которые базируются на федеральных государственных образовательных стандартах. Все эти требования сформулированы в виде моделей [12].

Качество обучения в образовательной организации обусловлено оценкой готовности учащихся к обучению на новом этапе, качеством методического обеспечения, методическим и профессиональным уровнем преподавателей, удовлетворённостью учащихся качеством преподавания, уровнем подготовки выпускников вуза компаниями-работодателями.

Разработанная модель адаптации выпускника образовательной организации позволяет организации-потребителю оценить уровень его подготовки на предварительном этапе, а выпускнику — с наибольшим эффектом реализовать свою профессиональную траекторию.

Использованные дистанционные образовательные технологии базируются на «русском методе обучения ремёслам» путём включения в курсы подготовки лабораторных работ, которые реализуются с помощью беспроводных сетей [15].

Преимущества системы обучения с применением дистанционных образовательных технологий:

гармоничное сочетание очных занятий и самостоятельной работы с возможностью дистанционного консультирования, где учитываются индивидуальные особенности обучаемых (здесь наблюдается синергетический эффект повышения качества обучения при снижении затрат);

самостоятельное изучение учебного материала осуществляется по CD-дискам или по источникам электронной библиотеки вуза, что значительно экономит время слушателей на поиск нужной информации;

модульность обучения;

технические и программные средства обучаемых автоматизированной информационной системы дистанционного обучения рассчитаны на минимальные требования, связь с вузом может быть организована по Интернету и телефонным каналам, а технология передачи данных позволяет осуществлять связь обучаемого с вузом в самых неблагоприятных условиях;

слушатели в сокращённые сроки получат диплом государственного образца о профессиональной переподготовке, дающей право занятия новой профессиональной деятельностью.

Выводы. Современные образовательные системы целесообразно проектировать с учётом требований универсальности, адаптивности и инвариантности к различным педагогическим концепциям.

Образовательные системы претерпевают существенные структурные изменения, обусловленные глубоким внедрением новых информационных технологий в учебный процесс и процесс управления организациями.

Создание универсальных унифицированных моделей управления процессом занятости, трудоустройства и абилитации выпускников вузов путём формирования институциональной среды является важной проблемой, особенно актуальной на современном этапе развития общества.

Таким образом, разработаны и реализованы система подготовки кадров для предприятий оборонного комплекса, методы обучения с использованием современных информационных технологий, позволяющих интенсифицировать процесс получения и усвоения знаний.

Библиографические ссылки

1. **Александров А.А.** и др. Вопросы теории и реализации непрерывного образования. М.: Изд-во МГОУ, 2012. 272 с.

2. **Александров А.А., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Реализация взаимодействия МГТУ им. Н.Э. Баумана с предприятиями ракетно-космической отрасли // Сб. науч. тр. «Повышение квалификации и подготовка кадров в образовании». № 5. Международная педагогическая академия. 2012. № 5. С. 36—43.

3. **Александров А.А.** и др. Разработка и исследование системы управления инновационным развитием Российского образовательного комплекса в условиях информационного общества // Качество, инновации, образование. 2012. № 10. С. 2—14.

4. **Александров А.А., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Концепция взаимодействия МГТУ им. Н.Э. Баумана с предприятиями ракетно-космической отрасли в вопросах подготовки инженеров и научных кадров // European Social Science Journal. 2013. № 1 (29). С. 121—126.

5. **Беляков С.А., Вахштайн В.С., Галичин В.А.** и др. Мониторинг непрерывного образования: инструмент управления и социологические аспекты / Науч. рук. А.Е. Карпухина; Сер. «Мониторинг. Образование. Кадры». М.: МАКС Пресс, 2006. 340 с.

6. **Бородулин И.Н., Неусыпин К.А.** Вопросы синтеза систем управления качеством образовательных организаций // Качество, инновации, образование. 2004. № 4. С. 5—9.

7. **Бушуев В.С., Крылова Н.В.** Актуальные проблемы современной педагогики: учеб. пособие. СПб.: СПбГЭУ, 2002.

8. **Зинченко Г.П.** Предпосылки становления теории непрерывного образования // Советская педагогика. 1991. № 1. С. 81—87.

9. **Зинченко Г.П.** Непрерывное образование — веление времени. М.: Знание, 1988.

10. **Нагаева И.А.** Инновационные информационные технологии в образовательных системах: учеб. пособие. М.: Изд-во МГОУ, 2013. 224 с.

11. **Нагаева И.А.** Модели обучения с применением дистанционных образовательных технологий // European Social Science Journal. 2012. № 9-2 (25). С. 44—51.

12. **Неусыпин К.А., Цибизова Т.Ю., Пищулин В.И.** Разработка модели для системы управления качеством программы «Шаг в будущее» // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 4. С. 34—38.

13. **Федоров И.В., Лезина О.В.** Модели формирования готовности выпускников инженерных вузов к инновационной деятельности // Известия Международной академии наук высшей школы. 2006. № 4 (34). С. 94—107.

14. **Aleksandrov A.A., Ke Fang, Proletarsky A.V., Neusipin K.A.** Conception of complex continuous education with innovative information technologies // Advances in Education Research. Selected Papers from 2012 2nd International Conference on Education and Education Management (EEM 2012) Hong Kong. Sept. 4—5, 2012. P. 374—378.

15. **Aleksandrov A.A., Neusipin K.A., Proletarsky A.V., Ke Fang.** Innovation development trends of modern management systems of educational organizations // Proceeding of 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. Oct. 20—21, Sanya, China. ICIII 2012. P. 235—238.