Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

11

2015

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)
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"
Осипова В.Г. — ООО "Изд-во Инновационное машиностроение" (заместитель главного редактора)
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО "Изд-во Инновационное машиностроение"
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 — **Лутовинина О.Н.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

ОБЩЕСТВО
С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

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

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

ООО "Издательство
"Инновационное машиностроение"

Адрес издательства:

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

© Издательство "Инновационное машиностроение",
"Автоматизация. Современные технологии", 2015

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Святский В.М., Сентяков Б.А. Структурная схема процесса производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья 3

Плис Н.И., Тимошенков А.С., Парфёнов Н.М., Жора В.Д., Грунянская В.П. Разработка гибких полиимидных носителей для сборки МЭА 7

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Федотов Ю.В. Программно-аппаратный комплекс многоцелевого флуоресцентного лидара 12

Правидло М.Н., Быков Л.В., Тихонов К.М., Янышев Д.С. Разработка инженерной методики моделирования динамики пироприводов 16

Фроловский В.Д., Ландовский В.В., Ландовская И.Е., Бунькова Т.О. Экспериментальное исследование деформационных свойств и компьютерное моделирование тканых материалов на основе метода частиц 22

Перерва О.В., Ендовин Ю.П., Гартман Т.Н. Метод определения параметров ПИД-регуляторов при моделировании химико-технологических систем с применением симулятора ChemCAD 27

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Фадеева О.М. Web-guest-технология как средство формирования профессионально-квалиметрической культуры . . 34

Рачковская Н.А., Лукьянова Н.В., Неусыпин К.А. Социальная абилитация лиц с ограниченными возможностями 37

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Белоусов В.Л., Денисов Д.Ю., Титков А.М., Дивуева Н.А. Модель процесса организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы 43

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 48

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Svyatskiy V.M., Sentyakov B.A. The manufacturing structural diagram of the aricles from fibrous materials on the grounds of recycled synthetic materials 3

Plis N.I., Timoshenkov A.S., Parfenov N.M., Zhora V.D., Grunyanskaya V.P. The development of flexible polyimide medium for MЭA assembly 7

MODERN TECHNOLOGY

Fedotov Yu.V. Hardware-software complex of the multipurpose fluorescent lidar 12

Pravidlo M.N., Bykov L.V., Tikhonov K.M., Yanyshev D.S. The development of the engineering modeling methodology for the dynamics pirodrives 16

Frolovskiy V.D., Landovskiy V.V., Landovckaya I.E., Bun'kova T.O. Experimental study of deformation properties and computer modeling of woven materials from a particles method 22

Pererva O.V., Endovin Yu.P., Gartman T.N. The determining method of the PID-regulator parameters at modeling chemica-technological systems modelling through the use of simulator ChemCAD 27

EDUCATIONAL TECHNOLOGY

Fadeeva O.M. Web-guest-technology as a means of formation of professional-kvalimetric culture 34

Rachkovskaya N.A., Lukyanova N.V., Neusypin K.A. Social habilitation of persons with disabilities 37

ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Belousov V.L., Denisov D.Yu, Titkov A.M., Divueva N.A. Organization process model of the of innovations selection based on scientific and technical expertise 43

SURVEY OF PERIODICALS

On the journals pages 48

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

Сдано в набор 01.09.2015.
Подписано в печать 12.10.2015.
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", 2015

УДК 67.05

В.М. Святский, канд. техн. наук, доц., **Б.А. Сентяков,** д-р техн. наук, проф.
(Ижевский государственный технический университет)

svlad-2000@yandex.ru

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Представлена структурная схема процесса производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья, которая даёт наглядное представление о компоновке машин для его реализации и позволяет решать задачи совершенствования этого процесса с позиций системного подхода, с учётом особенностей всех агрегатов и реализуемых при их функционировании процессов, а также синтеза новых машин такого назначения.

Ключевые слова: волокнообразующие машины и агрегаты; синтетический волокнистый материал; фильтры; нефтеулавливающие боны.

The manufacturing block diagram of the articles from fiber materials on the grounds of recycled synthetic materials is represented. The block diagram gives a visual representation of the machines layout for manufacturing process implementation and allows to solve the problem of this process improving from the system approach standpoint by taking into account features of all aggeregates and processes implemented with their operation, as the new machines synthesis such destination.

Key words: fiber-forming machines and aggeregates; synthetic fiber material; filters; oil-trapping booms.

Неоспоримым фактом является то, что прогресс различных отраслей промышленности во многом определяется качеством используемых в процессе производства изделий материалов. Номенклатура известных выпускаемых российской и зарубежной промышленностью конструкционных и строительных материалов в настоящее время достаточно обширна. Отдельное место в ней занимают волокнистые материалы из минерального и синтетического сырья, которые широко используются в машиностроении, строительстве, теплоэнергетике и лёгкой промышленности. Перспективно применение таких материалов в качестве основы для производства различных композитных материалов и в качестве сорбентов для очистки природных сред от загрязнений нефтью и нефтепродуктами.

Двойной интерес для народного хозяйства представляют изделия из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья. Суть такого двойного интереса состоит в том, что использование вторичного сырья позволяет существенно уменьшить себестоимость готовых изделий, а извлечение такого сырья из природной среды — решить одну из задач экологии — предотвратить загрязнение окружающей среды синтетическими бытовыми и промышленными отходами.

Авторами [1] разработана, апробирована на практике и продолжает развиваться технология производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного полиэтилентерефталата. В отличие от классической технологии производства аналогичных волокнистых материалов, например, широко известного синтепона и его аналогов, предлагаемая технология позволяет существенно упростить конструкцию используемых при этом машин и агрегатов и даёт возможность использования вторичного сырья без соблюдения строгих требований к его качеству.

Структурная схема производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья — полиэтилентерефталата — представлена на рис. 1. При составлении этой схемы приняты следующие известные в машиноведении [2] определения. Машина — технический объект, состоящий из взаимосвязанных функциональных частей и использующий энергию для выполнения возложенных на него функций. Рассматриваемые ниже машины являются технологическими, предназначены для изменения размеров, формы,

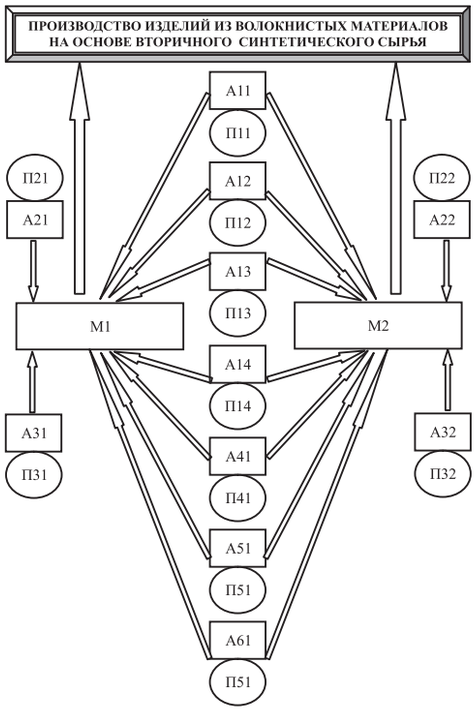


Рис. 1. Структурная схема производства изделий из волокнистых материалов

свойств или состояния предмета обработки, в нашем случае — вторичного полиэтилентерефталатного сырья.

Конструктивно любая машина, в том числе и рассматриваемые машины для производства изделий из волокнистых материалов, состоит из деталей, узлов и агрегатов. Каждый из этих элементов имеет предметную или функциональную специализацию, полное назначение и вместе с тем согласуется с другими элементами машины, образуя в совокупности целостную действующую конструкцию.

Агрегат — нормализованный узел машины, который обеспечивает полную взаимозаменяемость и самостоятельно выполняет свойственные ему функции, которые будут показаны для рассматриваемых агрегатов. Это даёт возможность использовать агрегаты не только в конструкции какой-то определённой машины, а составлять из них в зависимости от потребностей производства машины разных компоновок.

Функционирование агрегатов сопровождается реализацией определённых процессов — устойчивых и целенаправленных совокупностей взаимосвязанных действий, которые по определённой технологии преобразуют входы в выходы для получения заранее определённых продуктов, результатов или услуг, представляющих ценность для потребителя [3].

В ходе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новой технологии производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного полиэтилентерефталатного сырья (см. рис. 1) были разработаны две технологические машины: М1 — машина для производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного сырья с плавильным агрегатом гидростатического типа и М2 — машина для производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного сырья с плавильным агрегатом экструдерного типа. Каждая из этих машин имеет свои преимущества и недостатки:

производительность машины М1 в 2—5 раз меньше, чем машины М2, что объясняется сложностью управления процессом истечения расплавленного сырья под действием гидростатического давления — использование экструдера (М2) существенно упрощает этот процесс;

экономичность машины М1 значительно выше, чем машины М2, что объясняется отсутствием затрат электроэнергии на вращение шнека экструдера и её вертикальной компоновкой, уменьшающей занимаемую площадь;

эксплуатационная надёжность и долговечность машины М1 уступает надёжности и долговечности машине М2, что обусловлено прямым контактом расплавленного сырья с атмосферным воздухом и возможностью образования нагара на стенках плавильного агрегата, изменяющего условия его истечения;

технологичность конструкции машины М1 существенно выше, чем машины М2, что обусловлено конструктивной простотой её плавильного агрегата (А21);

экологичность машин М1 и М2 — их способность выполнять свои функции без вредного воздействия на окружающую среду или с минимизацией такого влияния можно признать одинаковой;

безопасность в эксплуатации машины М1 существенно выше, чем машины М2, вследствие отсутствия необходимости повышать давление расплавленного сырья в несколько раз выше атмосферного;

стоимость машины М1 меньше стоимости машины М2 благодаря простоте конструкции её плавильного агрегата (А21).

Анализируя разработанную схему производства изделий из волокнистых материалов, представленную на рис. 1, отметим, что большинство агрегатов, из которых состоят машины М1 и М2, являются универсальными — они

ao1115.indd 4 22.10.2015 13:46:57

могут использоваться и в других аналогичных машинах для переработки вторичного синтетического сырья. Такими универсальными агрегатами являются агрегаты для подготовки исходного сырья: А11 — для дробления исходного сырья; А12 — для сушки исходного и гранулированного сырья; А13 — для гранулирования сырья; А14 — для дозированной подачи исходного и гранулированного сырья.

Агрегаты выполняют следующие процессы: П11 — дробления вторичного сырья — в рассматриваемой технологии — использованных пластиковых бутылок из полиэтилентерефталата с образованием флексов размером не более 5 мм; П12 — сушки вторичного сырья перед гранулированием, которому может предшествовать процесс очистки полученных флексов от бумаги и других инородных включений; П13 — гранулирования сырья, который не является элементарным и включает в себя процессы плавления флексов в экструдере, образования и охлаждения системы струй расплавленного сырья с последующим их дроблением и образованием гранул диаметром 1,5...2 мм и длиной 3...4 мм; П14 — сушки сырья (гранул) перед плавлением для удаления влаги, наличие которой существенно снижает качество готовых изделий. Заметим, что наличие агрегата А13 для гранулирования исходного сырья не является обязательным условием работоспособности машин М1 и М2 — в качестве сырья можно использовать не гранулы, а флексы, однако качество изделий при этом может измениться в худшую сторону вследствие затруднения процесса гомогенизации расплава.

Следует отметить, что не все агрегаты и соответствующие им процессы в машинах М1 и М2 являются полностью взаимозаменяемыми. Основное конструктивное отличие машин М1 и М2 состоит в том, что в них используются принципиально различные плавильные агрегаты, соответственно, в первой — плавильный агрегат А21 гидростатического типа, а во второй — плавильный агрегат А22 экструдерного типа. Отличаются они также и струеобразующими агрегатами: в машине М1 — струеобразующий агрегат А31 вертикального исполнения, а в машине М2 — струеобразующий агрегат А32 горизонтального исполнения. Соответственно, различными являются и процессы, обусловливающие закономерности функционирования этих агрегатов: П21 — процесс плавления сырья в плавильном агрегате гидростатического типа, П22 — процесс плавления сырья в плавильном агрегате экструдерного типа и П31 — процесс образования струи расплавленного сырья при вертикальном истечении, П32 — процесс образования струи расплавленного сырья при горизонтальном истечении.

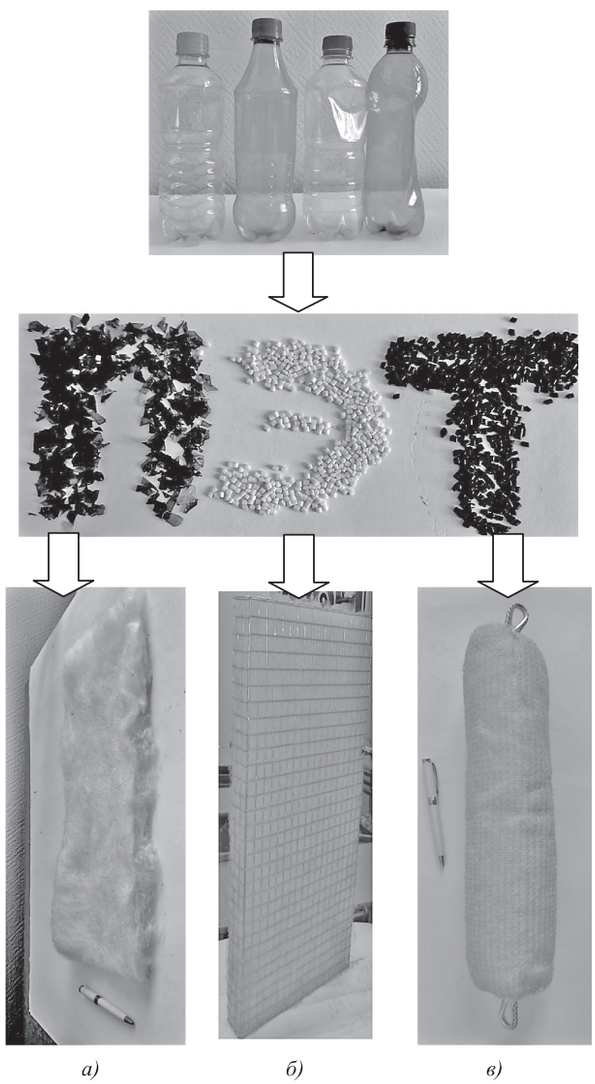
Следующие три агрегата рассматриваемых машин для производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного сырья также являются взаимозаменяемыми и могут быть использованы в аналогичных машинах, не только разработанных авторами М1 и М2, но и в других возможных вариантах.

В разработанной технологии сразу после плавления исходного сырья и образования струи расплавленного материала последняя поступает в волокнообразующий агрегат А41, где взаимодействует с потоком газообразного энергоносителя — обычно сжатого воздуха. Авторами разработано и защищено патентами на изобретения [4, 5] несколько конструктивных разновидностей таких агрегатов, которые иногда называют "дутьевая головка": с кольцевым сходящимся соплом раздува, расположенным коаксиально движущейся струе расплавленного материала, с механизмом качания дутьевой головки и с щелевыми соплами различной конструкции и различного относительного расположения. Каждый из этих агрегатов имеет свои положительные качества, реализуемые в конкретных условиях применения.

Реализуемый в этих агрегатах процесс волокнообразования П41 не является единообразным. В зависимости от конструкции волокнообразующего агрегата и режимов его работы, например, направления потока воздуха, его скорости и температуры процесс волокнообразования существенно изменяется. Например, при малых скоростях потока воздуха, истекающего из кольцевого сопла волокнообразующего агрегата, возможно образование непрерывного, в виде единичной нити, а не штапельного волокна. При увеличении скорости и температуры потока воздуха, истекающего из сопла волокнообразующего агрегата (дутьевой головки), вследствие интенсивной его турбулизации и уменьшения вязкости расплавленного материала обычно происходит образование из одной струи множества штапельных элементарных волокон малого поперечного размера.

После выхода из волокнообразующего агрегата поток элементарных штапельных волокон вместе с несущим их потоком воздуха поступают в холстообразующий агрегат А51. В про-

стейшем случае, когда требуется получать изделие в виде непрерывного плоского холста заданной толщины и ширины, такой агрегат представляет собой ленточный конвейер, в котором в качестве несущей бесконечной ленты используется металлическая сетка с ячейками размером не менее 5 мм. Процесс формирования первичного холста П51 при этом состоит в равномерном нанесении множества элементарных волокон на поверхность движущейся ленты конвейера циклическим изменением направления движения потока элементарных волокон с помощью специального механизма, являющегося частью волокнообразующего агрегата. Толщина образующегося при этом холста из удерживаемых между собой силами естественного сцепления волокон зависит от линейной скорости движения ленты конвейера — с уменьшением скорости толщина холста увеличивается. Такой непрерывный холст толщиной 20...50 мм уже готов для практического использования. После вырезки из него квадратных салфеток размером 200...500 мм их можно считать готовым изделием для использования в качестве сорбирующих элементов для сбора нефтепродуктов с поверхности воды (рис. 2, *а*). Полученный холст с диаметром волокна от 40 до 100 мкм уложен в металлический каркас, образуя фильтр, который может применяться для очистки технологических сточных вод от нефтесодержащих продуктов и твёрдых частиц (рис. 2, *б*).



а) *б)* *в)*

Рис. 2. Последовательность преобразования использованной пластиковой посуды из полиэтилентерефталата (ПЭТ) в гранулы или флексы и далее — в волокнистые изделия:
а — боны для сорбции нефтепродуктов; *б* — фильтры для механической очистки; *в* — холсты для тепло- и звукоизоляции

Для изготовления сорбирующих бонов, предназначенных для локализации нефтяного пятна разлившейся на поверхности воды нефти и одновременной её сорбции, разработан аналогичный рассмотренному выше холстообразующему агрегату бонообразующий агрегат. Суть его устройства и функционирования состоит в непрерывном нанесении выходящего из волокнообразующего устройства потока элементарных волокон в сетчатый рукав диаметром 100...200 мм. Далее такой рукав, равномерно заполненный элементарными волокнами с условной плотностью 10...50 кг/м^3, разрезается на отдельные боны длиной 500...1000 мм (рис. 2, *в*).

Последним в технологической схеме производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья является процесс термоскрепления изделия П61, который реализует один из элементов машин М1 и М2 — термоскрепляющий агрегат А61. Этот процесс необходим для повышения прочности готового изделия и заключается в местном нагревании составляющих изделия элементарных волокон до температуры, близкой к температуре плавления. При этом за счёт "спайки" элементарных волокон между собой существенно увеличивается прочность изделия. Авторами разработаны и апробированы в действии два варианта таких агрегатов. В первом варианте местное поверхностное нагревание движущегося по ленточному конвейеру холста из полиэтилентерефталатных волокон производилось при помощи нагретых валиков, а во втором — с применением электрического фена.

Процесс термоскрепления холста из элементарных волокон может происходить и без

ao1115.indd 6 22.10.2015 13:46:57

применения специального термоскрепляющего агрегата. Для этого необходимо сократить расстояние между волокнообразующим и холстообразующими агрегатами до 300...800 мм. При этом элементарные волокна не успевают снизить свою температуру и, оставаясь в разогретом состоянии, "спаиваются" между собой, существенно повышая прочность готового изделия — холста или бона.

Таким образом, представленная структурная схема процесса производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья даёт наглядное представление о компоновке машин для его реализации и позволяет решать задачи совершенствования этого процесса с позиций системного подхода с учётом особенностей всех агрегатов и реализуемых при их функционировании процессов, а также синтеза новых машин такого назначения.

Библиографические ссылки

1. **Процессы** получения и практического использования полиэтилентерефталатного волокна из вторичного сырья: монография / Б.А. Сентяков, К.П. Широбоков, В.М. Святский, М.А. Святский, К.А. Фонарёва, Старый Оскол: Изд-во Тонкие наукоёмкие технологии, 2014. 152 с.

2. **Артоболевский И.И.** Теория механизмов и машин: учеб. для втузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1988. 640 с.

3. **Панов М.М.** Оценка деятельности и система управления компанией на основе KPI.М.: Инфра-М, 2013. 255 с.

4. **Сентяков Б.А., Сентяков К.Б., Шайхразиев Ф.Ф., Святский М.А.** Волокнообразующее устройство // Патент РФ № 2362746. 2009. Бюл. № 21.

5. **Сентяков Б.А., Святский В.М., Святский М.А., Широбоков К.П., Гараев С.А.** Волокнообразующее устройство // Патент РФ № 2530065. 2014. Бюл. № 28.

УДК 621.382.8.002.72

Н.И. Плис, д-р техн. наук
(ОАО "Ангстрем", г. Москва),
А.С. Тимошенков, канд. техн. наук
(Московский институт электронной техники (Национальный исследовательский университет)),
Н.М. Парфёнов, канд. техн. наук
(Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)),
В.Д. Жора, канд. техн. наук, **В.П. Грунянская**
(ГП "НИИ микроприборов" НАН Украины, г. Киев)

plis@angstrem.ru

РАЗРАБОТКА ГИБКИХ ПОЛИИМИДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ СБОРКИ МЭА

Рассмотрены конструкция и технология сборки МЭА на гибком носителе типа алюминий—полиимид. Показаны преимущества данного метода сборки. Активные работы по внедрению нового отечественного метода сборки интегральных схем (ИС) микроэлектронной аппаратуры (МЭА) на гибком полиимидном носителе (ГПН) были организованы на предприятиях электронной промышленности. При освоении изделий внедрены комплекты автоматизированного оборудования как для изготовления гибких носителей (линия "Ладога"), так и для сборки бескорпусных микросхем на ГПН (линия "Полином"). Налажен выпуск фольгированных диэлектриков и других материалов, контактирующих устройств. Для монтажа элементной базы разработаны автоматизированные линии, позволяющие осуществлять приварку алюминиевых выводов микросхем на керамические подложки ультразвуковой микросваркой.

Ключевые слова: гибкий полиимидный носитель; композиционный материал; сборка; монтаж.

The МЭЕ design and assembly technology on flexible medium such as aluminum—polyimide are consider. The advantages of this assembly method is shown. Active works on the implementation of the new domestic assembly method of integrated circuits (IC) of microelectronic equipment (МЭЕ) on a flexible polyimide medium (FPM) were organized at the electronic industr enterprises. The automatic equipment sets as for the manufacture of flexible medinm (line "Ladoga") as for assembly the unpackaged chips on FPM (line "Polynomial") are embeded at articles mastering. The foil dielectrics and other materials, contact devices output are established. The automatic line, allowing to carry out ultrasonic microwelding of aluminum chips posts on the ceramic bottom layer for elemental base installation, are developed.

Key words: flexible polyimide medium; composite material; assembly; installation.

ao1115.indd 7 22.10.2015 13:46:57

Введение. Внедрение разработанного способа обработки выводов ГПН под пайку [2, 3] позволило использовать микросхемы при выпуске изделий широкого применения (программируемых микрокалькуляторов, часов, гибридных МЭМС — гироскопов и акселерометров). При этом монтаж микросхем на ГПН на стандартные печатные платы осуществлялся методом пайки с использованием импульсных микропаяльников.

В последние годы изготовители современной аппаратуры проявляют большой интерес к бескорпусной элементной базе на ГПН. Кроме минимальных габаритов и массы, микросхемы благодаря уникальному сочетанию свойств композиционных материалов — алюминия и полиимида имеют ряд других преимуществ [4], а именно:

высокую надёжность после герметизации в составе микросборок за счёт монометаллического соединения Al—Al в местах сварки на кристалле и большего поперечного сечения алюминиевых выводов ГПН в сравнении с проволочными проводниками, что делает соединения более прочными и облегчает отвод тепла от кристалла;

практически исключена в сравнении с проволочными проводниками возможность короткого замыкания выводов за счёт их закрепления на прочной и термически стойкой полиимидной плёнке, что особенно актуально для микросхем, гироскопов и акселерометров [12], работающих в условиях больших ускорений и ударных нагрузок;

возможность монтажа в микроэлектронную аппаратуру как ультразвуковой сваркой, так и пайкой после дополнительной обработки алюминиевых выводов [2, 3];

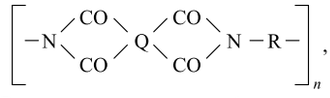
повышенную плотность монтажа МЭА благодаря уменьшению ширины выводов ГПН до 30...40 мкм и шага контактных площадок до 80 мкм [6];

возможность сборки многовыводных БИС и СБИС, имеющих сотни выводов, когда применение традиционной проволочной сборки зачастую затруднено, в то время как использование многовыводных ГПН [1] не вызывает особых проблем и допускает использование сборочных автоматов;

возможность использования ГПН при сборке БИС и СБИС, работающих в условиях радиационных нагрузок благодаря исключительно высокой радиационной стойкости полиимида и алюминия.

Особенности применения композиционных материалов алюминий—полиимид. Наглядным свидетельством преимуществ сборки изделий микроэлектроники с использованием композиционных материалов алюминий—полиимид является её применение Европейским центром ядерных исследований (ЦЕРН, г. Женева) при изготовлении компонентов детекторных модулей для системы "ALICE" [6]. Конкурентность данной технологии обеспечили применение многовыводных микрокабелей, содержащих сотни выводов; малый шаг выводов (до 80 мкм); высокая механическая прочность тонкой (10...12 мкм) полиимидной плёнки. В рамках данной программы было изготовлено около 40 тыс. сложных многовыводных микрокабелей типа алюминий—полиимид. При этом точность изготовления выводов микрокабелей в местах сварки достигала 36 ± 4 мкм.

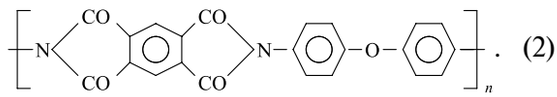
Уникальность свойств полимерных плёнок, на которых располагаются выводы ГПН, определяется химическим строением полиимидов — целого класса полимеров, имеющих общую структурную формулу,



(1)

где Q и R — различные алифатические или ароматические группировки.

В ряду ароматических полиимидов наиболее ценным комплексом свойств обладает полидифенилоксипиромеллитимид, получаемый по реакции поликонденсации пиромеллитового диангидрида и аминодифенилового эфира. Плёнки из такого материала известны в России как ПМ1, ФДИ и другие, а в США — как Kapton различных типов [7]:



(2)

Чередующиеся жёсткие ароматические группировки (бензольные кольца) и имидные циклы обладают стойкостью благодаря перераспределению поглощённой энергии на все шесть р-электронов кольца или цикла, образующих общее электронное облако [7].

Находящиеся в диаминном фрагменте макромолекул полимера эфирные связи —О— придают полиимидным плёнкам высокую эластичность, так как эти связи играют роль внутримолекулярных шарниров [7]. Свою эластичность полиимидные плёнки сохраняют даже при криогенных температурах. Так, в работе [8] отмечается, что они могут использо-

ao1115.indd 8 22.10.2015 13:46:57

ваться в интервале температур 3...673 К. Важно отметить, что полиимидные плёнки имеют хорошие диэлектрические свойства и в сравнении с другими полимерами для них характерна весьма высокая теплопроводность [9]. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) полиимида близок к ТКЛР алюминия и меди, применяемых для изготовления выводов ГПН. В то же время полиимидные плёнки травятся в сильнощелочных растворах, что позволяет получать в них, при необходимости, сквозные отверстия.

Ценный комплекс свойств полиимидных материалов предопределил их широкое использование в микроэлектронике не только в качестве полимерного основания в ГПН и в гибких платах, но и как диэлектрический слой при изготовлении многоуровневой металлизации на кристаллах СБИС.

Бескорпусная БИС представляет собой кристалл с алюминиевыми выводами на полиимидном основании. Технологический процесс сборки таких микросхем включает в себя изготовление гибких носителей типа алюминий—полиимид методом двусторонней фотолитографии, их присоединение к стандартным полупроводниковым кристаллам с алюминиевой металлизацией ультразвуковой сваркой, герметизацию полимерными материалами и проведение технологических отбраковочных испытаний, в том числе и электротермотренировки. Конструкция гибких носителей задаётся фотошаблонами слоёв алюминия и полиимида, которые предварительно совмещаются и соединяются в пакет.

Конструктивные варианты сборки монтажа ИС МЭА. Конструктивно гибкий носитель (рис. 1) выполнен в виде нескольких взаимосвязанных зон — периферийной, контактирования, монтажной и внутренней [9]. Они состоят из унифицированных элементов, изменяющих своё положение в зависимости от расположения контактных площадок кристалла. Функционально периферийная зона носителя предназначена для фиксации носителя и микросхемы в целом в процессах их изготовления и монтажа. Она содержит базовые фиксирующие отверстия, позволяющие сохранять необходимую точность фиксации носителя и микросхемы в целом в процессе их изготовления и проведения необходимых измерений параметров и испытаний, а также при монтаже в МЭА. Зона контактирования предназначена для подключения контактирующих устройств (КУ) при измерении электрических параметров ИС и при проведении их испытаний. Для этого она имеет контактные площадки со строго определёнными размерами и местами их расположения, а также шагом 1,25 мм для зондов КУ. В зависимости от количества выводов зона контактирования может быть двухсторонней или четырёхсторонней (см. таблицу).

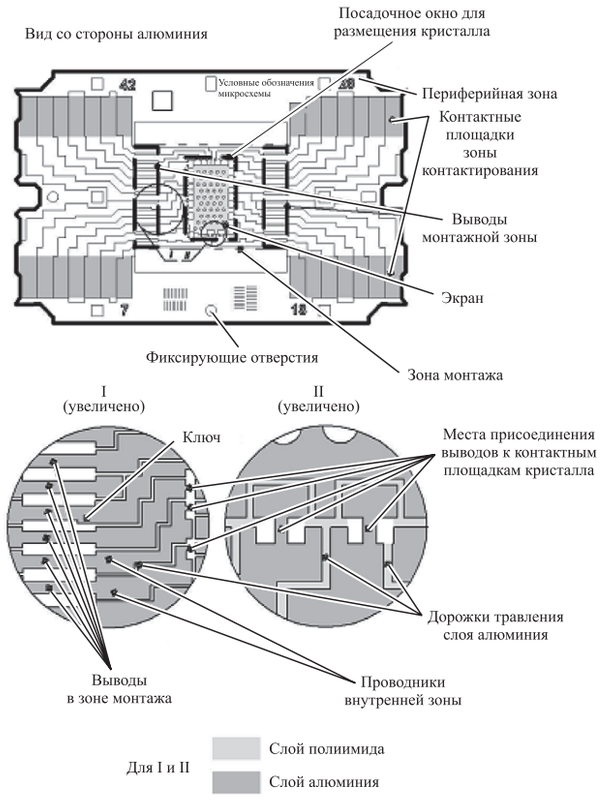


Рис. 1. Гибкий полиимидный носитель для сборки микросхем

Конструктивные параметры ИС на гибком носителе типа алюминий—полиимид

Число выводов ИС	Размеры монтажной части, мм	Шаг выводов в монтажной части, мм	Расположение выводов
1...*n*	(*n*/2. 1,25) × 10,0 × 2,0	1,25	Двустороннее
1...16	6,8 × 6,8 × 2,0	0,625	Четырёхстороннее
16...48	12,0 × 12,0 × 2,0	0,625	
48...64	14,0 × 14,0 × 2,0	0,625	
64...96	23,0 × 28,0 × 3,0	0,625	
128...256	42,0 × 25,0 × 3,0	0,625	

Монтажная зона содержит унифицированный контур вырубки с двухсторонним или четырёхсторонним расположением выводов (см. таблицу) [10], по которому от микросхемы отделяют зоны периферийную и контактирования перед монтажом бескорпусной БИС в МЭА.

Внутренняя область монтажной зоны служит для присоединения полупроводникового кристалла к внутренним окончаниям выводов носителя, повторяющим расположение контактных площадок этого кристалла. Она выполнена на основе ряда унифицированных элементов, которые разработаны с учётом автоматизации процессов сварки и обеспечения её надёжности, сохранения плоскостности и необходимой жёсткости внутренней области, а также стабилизации её геометрических размеров, например, введением экрана [10].

Для защиты бескорпусных микросхем действующими стандартами рекомендован ряд полимерных материалов. Выбор конкретного материала обусловлен условиями эксплуатации БИС, чувствительностью кристалла к поверхностным загрязнениям, а также совместимостью защитного материала с другими конструкционными материалами микросхемы и МЭА в целом.

Изготовление гибких носителей (микрокабелей) возможно различными методами. При больших объёмах выпуска и сравнительно малом количестве выводов (до 64) преимущество имеют высокопроизводительные методы рулонной обработки, например с использованием линии "Ладога". При малых объёмах, а также при изготовлении сложных изделий, имеющих сотни выводов, предпочтителен так называемый "планшетный" вариант технологии. При ширине выводов (шин) 80 мкм и более и их шаге более 180 мкм планшетный вариант может быть реализован применением специально разработанного многокомпонентного травителя алюминия комнатной рабочей температурой.

Уменьшение ширины выводов до нескольких десятков микрон и шага менее 100 мкм потребовало существенной доработки технологии изготовления гибких носителей, в частности:

разработки методики нанесения фоторезиста [11], обеспечивающей получение его постоянной оптимальной толщины около 1,5 мкм при различных вязкостях и других параметрах светочувствительного раствора;

применения полирующих травителей алюминия с повышенной (до 100 °С) рабочей температурой;

оптимизации технологических режимов и тщательного их контроля, особенно освещённости в рабочей зоне установки экспонирования, вакуума в вакуумной раме, температуры рабочих растворов и т.п.

Таким образом, предложенная конструкция и технология сборки МЭА на гибком носителе обеспечили:

повышение плотности элементов гибких носителей более 12 линий/мм при допуске на травление до ± 4 мкм;

существенное снижение дефектности, обеспечивающее выход годных микрокабелей до 50 % (при шаге выводов до 80 мкм, их количестве до нескольких сотен, площади микрокабелей 32 × 32 мм^2).

Отметим, что повышение плотности монтажа за счёт уменьшения шага расположения выводов носителей (микрокабелей) до 80 мкм возможно только в случае использования более тонких слоёв алюминия и полиимида. Толщина слоя алюминия, используемого для изготовления выводов носителей, может составлять 10, 14, 20, 25 или 30 мкм, а полиимидного основания — 10 или 20 мкм.

При использовании ГПН типа алюминий-полиимид алюминиевые выводы приваривают ультразвуковой сваркой непосредственно к контактным площадкам полупроводникового кристалла. Образуется монометаллическое соединение с высокой прочностью на разрыв — порядка 7...14 гс при толщине выводов 30 мкм (рис. 2) [10].

Процесс сварки микросхем на полиимидном носителе может быть реализован при использовании сборочного оборудования, различающегося как стоимостью, так и про-

Рис. 2. Распределение прочности сварки выводов ГПН с контактными площадками кристаллов в зависимости от ширины вывода и диаметра сварочного инструмента, ширина выводов в местах сварки 120^{+10} мкм, диаметр сварочного инструмента 130 мкм

ao1115.indd 10 22.10.2015 13:46:57

изводительностью. При больших объёмах выпуска микросхем преимущество отдают высокопроизводительным автоматизированным установкам, например ЭМ-4062. При многономенклатурном мелкосерийном производстве данная технология сборки в сравнении с методами сборки в корпуса требует лишь изготовления различных плёночных фотошаблонов при стандартном процессе и не сопряжена с необходимостью приобретения различных корпусов и оборудования для сварки и герметизации.

Выводы. Микросхемы на гибком полиимидном носителе отличаются высокой надёжностью и имеют преимущество в сравнении с другими конструкциями ИС в случаях их использования в составе герметичных микросборок, применения в МЭА, при больших ускорениях и ударных нагрузках. Оправдано также использование ГПН при сборке ИС, работающих в условиях радиационных нагрузок. Применение микросхем в бытовой МЭА возможно после герметизации полимерными материалами и защиты поверхности плат. В случаях многовыводных БИС и СБИС, имеющих сотни выводов, методы сборки микросхем на ГПН практически не имеют равных.

Библиографические ссылки

1. **Воженин И.Н., Блинов Г.А., Коледов Л.А. и др.** Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных интегральных микросхемах М.: Радио и связь, 1985. С. 264.

2. **Шеревеня А.Г., Цуканов Л.Н., Тучинский И.А., Жора В.Д.** Технология изготовления систем выводов на носителе для беспроволочной сборки ИС. В сб.: Науч.-техн. достижения. М.: ВИМИ. 1984. № 4. С. 34—41.

3. **А. с. 1 781 733 СССР.** Способ сборки интегральных схем // А.Г. Шеревеня, И.А. Тучинский, В.Д. Жора. МКИ H01L 23/00. Опубл. 15.12.92. Бюл. № 46.

4. **Вербицкий В.Г., Плис Н.И., Жора В.Д., Грунянская В.П.** Сравнительный анализ методов сборки микросхем на гибких полиимидных носителях // В сб.: Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Одесса. 2013. № 5. С. 37—41.

5. **Перевертайло В.Л., Жора В.Д., Грунянская В.П. и др.** Применение гибких носителей при сборке кремниевых детекторов. В сб.: Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Одесса. 2009. № 1 (79). С. 40—44.

6. **Oinonen M., Aatonen J., Kassamakov I.** et al. ALICE silicon strip detector module assembly with single-point TAB interconnections // Proceedings of the Conference LECC-Ihc-work shop-2005. http://web.cern.ch.

7. **Бессонов М.И., Котон М.М., Кудрявцев В.В., Лайус Л.А.** Полиимиды — класс термостойких полимеров. Л.: Наука, 1983. 328 с.

8. **Гаврюшин Н.Н.** Методы изготовления гибких печатных плат и кабелей // Зарубежная радиоэлектроника. 1985. № 5. С. 51—63.

9. **Плис Н.И., Вербицкий В.Г., Жора В.Д.** и др. // Технология сборки микросхем на гибком полиимидном носителе. 2010. № 5—6 (8, 9). С. 43—45.

10. **Грунянская В.П., Жора В.Д., Солдатенко Л.М., Тучинский И.А.** Специализированные БИС на основе базовых матричных кристаллов // В сб.: Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Одесса. 2000. № 1. С. 1—3.

11. **Нанесение** фоторезистивного слоя в процессе рулонного изготовления гибких носителей для сборки ИС / В.Д. Жора, А.Г. Шеревеня, В.В. Донцова и др. // Электронная техника. Сер. 7, ТОПО. 1988. Вып. 3. С. 5—8.

12. **Коновалов С.Ф., Пономарёв Ю.А., Майоров Д.В., Подчезерцев В.П., Сидоров А.Г.** Гибридные МЭМС гироскопы и акселерометры // Электр. науч.-техн. издание "Наука и образование". МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. С. 1—8.

Вниманию авторов!

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

УДК 681.785.542:528.8

Ю.В. Федотов, канд. техн. наук
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)
fed@bmstu.ru

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МНОГОЦЕЛЕВОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА

Флуоресцентный анализ широко используется в науке и технике в качестве эффективного аналитического средства. Возбуждение флуоресценции с использованием импульсных лазеров позволяет использовать данный метод для дистанционного зондирования. Описана программно-аппаратная реализация флуоресцентного лидара, характерной чертой которого является возможность его универсального использования.

Ключевые слова: флуоресценция; лазер; дистанционное зондирование; лидар.

Fluorescence analysis is widely used in science and technology as an effective analytical meansl. Fluorescence excitation using pulsed lasers can be used this method to remote probing. The hardware and software implementation of the fluorescence lidar, which is characterized by the possibility of its universal utilization is described.

Key words: fluorescence; laser; remote probing; lidar.

Дистанционный флуоресцентный анализ применяется при зондировании водных поверхностей для обнаружения нефтяных разливов [1] или определения концентрации растворённых органических веществ [2]. Другое распространённое применение флуоресцентного анализа — мониторинг растительного покрова, например, для контроля его состояния [3]. Кроме того, флуоресцентные лидары применяются для обнаружения и идентификации аэрозолей биологического происхождения [4], исследования состояния архитектурных памятников [5], обнаружения и классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности [6] и т. д.

Принцип действия лазерного флуоресцентного лидара основан на облучении исследуемого объекта лазерным излучением (для возбуждения флуоресценции) и регистрации характеристик флуоресцентного излучения. В качестве информационных признаков регистрируемого флуоресцентного излучения используют форму и интенсивность спектральных кривых флуоресценции и время затухания флуоресценции.

Наиболее интересным для практических приложений представляется регистрация формы спектральных кривых флуоресценции, так как регистрация времени затухания флуоресценции приводит к необходимости разработки и использования сложной измерительной аппаратуры с высоким временным разрешением, а интенсивность излучения флуоресценции зависит от многих посторонних факторов.

В большинстве описанных систем для регистрации спектров флюоресценции используются многоканальные фотоприёмники на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) в сочетании с различными спектральными приборами. Для обеспечения чувствительности, необходимой для дистанционного зондирования, ПЗС-фотоприёмники дополняются усилителями яркости или электронно-оптическими камерами. Такие системы регистрации спектров флуоресценции оказываются достаточно дорогими, при этом они проигрывают по чувствительности системам, построенным с использованием фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). В описанных выше областях применения наблюдается широкополосная флуоресценция, не требующая высокого спектрального разрешения регистрирующей аппаратуры и большого количества спектральных каналов регистрации.

Показано, что для эффективного решения задач обнаружения и классификации нефтяных загрязнений и контроля состояния растений достаточно регистрировать интенсивность излучения флуоресценции в нескольких узких спектральных полосах [6, 7]. В этом

случае система регистрации излучения флуоресценции может быть реализована с использованием нескольких одноканальных высокочувствительных фотоприёмников (например, ФЭУ), а спектральная селекция осуществлена за счёт использования дихроических зеркал и интерференционных фильтров. Такая система регистрации позволяет также анализировать время затухания излучения флуоресценции.

Флуоресцентный лидар с небольшим количеством каналов регистрации позволяет решать, как правило, одну специфическую задачу. При проведении научных исследований, а также решении практических задач желательно иметь универсальные многоцелевые системы. Данная работа посвящена разработке прототипа флуоресцентного лидара универсального применения и особенностям его программно-аппаратной реализации.

Структурная схема прототипа флуоресцентного лидара приведена на рис. 1. В качестве источника излучения применяется импульсный Nd:YAG лазер NL204 EKSPLA со сменными модулями генерации гармоник, использование которых позволяет выбирать длину волны возбуждения флуоресценции 266, 355, 532 нм. Для мониторинга состояния растительности наиболее перспективно использовать длину волны 532 нм, для обнаружения и классификации нефтяных загрязнений на различных поверхностях — 266 или 355 нм, а обнаружения и идентификации аэрозолей биологического происхождения — 266 или 355 нм.

Используемый лазер имеет длительность импульса ~7 нс и энергию от 0,7 до 2,0 мДж в зависимости от выбранного модуля генерации гармоник. Расходимость лазерного излучения составляет не более 3 мрад. Максимальная частота повторения импульсов 500 Гц. Лазер реализован в виде двух блоков — блока накачки и излучателя компактной надёжной конструкции.

Излучение флуоресценции собирается с помощью приёмного зеркального объектива с оптоволоконным выходом, использование которого обеспечивает совпадение полей зрения всех спектральных каналов. Эффективный диаметр апертуры приёмного объектива — 65 мм, фокусное расстояние — 280 мм. Собранное излучение по оптическому волокну транспортируется в оптический блок, где с помощью дихроичных зеркал и интерференционных фильтров выделяются необходимые спектральные каналы. Количество каналов, их центральная длина волны и ширина выбираются в соответствии с решаемой задачей. Один из спектральных каналов совпадает с длиной волны лазерного излучения. Этот канал используется для измерения дальности, а также нормировки сигналов флуоресцентных каналов.

Конструктивно оптический блок реализован с использованием унифицированных эле-

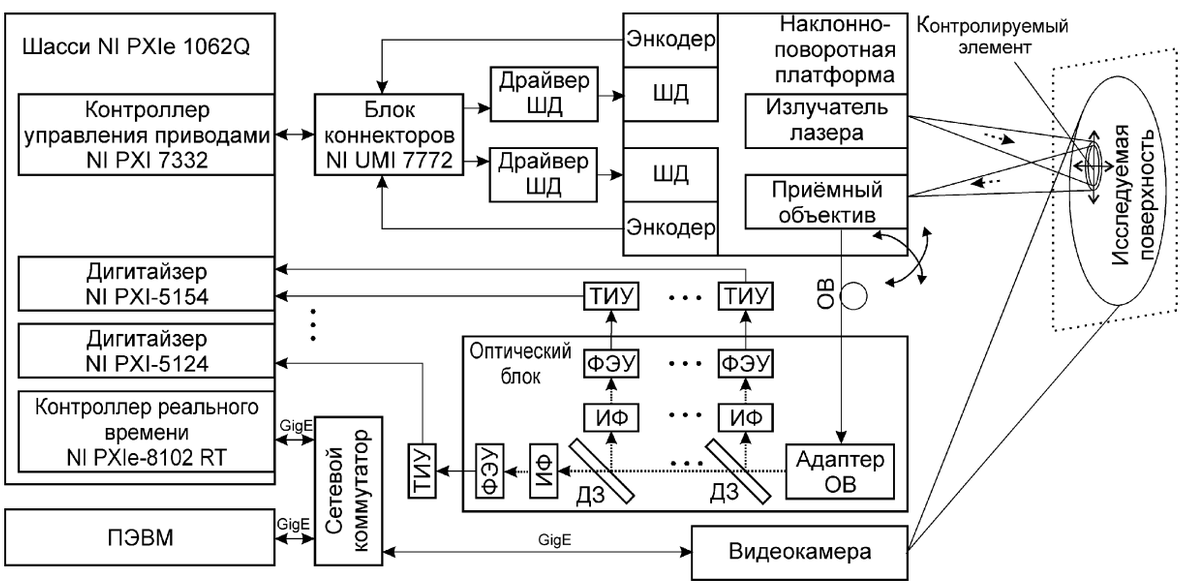


Рис. 1. Структурная схема прототипа флуоресцентного лидара:
ДЗ — дихроичное зеркало; ИФ — интерференционный фильтр; ОВ — оптическое волокно; ТИУ — трансимпедансный усилитель; ФЭУ — фотоэлектронный умножитель; ШД — шаговый двигатель

ментов, позволяющих легко менять его конфигурацию. Для упрощения перехода от одной решаемой задачи к другой может быть реализовано несколько сменных оптических блоков.

В качестве приёмников излучения используются высокочувствительные быстродействующие (длительность переднего фронта импульса 0,58 нс) ФЭУ H10721-20 Hamamatsu (Япония). Трансимпедансные усилители осуществляют согласование импеданса ФЭУ с входным импедансом дигитайзеров и усиливают сигналы. Используются усилители C5594 Hamamatsu с полосой пропускания 1,5 ГГц.

Излучатель лазера и приёмный объектив размещены на наклонно-поворотной платформе, позволяющей осуществлять сканирование луча по исследуемой поверхности. Платформа приводится в движение шаговыми двигателями, угловое положение измеряется инкрементальными энкодерами. Видеокамера позволяет визуально контролировать исследуемую поверхность.

Система регистрации сигналов и управления флуоресцентным лидаром была реализована с использованием платформы PXI, которая обладает достаточной гибкостью и позволяет легко устанавливать, заменять и использовать разные измерительные и управляющие устройства вместе в едином компактном исполнении.

Для управления и предварительной обработки сигналов использовался контроллер реального времени NI PXIe-8102 RT (США), для регистрации аналоговых сигналов — модули NI PXI-5124 и NI PXI-5154, для управления приводами — модуль NI PXI 7332. Модули были установлены в шасси NI PXI 1062Q. Дигитайзер NI PXI-5124 имеет 2 канала АЦП с максимальной частотой дискретизации 200 МГц, разрешением 12 бит и полосой пропускания 150 МГц. Дигитайзер NI PXI-5154 имеет 2 канала АЦП с максимальной частотой дискретизации 1 ГГц, разрешением 8 бит и полосой пропускания 1 ГГц. Данные дигитайзеры имеют встроенные фильтры для подавления алиасинга.

Дополнительную гибкость прототипу лидара придаёт сетевой интерфейс GigE (Gigabit Ethernet) для передачи данных между ПЭВМ и контроллером реального времени. Используемая видеокамера также имеет интерфейс GigE. Использование сетевого интерфейса GigE позволяет наращивать вычислительные возможности комплекса, объединяя в сеть дополнительные вычислительные устройства.

Фотографии компонентов разработанного прототипа флуоресцентного лидара представлены на рис. 2 (см. обложку).

Программное обеспечение флуоресцентного лидара разработано в среде графического программирования NI LabVIEW 2012, позволяющей быстро и высокоэффективно создавать гибкие, легко изменяемые приложения. Структура программного обеспечения представлена на рис. 3 (см. обложку).

Управление флуоресцентным лидаром, регистрация и предварительная обработка сигналов осуществляются подпрограммой, реализованной на контроллере NI PXIe-8102 RT, работающем в режиме реального времени. Общее управление, тематическая обработка сигналов, отображение и сохранение результатов осуществляются программным обеспечением, установленным на ПЭВМ, работающей под управлением операционной системы (ОС) Windows. Графический интерфейс пользователя также реализован в программном обеспечении, установленном на ПЭВМ. Передача реализаций принятого сигнала от контроллера реального времени к ПЭВМ осуществляется по интерфейсу GigE с использованием технологии сетевого потока Network Stream. Передача управляющих воздействий от ПЭВМ к контроллеру реального времени, а также передача в обратном направлении информации о состоянии систем флуоресцентного лидара осуществляются с использованием сетевых переменных коллективного пользования Network Published Shared Variables.

Данная архитектура программного обеспечения позволяет с высокой скоростью и без потерь регистрировать и обрабатывать большие объёмы реализаций флуоресцентных сигналов за счёт модуля, работающего в режиме реального времени. Использование в составе лидара ПЭВМ, работающей под управлением ОС Windows позволяет обеспечить дружественный пользовательский интерфейс и простое управление системами комплекса.

Разработанный прототип флуоресцентного лидара позволяет регистрировать флуоресцентные изображения исследуемой поверхности. При регистрации флуоресцентного изображения наклонно-поворотная платформа осуществляет построчное сканирование исследуемой зоны поверхности. АЦП запускается синхроимпульсом, вырабатываемым блоком электрооптического затвора лазера. После этого АЦП записывает реализации сигналов спектральных каналов

ao1115.indd 14 22.10.2015 13:46:58

требуемой длины. В момент прихода синхроимпульса регистрируется текущее угловое положение наклонно-поворотной платформы, которое привязывается к записанным реализациям сигналов.

При обработке результатов в реализации сигнала спектрального канала, соответствующего длине волны лазерного излучения, детектируется импульс излучения рассеянного от исследуемой поверхности, и измеряются его параметры. В реализациях сигналов флуоресцентных каналов детектирование импульса излучения осуществляется в области временных задержек, соответствующих положению импульса рассеянного излучения, что позволяет повысить вероятность правильного обнаружения и снизить вероятность ложных тревог.

Из полученных характеристик детектированных импульсов (амплитуд, временных задержек, длительностей) формируются двумерные поля, которые затем фильтруются и интерполируются для получения изображений, которые затем обрабатываются для извлечения целевой информации, соответствующей решаемой задаче.

Для натурных испытаний прототипа флуоресцентного лидара были проведены дистанционные измерения флуоресценции растительного покрова. Флуоресценция возбуждалась излучением с длиной волны 532 нм. Осуществлялась регистрация упруго рассеянного излучения на длине волны 532 нм и флуоресцентного излучения в диапазоне 672—800 нм. Дальность до исследуемой поверхности составляла 70 м. На рис. 4 (см. обложку) приведена фотография, на которой пунктиром выделена область зондируемой поверхности. На рис. 5 (см. обложку) представлены лидарные изображения, полученные для этой области. На рис. 5, *а* градациями серого цвета представлена относительная величина интенсивности флуоресценции, на рис. 5, *б* — относительная величина упруго рассеянного сигнала на длине волны лазерного излучения, на рис. 5, *в* — дальность до элемента зондируемой поверхности (светлые тона соответствуют большей дальности).

Изображение интенсивности излучения флуоресценции в сочетании с изображением интенсивности упруго рассеянного сигнала и дальностным портретом может быть использовано для выделения и классификации объектов подстилающей поверхности.

Разработанный прототип лидара позволил регистрировать излучение флуоресценции растительного покрова на дальностях до 200 м. Дальнейшее увеличение дальности возможно за счёт увеличения энергии импульса лазерного излучения и диаметра приёмного объектива.

Таким образом, представлен прототип многоцелевого флуоресцентного лидара. При разработке аппаратных средств и программного обеспечения лидара особое внимание уделялось его универсальности и возможности применения лидара для решения различных задач дистанционной флуоресцентной диагностики. Натурные испытания прототипа флуоресцентного лидара подтвердили его нормальное функционирование.

Библиографические ссылки

1. **Lennon M., Babichenko S.** Detection and mapping of oil slicks in the sea by combined use of hyperspectral imagery and laser induced fluorescence // EARSeL eProceedings. 2006. Vol. 5, N. 1. P. 120—128.

2. **Palmer S., Pelevin V., Goncharenko I., Kovács A., Zlinszky A., Présing M., Horváth H., Nicolás-Perea V., Balzter H., Tóth V.** Ultraviolet Fluorescence LiDAR (UFL) as a Measurement Tool for Water Quality Parameters in Turbid Lake Conditions // Remote Sens. 2013. Vol. 5, N. 9. P. 4405—4422.

3. **Chappelle E.W., Wood F.M., Mcmurtrey J.E., Newcomb W.W.** Laser-induced fluorescence of green plants for the remote detection of plant stress and species differentiation // Appl. Opt. 1984. Vol. 23, N. 1. P. 1—5.

4. **Mejean G., Kasparian J., Yu J., Frey S., Salmon E., Wolf J.-P.** Remote detection and identification of biological aerosols using a femtosecond terawatt lidar system // Appl. Phys. B Lasers Opt. 2004. Vol. 78, N. 5. P. 535—537.

5. **Weibring P., Johansson T., Edner H., Svanberg S., Sundnér B., Raimondi V., Cecchi G., Pantani L.** Fluorescence lidar imaging of historical monuments. // Appl. Opt. 2001. Vol. 40, N. 33. P. 6111—6120.

6. **Федотов Ю.В., Матросова О.А., Белов М.Л., Городничев В.А.** Метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в трёх узких спектральных диапазонах // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № . 3. С. 208—212.

7. **Белов М.Л., Булло О.А., Матросова О.А., Федотов Ю.В., Городничев В.А.** Лазерный флуоресцентный метод обнаружения у растений стрессовых состояний, вызванных механическими повреждениями // Инженерный журнал наука и инновации. 2012. Т. 12, № 12. С. 115—121.

УДК 629.7

М.Н. Правидло, д-р техн. наук (ОАО ГосМКБ "Вымпел" им. И.И. Торопова, г. Москва),
Л.В. Быков, канд. техн. наук, доц., **К.М. Тихонов,** канд. техн. наук, доц.,
Д.С. Янышев, канд. техн. наук (Московский авиационный институт)

bykov@mai.ru

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПИРОПРИВОДОВ

Сформулирована и решена задача математического моделирования газовой динамики в изменяющемся объёме пиропривода, источником энергии которого является пиропатрон. Предложена методика построения упрощённых инженерных моделей пироприводов с сосредоточенными параметрами на основе уравнений баланса энергии и массы, позволяющая оптимизировать затраты на проведение отладочных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: инженерная методика моделирования; пиропривод; газовая динамика; уравнения баланса энергии и массы.

Formulated and solved the mathematical modeling task of gas dynamics in a pirodrive changing volume with pyrocartridge as the power source. The construction methodology of the pirodrives simplified engineering models with lumped parameters on the basis of energy and mass balance equations, allowing to optimize the costs of debugging experimental studies realization, is proposed.

Key words: engineering simulation methodology; pirodrive; gas dynamics; balance equations of energy and mass.

В настоящее время с созданием новых образцов техники особое значение приобретает разработка эффективных и адекватных методик моделирования агрегатов и систем, работа которых связана с нестационарными газодинамическими процессами.

При этом достаточно часто эти процессы являются определяющими для формирования необходимых динамических параметров изделий.

Отсутствие адекватных методик моделирования нестационарных процессов газовой динамики вынуждает разработчиков расходовать значительные средства на их экспериментальную отработку по сравнению с ситуацией, когда основные параметры системы определяются заранее в результате расчёта.

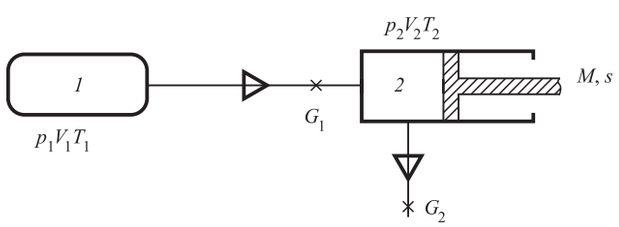


Рис. 1. Расчётная схема пиропривода:

p_1, p_2 — значения давления в полостях *1* и *2;* V_1, V_2 — величина объёмов полостей *1* и *2*; T_1, T_2 — значения температуры газа в полостях *1* и *2*; G_1, G_2 — значения расхода газа, истекающего из полостей *1* и *2* соответственно; M — приведённая масса груза; s — смещение штока

Показательным примером является построение математической модели динамики привода, источником энергии которого (газогенератором) является пиропатрон.

Для таких приводов была разработана методика составления замкнутых математических моделей с сосредоточенными параметрами и устранения неопределённостей этих моделей с помощью трёхмерного моделирования с использованием уравнений Навье-Стокса для газа и уравнений динамики твёрдого тела.

Общая постановка задачи. Рассмотрим пиропривод с присоединённой массой, устройство, которого схематично приведено на рис. 1.

Полость *1* является аккумулятором энергии системы. Данная энергия существует в виде внутренней энергии газа, находящегося в полости. Удельный объём газа определяется из условий сгорания пиропатрона.

Полость *2* — основная рабочая полость привода, в которой газ, расширяясь, передаёт энергию штоку. В полость *2* газ поступает из полости *1* с расходом G_1 и истекает из полости с расходом G_2.

В общем случае значение массы M переменно и зависит от кинематики механизма, к которому подсоединён привод.

Многомерное моделирование. Расчёты привода с помощью многомерной модели позволяют лучше понять физику происходящих вну-

три него процессов. При этом использование расчётных моделей позволяет существенно сэкономить на экспериментальной отработке устройства, сократив количество проводимых исследований.

Построение расчётной модели пироприводa заключается в описании физических процессов, происходящих в устройстве, с помощью системы уравнений, задания начальных и граничных условий для задачи и свойств материала, а также настроек численного метода решения уравнений.

Структура построения модели пироприводa может быть представлена следующим образом:

формулирование основных допущений, принимаемых в модели, а также принципов её функционирования;

построение геометрической модели;

построение сеточной модели;

построение расчётной модели.

С точки зрения физических условий работу пироприводa можно разделить на три последовательных режима:

первый режим продолжается от начала работы (воспламенение заряда топлива) до открытия отверстия, соединяющего камеру пироприводa и камеру сгорания. Этот режим характеризуется высоконестационарным процессом горения топлива и выходом горячих продуктов сгорания в полость передней камеры (камеры сгорания). Камеры пироприводa работают изолированно друг от друга и от атмосферы (не считая протечек между ними);

второй режим длится от момента открытия отверстия между двумя камерами и до открытия дренажных отверстий, соединяющих вторую камеру с атмосферой. Этот режим является основным по протяжённости и по назначению пироприводa. Именно в процессе этого режима происходит нарастание давления в камере и его дальнейшее понижение за счёт увеличения объёма рабочей полости камеры при движении штока пироприводa;

третий режим начинается от момента открытия дренажных отверстий в атмосферу и до момента полного спада давления и остановки штока пироприводa. Это завершающий этап работы устройства, и характеризуется он резким спадом давления и снижением скорости движения штока до момента его полной остановки.

Построение модели пироприводa происходило с учётом перечисленной выше декомпозиции, позволяющей упростить процесс его работы и свести непрерывный физический процесс газообразования и истечения газа, а также движения штока пироприводa к трём последовательным стадиям, каждая из которых использовала результаты предыдущей.

Данную задачу нельзя моделировать при помощи одной конфигурации сеточной модели в связи с тем, что газодинамический процесс происходит при непрерывном и значительном увеличении геометрической (расчётной) области. Следовательно, при построении модели и проведении расчёта необходимо решать "задачу с динамической сеткой", т.е. сеткой, деформирующейся и перестраиваемой в ходе расчёта.

Допущения, принятые в ходе моделирования работы пироприводa:

течение в полости пироприводa является осесимметричным по своей структуре;

течение является адиабатным — теплообмена со стенками пироприводa и с окружающей средой не происходит;

рабочим телом (продуктами сгорания) является идеальный сжимаемый газ с переменными свойствами переноса;

при расчёте теплообмена в продуктах сгорания пренебрегают переносом тепла за счёт переизлучения в потоке;

моделирование динамики штока пироприводa происходит на основе уравнения динамики для материальной точки — пренебрегают распределением массы по объёму штока пироприводa;

движение штока пироприводa происходит только по одной координате (вдоль оси пироприводa);

моделирование динамики штока пироприводa происходит без учёта сил жёсткости и демпфирования;

протечками между двумя камерами пироприводa на начальном этапе работы и между камерой и атмосферой через кольцевой зазор в конце работы пироприводa (после открытия выпускных отверстий) пренебрегают;

влияние массовых сил на работу пироприводa не учитывается.

Таким образом, задача моделирования работы пироприводa представляет собой решение трёхмерной нестационарной сопряжённой задачи газовой динамики и динамики твёрдого тела с динамической конечно-объёмной расчётной сеткой, перестраиваемой в процессе решения.

Подробное описание построения геометрической и сеточной моделей приведено в работе [1]. Здесь же отметим, что в ходе построе-

ния данных моделей используется свойство об осесимметричности течения.

Расчётная модель пироприводa основана на системе уравнений математической модели, описывающей течение продуктов сгорания и движение штока пироприводa под их действием. В систему дифференциальных уравнений моделируемых физических процессов входят [2] (обозначения — тензорные) уравнения:

неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j\right) = 0; \qquad (1)$$

сохранения количества движения:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho u_i\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_i u_j + \delta_{ij} p - \tau_{ij}\right) = 0;$$
$$\tau_{ij} = \left(\mu + \mu_t\right)\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\frac{\partial u_k}{\partial x_k}\right); \qquad (2)$$

сохранения энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho h\right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \times$$
$$\times\left(\rho u_j h + \delta_{ij} p - \lambda\frac{\partial T}{\partial x_j} - \frac{\mu_t}{Pr_t}\frac{\partial h}{\partial x_j} - \tau_{ij} u_i\right) = 0. \qquad (3)$$

Модель турбулентности. В качестве модели турбулентности использовалась модель *SST* Ментера [3].

Уравнение состояния:

$$p = \rho R T\,. \qquad (4)$$

Уравнение динамики абсолютно твёрдого тела:

$$Q_{\text{пр}} - M_{\text{пр}}\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = 0\,, \qquad (5)$$

где $Q_{\text{пр}}$ — обобщённая сила, действующая на привод; $M_{\text{пр}}$ — приведённая масса, присоединённая к приводу (с учётом кинематических связей в системе); s — смещение штока пироприводa.

Модель горения пиропатрона. При исследовании использовался известный для конкретного пиропатрона вид зависимости для скорости сгорания пороха от давления.

Уравнения (1)—(5) сформулированы с учётом допущений, представленных выше. Кроме того, следует отметить, что система дифференциальных уравнений составлена в трёхмерной нестационарной постановке, что позволяет наиболее полно учесть неравномерности, проявляющиеся в ходе истечения продуктов сгорания, а также учесть постепенное открытие отверстия, соединяющего камеру сгорания с камерой пироприводa (с учётом допущений, указанных выше).

Для более адекватной постановки задачи использовалась формула вязкости Сазерленда [4]:

$$\mu = \mu_{ref}\left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^{3/2}\frac{T_{ref} + S}{T + S}, \qquad (6)$$

где T_{ref} — температура, при которой задана вязкость μ_{ref}; S — константа Сазерленда.

Проведённый авторами анализ показал, что неучёт зависимости вязкости газа от температуры может привести к достаточно существенным погрешностям в расчёте. В частности, было обнаружено расхождение с данными эксперимента порядка 50 % для случая, когда теплофизические свойства рабочего тела внутри пироприводa полагались независящими от температуры.

Результаты проведённого трёхмерного моделирования показали хорошую сходимость с результатами экспериментальных исследований. Результаты расчётов на одном из режимов работы представлены на рис. 2 и 3.

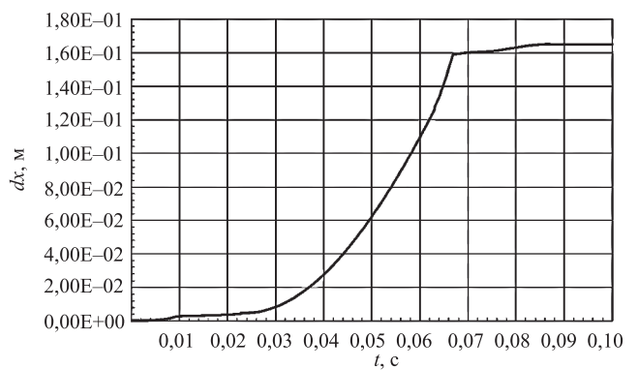


Рис. 2. Изменение координаты штока пироприводa во времени

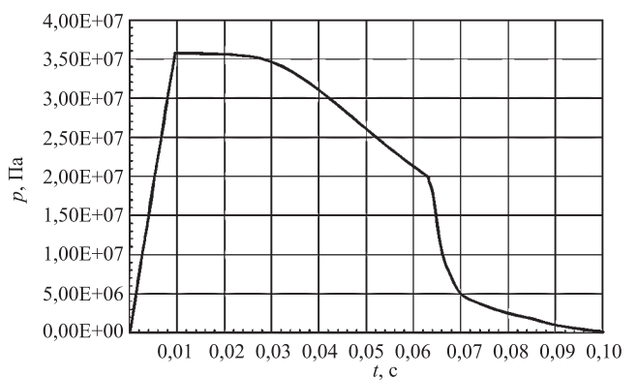


Рис. 3. Изменение среднего давления в пироприводе во времени

Модель расчёта динамики пироприводa с сосредоточенными параметрами. Несмотря на полученные положительные результаты, построенная модель оказалась не вполне практичной для проведения всего объёма расчётов, требуемых при проектировании конкретного рабочего привода под конкретную задачу. Основная причина — слишком медленная скорость выполнения расчёта, которая не может быть увеличена по понятным причинам, связанным с аппаратными ограничениями современных ЭВМ. В среднем время, необходимое для проведения расчёта одного режима работы привода, составило от 24 до 30 ч.

В связи с этим появилась необходимость в разработке модели динамики привода с сосредоточенными параметрами.

Как и в любой модели с сосредоточенными параметрами, построенная модель привода не в состоянии учесть эффекты, возникающие вследствие неравномерного распределения параметров. В частности, в построенной модели можно назвать три таких особенности:

коэффициенты расхода η_1 и η_2 зависят от профиля скорости;

по причине струйного характера течения между полостями давление во второй полости привода распределяется неравномерно;

утечка газа из полости *2* за счёт зазоров существенно влияет на динамику привода. Однако оценка величины зазоров в конструкции может содержать существенную неточность.

При этом для устранения влияния указанных эффектов, возникших при построении данной модели, использовались данные, полученные при трёхмерном моделировании.

Из соображений универсализации создаваемой модели расчётная схема привода была несколько усложнена: чтобы добавить в рассмотрение случай, когда в пироприводе присутствуют два независимых пиропатрона.

Уточнённая расчётная схема пироприводa изображена на рис. 4.

Полость *1* является в данном случае аккумулятором энергии системы, которая существует в виде внутренней энергии газа, находящегося в данной полости. Газ в полости образуется за счёт сгорания первого пиропатрона. Полагается, что процесс сгорания в полости *1* либо произошёл заранее, либо происходит за время, пренебрежимо малое по сравнению со временем работы системы.

Полость *2* — основная рабочая полость привода, в которой газ, расширяясь, передаёт свою энергию штоку.

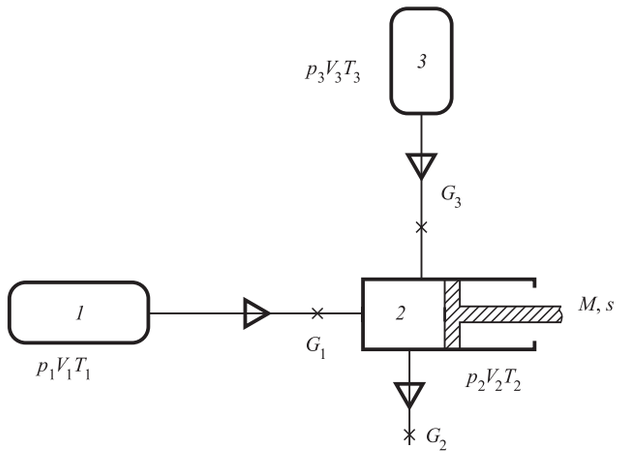


Рис. 4. Уточнённая расчётная схема пироприводa:
p_1, p_2, p_3 — значения давления в полостях *1*, *2*, *3*; V_1, V_2, V_3 — величина объёмов полостей *1*, *2*, *3*; T_1, T_2, T_3 — значения температуры газа в полостях *1*, *2*, *3*; G_1, G_2, G_3 — значения расхода газа, истекающего из полостей *1*, *2* и *3* соответственно; M — приведённая масса груза; s — смещение штока

Полость *3* — дополнительная полость, включённая в схему для возможности нагнетания в основную рабочую полость дополнительного количества газа (схема с двумя пиропатронами). Предположения относительно скорости горения в данной полости аналогичны с полостью *1*. При этом в построенной модели заложена возможность исключения данной полости из расчёта.

В полость *2* газ поступает из полости *1* с расходом G_1, из полости *3* — с расходом G_3 и истекает из неё с расходом G_2.

Расход G_1 определяется перепадом давления между полостями *1* и *2*:

$$G_1 = A_1\eta_1 f(p_1, p_2), \qquad (7)$$

расход G_2 — перепадом давления между полостью *2* и атмосферой:

$$G_2 = A_2\eta_2 f(p_2, p_a), \qquad (8)$$

а расход G_3 — перепадом давления между полостями *3* и *2*:

$$G_3 = \Phi(t - t_{ch}) A_3\eta_3 f(p_2, p_3), \qquad (9)$$

где Ф — функция Хэвисайда; t_{ch} — время инициации второго заряда; A — площадь проходного сечения; η — коэффициент расхода; $f(p_1, p_2)$ — газодинамическая функция.

В свою очередь

$$f(p_1,p_2)=\begin{cases} p_1\sqrt{\dfrac{2k}{k-1}\dfrac{1}{RT_1}\left(\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right)} \\ \text{при } \dfrac{p_2}{p_1}>\beta_{cr}, \\ p_1\left(\dfrac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}\sqrt{\dfrac{2k}{k+1}\dfrac{1}{RT_1}} \\ \text{при } \dfrac{p_2}{p_1}\leqslant\beta_{cr}. \end{cases} \quad (10)$$

Коэффициенты расхода определяются по справочнику [6] в зависимости от числа Рейнольдса с учётом данных, полученных при трёхмерном моделировании привода.

В свою очередь число Рейнольдса вычисляется по соответствующим гидравлическим диаметрам. При этом вязкость газа, перетекающего из полости в полость, вычисляется по формуле Сазерленда в зависимости от температуры (6).

Коэффициенты расхода в соответствии с данными [6] были приняты:

для G_1:

$$\eta_1=\begin{cases} \sqrt{a^2+0,463}-a, & \mathrm{Re}\leqslant 100; \\ \sqrt{b^2+0,588}-b, & 100<\mathrm{Re}\leqslant 3000; \\ \dfrac{1}{\sqrt{1,5+\dfrac{0,336}{\mathrm{Re}^{0,25}}\dfrac{l_{diaf}}{d_{diaf}}}}, & 3000<\mathrm{Re}\leqslant 10^5; \\ \dfrac{1}{\sqrt{1,5-0,5\left(\dfrac{D_1}{d_{diaf}}\right)^2}}, & \mathrm{Re}>10^5, \end{cases} \quad (11)$$

где $a=\dfrac{14,8}{\mathrm{Re}}\dfrac{l_{diaf}}{d_{diaf}}+\dfrac{5,8}{\mathrm{Re}}$; $b=\dfrac{25}{\mathrm{Re}}\dfrac{l_{diaf}}{d_{diaf}}+\dfrac{7,4}{\mathrm{Re}}$; l_{diaf} — толщина диафрагмы, разделяющей полости *1* и *2*; d_{diaf} — диаметр отверстия диафрагмы; D_1 — диаметр полости *1*.

Для G_2 и G_3 трёхмерное моделирование показало, что оптимальными являются следующие значения:

$$\eta_2=\eta_3=0,8.$$

При вычислении расходов также учитывалось изменение площади проходных сечений в зависимости от движения штока (переход от первого режима работы пиропривода ко второму).

Уравнения, описывающие изменение давления и температуры в полостях привода, находятся из баланса энергии и массы.

Уравнение баланса массы для полости *1* запишется в виде:

$$\dot m_1=-G_1=\frac{d}{dt}(\rho_1V_1)= =V_1\frac{d}{dt}\left(\frac{p_1}{RT_1}\right)=\frac{p_1V_1}{RT_1}\left(\frac{\dot p_1}{p_1}-\frac{\dot T_1}{T_1}\right), \quad (12)$$

а для полости *2*:

$$\dot m_2=G_1+G_3-G_2=\frac{p_2V_2}{RT_2}\left(\frac{\dot p_2}{p_2}-\frac{\dot T_2}{T_2}+\frac{\dot V_2}{V_2}\right). \quad (13)$$

Приведённое изменение объёма полости *2*, учитывая геометрические особенности, приближённо определяется:

$$\frac{\dot V_2}{V_2}\approx\frac{\dot x}{x}. \quad (14)$$

Здесь и далее верхними точками обозначено дифференцирование по времени.

Из уравнений (12) и (13) определяются значения давления в полостях *1* и *2*.

Баланс массы для полости *3* записывается по аналогии с уравнением для полости *1*:

$$\dot m_3=-G_3=\frac{p_3V_3}{RT_3}\left(\frac{\dot p_3}{p_3}-\frac{\dot T_3}{T_3}\right). \quad (15)$$

Для определения температуры в данных полостях записываются соответствующие уравнения энергии, которые можно получить методом интегрирования трёхмерного уравнения энергии по объёмам полостей *1*, *2* и *3* с использованием теоремы Остроградского—Гаусса.

Запишем обобщённое уравнение энергии (обозначения — тензорные) [2]:

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u_jE)}{\partial x_j}=-\frac{\partial}{\partial x_j}(q_j+u_jp), \quad (16)$$

где $E=e+\dfrac{u^2}{2}$ — полная внутренняя энергия газа.

Учитывая, что $E+\dfrac{p}{\rho}=H=h+\dfrac{u^2}{2}$ — полная энтальпия и считая, что внешние тепло-

притоки к полостям *1* и *2* малы, запишем следующие уравнения.

Для полости *1*:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int\limits_{V_1}\rho E_1 dV + \int\limits_{V_1}\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j H_1\right)dV = 0. \quad (17)$$

Используя теорему Остроградского—Гаусса, преобразуем конвективный поток в уравнении (17):

$$\frac{\partial}{\partial t}\int\limits_{V_1}\rho E dV + \int\limits_{S_1}\left(\rho u_j H\right)dS_j = 0. \quad (18)$$

Единственный отток массы из полости *1* осуществляется через отверстие, соединяющее её с полостью *2*.

Тогда интеграл по поверхности можно записать в виде:

$$\int\limits_{S_1}\left(\rho u_j H\right)dS_j = G_1 H_1^{out}. \quad (19)$$

Поскольку оттоки тепла из полости малы, то $H_1^{out} = H_1$.

При этом скоростью газа внутри полости пренебрегаем, т.е. $H_1 = h_1$, $E_1 = e_1$.

В результате

$$\frac{p_1 V_1}{RT_1}\dot{e}_1 - G_1 e_1 = -G_1 h_1. \quad (20)$$

В термодинамике внутренняя энергия и энтальпия идеального газа определяются как $e = c_v T$, $h = c_p T$.

В результате после преобразований получим:

$$\dot{T}_1 = RG_1\frac{(1-k)}{p_1 V_1}T_1^2, \quad (21)$$

где $k = c_p/c_v$ — показатель адиабаты.

Для полостей *2* и *3* могут быть получены аналогичные уравнения:

$$\dot{T}_2 = \frac{kRT_2}{p_2 V_2}\times \times\left(G_1\left(T_1 - \frac{T_2}{k}\right) - G_2 T_2\left(\frac{1}{k}-1\right) + G_3\left(T_3 - \frac{T_2}{k}\right)\right); \quad (22)$$

$$\dot{T}_3 = RG_3\frac{(1-k)}{p_3 V_3}T_3^2. \quad (23)$$

Уравнение динамики штока соответствует уравнению (5), которое можно представить в виде:

$$\ddot{s} = \frac{\Phi\left(l_{\max} - s(t)\right)\left[\psi A_r\left(p_2 - p_a\right) - n_g g M - F_{fr}\right]}{M\left(\left(\frac{dy_{cm}}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dx_{cm}}{ds}\right)^2\right)}, \quad (24)$$

где Ф — функция Хэвисайда, моделирующая геометрические ограничения хода штока; $l_{\max}$ — максимально возможный ход штока; A_r — площадь штока; p_2 — давление в основной камере пиропривода; p_a — атмосферное давление; ψ — коэффициент, ввёденный по результатам трёхмерного моделирования и отражающий неравномерность распределения давления в полости; M — реальная масса груза, присоединённого к приводу через некоторый механизм; g — ускорение свободного падения; n_g — коэффициент перегрузки; F_{fr} — сила трения.

Множитель $\left(\left(\frac{dy_{cm}}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dx_{cm}}{ds}\right)^2\right)$ в знаменателе формулы (24) возникает из-за необходимости учёта кинематики механизма, через который к приводу присоединяется груз (моментом инерции груза в данном случае пренебрегают), а x_{cm} и y_{cm} — координаты центра масс присоединённого к приводу груза.

Связь между перемещением центра масс груза и перемещением штока может быть достаточно сложной. В нашем случае для упрощения вычислений использовался следующий метод вычислений производных $\frac{dx_{cm}}{ds}$ и $\frac{dy_{cm}}{ds}$: зависимости $x_{cm}(s)$ и $y_{cm}(s)$ строились в явном виде или в виде графика. После этого данные зависимости аппроксимировались с помощью кубических сплайн-функций, а дифференцирование сплайн-функций может быть легко запрограммировано.

Использование сплайн-функций имеет существенные практические преимущества как перед аналитическим, так и перед конечно-разностным дифференцированием зависимостей $x_{cm}(s)$ и $y_{cm}(s)$. Преимущество перед аналитическим дифференцированием заключается в том, что вывод аналитических выражений для производных часто оказывается слишком громоздок. Преимущество же перед конечно-разностным методом дифференцирования очевидно и заключается в том, что при дифференцировании с помощью сплайнов результат получается в виде гладкой функции без численных "выбросов". При конечно-раз-

ao1115.indd 21 22.10.2015 13:46:59

ностном дифференцировании результат, как известно, получается в виде набора точек и может содержать значительную погрешность.

Окончательно модель работы пиропривода включает в себя уравнения (12), (13), (15), (21)—(24).

Библиографические ссылки

1. **Быков Л.В., Правидло М.Н., Тихонов К.М., Холодов П.А.** Моделирование газовой динамики при срабатывании пиропривода катапультного устройства // Тепловые процессы в технике 2014. Т. 6. № 4. С. 146—156.

2. **Седов Л.И.** Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970. Т. 1. 492 с.

3. **Menter F.R.** Zonal two equation k-ω turbulence models for aerodynamic flows // AIAA Paper. 1993. № 93—2906. 21 p.

4. **Sutherland W.** (1893). The viscosity of gases and molecular force, Philosophical Magazine, S. 5, 36. P. 507—531 (1893).

5. **Янышев Д.С.** Применение функции Ламберта в теории турбулентного трения // Электронный журнал "Труды МАИ". Выпуск № 50. 10 с.

6. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям [под ред. М.О. Штейнберга]. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

УДК 004.925.83

В.Д. Фроловский, д-р техн. наук, проф., **В.В. Ландовский,** канд. техн. наук, доц., **И.Е. Ландовская**
(Новосибирский государственный технический университет),
Т.О. Бунькова
(Новосибирский технологический институт)

frolovskij@corp.nstu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЧАСТИЦ

Предложено совместить экспериментальные исследования деформационных свойств тканых материалов на конкретной измерительной аппаратуре с математическим моделированием ткани. Рассмотрена технология измерения коэффициентов дифференциальных уравнений, отражающих деформационные свойства тканых материалов при компьютерной сборке изделий на поверхности сложного геометрического объекта, изложена технология вычислительных преобразований полученных коэффициентов для автоматизации моделирования технологий сборки изделий, показаны результаты экспериментов, подтверждающие эффективность данного подхода.

Ключевые слова: моделирование ткани; исследование деформационных свойств тканых материалов; метод частиц.

It is proposed to combine the experimental study of woven fabric deformation properties on a particular measuring equipment with fabric mathematical modeling.The measuring technology of the differential equations coefficients that reflect the deformation properties of woven fabrics at a computer assembly products on the surface of a complex geometric object is considered, computing transformation technology of the obtained coefficients for the modelling automation of the products assembly technology is stated, the experiment results confirming this approach efficiency are shown.

Key words: fabric simulation; study of the woven fabrics deformation properties; particle method.

Введение. Разработка интерактивных моделей виртуальной реальности имеет большое практическое значение для многих областей производства. Это направление является одним из самых перспективных и популярных в современной науке. Моделирование виртуальной реальности используется в виртуальном проектировании, визуализации сложных трёхмерных объектов и анимации технологических процессов. Одной из подзадач задачи моделирования виртуальной реальности является моделирование сложных трёхмерных

поверхностей, например, тканых материалов, кожи и других листовых материалов. Компьютерное моделирование тканых материалов может широко применяться в современных технологиях автоматизации проектирования различных изделий (моделирование новых фасонов одежды, ортопедических конструкций, эргономичной мебели, кресел автомобилей и пр.). Если моделирование будет достаточно точным, то можно миновать этап создания пробных вариантов и заранее исправить все несоответствия предлагаемого проектного решения для конкретной задачи.

Работы в направлении компьютерного моделирования ткани ведутся многими учеными как в нашей стране, так и за рубежом [1]. Однако большинство авторов уделяют основное внимание методам моделирования и в меньшей степени обращают внимание на методы измерения и анализ коэффициентов дифференциальных уравнений, от которых и зависят механические свойства моделируемой ткани (растяжение, изгиб и т.п.). Многими исследователями, особенно зарубежными, используется метод получения деформационных коэффициентов ткани, основанный на системе Kawabata [2], но для большинства российских учёных эта система является недоступной, и, как следствие, разработки в области моделирования ткани в нашей стране ведутся недостаточно интенсивно. В статье предложен альтернативный метод получения коэффициентов дифференциальных уравнений для моделирования тканых материалов на отечественном оборудовании.

Моделирование ткани. Ткань — один из древнейших и наиболее распространённых видов текстильных материалов. Она представляет собой пространственную сетку, образованную переплетением в определённой последовательности двух взаимно перпендикулярных систем нитей [3]. Нити, идущие вдоль полотна, называются основой, нити, расположенные поперек полотна, называются утком.

Основная идея компьютерного моделирования ткани заключается в том, чтобы рассматривать полотно как систему взаимодействующих частиц (узлов), которые размещены в точках пересечения продольных и поперечных нитей ткани (рис. 1) [1].

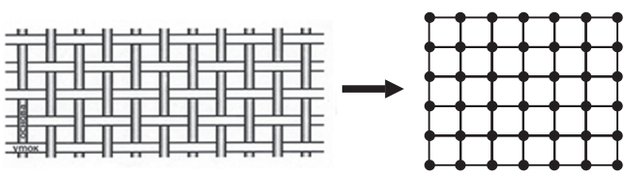


Рис. 1. Дискретная модель ткани

Движение системы описывается обобщёнными перемещениями в трёхмерном пространстве:

$$r_i(t) = \{x_i(t), y_i(t), z_i(t)\}.$$

На каждом временном слое ищут положения узлов в пространстве [4]. Каждая из частиц обладает некоторой массой, находится в гравитационном поле, взаимодействует с окружающей средой и соседними частицами. Тогда уравнение движения частицы P_i имеет следующий вид:

$$m_i r_i'' = m_i g - c_i r_i' + \sum_{j \in R_i} F_{\text{int}}(r_i, r_j),$$

где m_i — масса частицы; c_i — константа демпфирования; $c_i r_i'$ — составляющая, которая представляет собой потери энергии, связанные с взаимодействием частицы с окружающей средой; g — ускорение свободного падения; последняя составляющая уравнения движения представляет собой результирующую силу взаимодействий между частицами; R_i — множество индексов узлов, связанных с P_i.

Обозначим действие внутренних и внешних сил на ткань $F(r, r')$, разрешив уравнение относительно r'', получим полную систему дифференциальных уравнений $r'' = M^{-1}F(r, r')$ с начальными условиями: $r\big|_{t_0} = r_0$, $r'\big|_{t_0} = 0$. Введем обозначение: $\nu = r'$. Запишем систему уравнений следующим образом:

$$r' = \nu,$$
$$\nu' = M^{-1}F(r, \nu).$$

В силу того, что количество частиц, как правило, велико и каждое дополнительное вычисление силы требует больших временных затрат, для решения системы воспользуемся схемой с перешагиванием:

$$\nu_{n+1} = \nu_n + hM^{-1}F(r_n, \nu_n),$$
$$r_{n+1} = r_n + h\nu_{n+1}.$$

Это метод второго порядка точности и в сравнении с классическим явным методом Эйлера обладает большей устойчивостью,

позволяя на порядок увеличить шаг интегрирования [5].

Деформационные свойства ткани. Основные взаимодействия, которые происходят на уровне нити, это растяжение—сжатие, изгиб и сдвиг. Взаимодействие отталкивания (растяжение) вводится для обеспечения условия, что имеется минимальное расстояние между частицами, предотвращающее самопересечение ткани, сжатие соединяет каждую частицу с её четырьмя соседями и представляет собой силу натяжения нити. Взаимодействия изгиба обусловлены изгибом нитей относительно плоскости окружающей ткани. Сдвиг представляет собой деформацию ячейки сети.

Учитывая, что ткань достаточна легкая и масса ткани в удалённых узлах оказывает пренебрежимо малое влияние на каждую рассматриваемую частицу, предположим, что на каждую внутреннюю частицу влияют 12 соседних частиц. На рис. 2—4 (см. обложку) взаимодействия растяжения—сжатия, сдвига и изгиба обозначены связями 1, 2 и 3 соответственно.

Введём обозначения: $F_{s,\ ij}$ — сила взаимодействия растяжения—сжатия, с которой частица P_j воздействует на частицу P_i, $F_{t,ij}$, $F_{b,ij}$ — силы взаимодействий сдвига и изгиба соответственно. Рассмотрим подробнее каждый тип взаимодействий и определим силы, с которыми частицы воздействуют друг на друга.

Взаимодействие растяжения—сжатия имеет место, когда расстояние между двумя соседними частицами (см. рис. 2, связи 1) отличается от расстояния между ними в состоянии покоя.

В случае растяжения—сжатия направление сил очевидно, так как во взаимодействии учитываются положения только двух частиц. Значение силы между соседними частицами P_i и P_j определяется исходя из диаграммы "нагрузка — удлинение" для конкретного материала. При этом кривые удлинения строятся отдельно для нитей основы и нитей утка (рис. 6, см. обложку).

Взаимодействие сдвига (см. рис. 3, связи 2) можно выразить несколькими способами: как функцию угла между смежными сторонами деформированной ячейки или как взаимодействие растяжения—сжатия частиц, образующих диагональ ячейки. Второй способ является более простым в плане вычислительных затрат, так как не требует вычисления проекций вектора, лежащего в плоскости сдвига и перпендикулярного прямым, содержащим соответствующие отрезки.

Значение силы между соседними частицами P_i и P_j, образующими диагональ ячейки, как и в случае растяжения—сжатия, будем определять исходя из диаграммы "нагрузка — удлинение" для конкретного материала (рис. 6, см. обложку). Последний вид взаимодействия — взаимодействие изгиба (рис. 4, связи 3) можно выразить как функцию уже другого угла, образованного тремя последовательными частицами, лежащими на одной прямой (нити).

Значение силы между частицами P_i и P_j, расположенными через узел друг от друга, будем определять, используя для расчётов условное значение жёсткости, получаемое для проб продольного и поперечного направления отдельно.

В итоге на частицу будут влиять три вида сил: силы, действующие на узел по прямой, по косой (определяющие сдвиг) и через узел (определяющие изгиб). Результирующую силу по каждому виду взаимодействий, действующую на частицу P_i, определим как сумму конкретного вида сил:

$$F_{s,i} = \sum_{j \in R_{s,i}} F_{s,ij};\ \ F_{t,i} = \sum_{j \in R_{t,i}} F_{t,ij};$$

$$F_{b,i} = \sum_{j \in R_{b,i}} F_{b,ij},$$

где $R_{s,\ i}$; $R_{t,\ i}$; $R_{b,\ i}$ — множество индексов частиц, связанных с частицей P_i взаимодействиями растяжения—сжатия, сдвига и изгиба соответственно, а R_i — множество индексов всех частиц, взаимодействующих с частицей P_i.

Итак, на частицу, расположенную, как показано на рис. 2—4, действуют 12 внутренних сил (12 вкладов от 12 "соседних" частиц) [6]. Если бы частица была угловой, то на неё действовало всего 5 сил и т.д. $F_{int,\ i}$ — внутренняя сила, которая является суммарным результатом всех внутренних сил, действующих на частицу:

$$F_{int,i} = \sum_{j \in R_{s,i}} F_{s,ij} + \sum_{j \in R_{t,i}} F_{t,ij} +$$

$$+ \sum_{j \in R_{b,i}} F_{b,ij} = \sum_{j \in R_i} F_{int,ij},$$

где $R_{s,i}$; $R_{t,i}$; $R_{b,\ i}$ — множество индексов частиц, связанных с частицей P_i взаимодействиями растяжения—сжатия, сдвига и изгиба соответственно; R_i — множество индексов всех частиц, взаимодействующих с частицей P_i.

Учитывая, что движение осуществляется в трёхмерном пространстве, запишем выражения для проекций сил на оси координат:

$$F_{ij,x} = F_{ij} \frac{(x_j - x_i)}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}};$$

$$F_{ij,y} = F_{ij} \frac{(y_j - y_i)}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}};$$

$$F_{ij,z} = F_{ij} \frac{(z_j - z_i)}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}},$$

где F_{ji} — результирующая сила любого из видов, перечисленных ранее взаимодействий.

Следует отметить, что для получения реалистичных результатов сборки, сетка ткани должна быть равномерной и иметь квадратную форму ячейки, чтобы действующие силы, возникающие в моделируемом изделии, были приближены по модулю и направлению к силам, возникающим в реальном материале при его деформациях. Кроме того, если готовое изделие должно состоять из нескольких частей, то чтобы в местах стыка деталей не образовывались разрывы, следует использовать соединительные швы "дополняющей" формы с равномерной квадратной сеткой. Коэффициенты дифференциальных уравнений для швов определяют таким же образом, как и для ткани.

Получение экспериментальных данных. Для исключения избыточных расчётов введём некоторые упрощения. Так как конечным этапом моделирования является получение внешнего вида готового изделия, то условимся считать, что все деформации, возникающие в ткани, имеют только упругую составляющую. Кроме того, это позволит упростить процесс расчётов столкновений частиц моделируемого материала с объектом, на поверхности которого производится сборка, и даст возможность значительно увеличить шаг интегрирования.

Описанные ниже экспериментальные исследования были проведены на базе Новосибирского технологического института филиала Московского государственного университета дизайна и технологии.

Характеристики растяжения—сжатия и сдвига. Испытания материалов для получения характеристик деформации растяжения—сжатия и сдвига проводят на разрывной машине РТ-250 и её модификациях (рис. 5, см. обложку).

Элементарная проба материала, закреплённая в верхнем и нижнем зажимах машины, деформируется при равномерном опускании нижнего зажима. Усилие, испытываемое элементарной пробой при растяжении, измеряется маятниковым силоизмерителем [3]. Абсолютное удлинение пробы измеряется по шкале удлинения. Показатели снимают до разрыва пробы. Испытания проводят стрип-методом, подготовка и проведение эксперимента соответствуют ГОСТ 3813—72. Для получения характеристик растяжения—сжатия материала отдельно проводят испытания образцов вдоль нити основы и вдоль нити утка. Для получения характеристик сдвига материала образец растягивают под углом 45° относительно нити основы. После испытания на основе полученных данных строится диаграмма "нагрузка — удлинение" (рис. 6, см. обложку).

Для получения значений сил растяжения или сдвига, возникающих между соседними частицами P_i и P_j, при вычислениях в программе достаточно рассчитать процентное соотношение расстояния между частицами на данном шаге интегрирования и расстояния в положении равновесия.

Так как приняли, что учитываем только упругие деформации, то значение силы сжатия равно значению силы растяжения и противоположно по направлению. Поскольку в программу моделирования вводят дискретные значения зависимости нагрузки от удлинения, то перед началом моделирования следует произвести интерполяцию коэффициентов кубическими сплайнами.

Характеристики изгиба. Испытания материалов для получения характеристик изгиба проводят по методу консоли на приборе ПТ-2 (рис. 7, см. обложку).

Подготовку и проведение испытания проводят согласно ГОСТ 10550—93. Для получения характеристик изгиба материала проводят отдельно испытания образцов вдоль нити основы и вдоль нити утка. При проведеннии данного исследования используют электронные весы высокой точности (рис. 8, см. обложку) для определения массы проб. Значение массы также используется для определения поверхностной плотности материала, которая вводится в программу до начала процесса моделирования.

После проведения испытания получаем условное значение жёсткости EI ($Н \cdot м^2$) для проб продольного и поперечного направления. Так как для вычислений в программе требуется знать силу, действующую на частицу

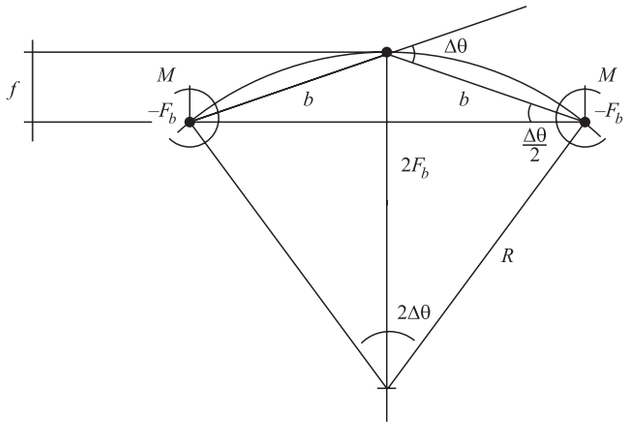


Рис. 9. Деформация изгиба

со стороны соседних частиц, то попробуем определить зависимость возникающей силы от условного значения жёсткости материала *EI*.

Когда два последовательных ребра вследствие деформации становятся неколлинеарны, то возникает деформация изгиба (рис. 9).

Угол Δθ между двумя ребрами, как показано на рис. 9, является мерой кривизны [1]. Соотношение между изгибающим моментом *M*, который возникает в результате искривления, и силой изгиба F_b определяют соотношением:

$$M = F_b b. \qquad (1)$$

Используя теорию пластин, можно построить отношения между изгибающим моментом *M* и углом Δθ:

$$\frac{1}{R} = \frac{M\left(1-\nu^2\right)}{EI} = \frac{\Delta\theta}{b},$$

где *R* — радиус кривизны; *I* — момент инерции; *EI* — жёсткость при изгибе, полученная при исследовании проб; μ — значение коэффициента Пуассона для данного материала.

Второй момент инерции *I* можно выразить как

$$I = \frac{Ah^2}{12},$$

где *A* — площадь поперечного сечения; *h* — толщина материала.

Используя уравнение (1), можно получить необходимое выражение для вычисления силы изгиба через Δθ:

$$F_b = \frac{EI}{b^2\left(1-\nu^2\right)}\Delta\theta.$$

Результаты моделирования. На рис. 10 (см. обложку) представлены результаты моделирования падения хлопчатобумажной ткани для лоскутного шитья на кресло.

По представленным на рис. 10 изображениям можно заметить, что при компьютерном моделировании тканых материалов коэффициенты дифференциальных уравнений, отражающие деформационные свойства материала, оказывают достаточно сильное влияние на его поведение, а значит, и на итоговый вид изделия после сборки. Можно отметить, что от точности соответствия полученных коэффициентов деформационных свойств ткани реальным свойствам материала напрямую зависит достоверность получаемых результатов при моделировании.

Библиографические ссылки

1. **Breen D.E., House D.H.** Cloth Modeling and Animation / edited by D.H. House, D.E. Breen. A K Peters, Ltd. Natick, Massachusetts, 2000. 344 p.

2. **Kawabata S.** The Standardization and Analysis of Hand Evaluation, Textile Machinery Society of Japan. Osaka, Japan, 1980.

3. **Бузов Б.А.** Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учеб. для вузов / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова. М.: Издательский центр "Академия", 2004. 448 с.

4. **Ландовский В.В., Фроловский В.Д.** Исследование методов интегрирования дифференциальных уравнений в задаче моделирования поведения ткани на основе метода частиц // Сибирский журнал вычислительной математики. Т. 9. 2006. С. 287—298.

5. **Хокни Р., Иствуд Дж.** Численное моделирование методом частиц: пер. с англ. М.: Мир, 1987. 640 с.

6. **Фроловский В.Д.** Избранные задачи геометрического проектирования. Параметризация сложных поверхностей. Новосибирск: НГТУ, 2005. 165 с.

Уважаемые читатели!

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

УДК 66.004.942:[681.5.017:681.515.8]

О.В. Перерва, Ю.П. Ендовин, канд. техн. наук
(Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений, г. Москва)
Т.Н. Гартман, д-р техн. наук
(Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва)
lab-6@eos.su

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИМУЛЯТОРА ChemCAD

Разработан метод определения параметров классических ПИД-регуляторов с применением симулятора ChemCAD, отличительной особенностью которого являются минимальные трудозатраты и отсутствие ручного подбора начальных параметров. Метод проиллюстрирован на примере схемы регулирования расхода жидкости и каскадной схемы регулирования уровня жидкости в динамической ёмкости. Показано, что значения параметров ПИД-регуляторов, рассчитанные по предлагаемому методу, обеспечивают удовлетворительное регулирование процессов и достаточны для проведения оперативного анализа динамических моделей контуров управления химико-технологическими системами.

Ключевые слова: пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы; динамическое моделирование; химическая технология; автоматизация.

A method for determining the parameters of the classical PID-regulator through the use of simulator ChemCAD, a distinctive feature of which is the minimum of working hoursr and the lack of manual selection of initial parameters is developed. The method is illustrated by the example of the fluid flow adjustment scheme and the cascade scheme of the liquid level regulation in the dynamic capacity. It is shown that the values of PID-regulator parameters calculated by the proposed method, provides satisfactory processes regulation and quite enough for operational analysis of dynamic contour models for the control of the chemical-technological systems.

Key words: proportional-integral-differential regulators; dynamic simulation; chemical technology; automation.

Большинство процессов химической технологии представляют собой комплекс элементарных процессов фазовых переходов, тепло- и массопередачи, гидравлики и гидродинамики взаимодействующих фаз, сосредоточенных в отдельных единицах оборудования. Часто при разработке химической технологии ограничиваются расчётом этих отдельных технологических единиц, причём технологические потоки между ними, включая рецикловые, рассматриваются как стационарные, для установившегося технологического режима. Такой подход не позволяет выполнить адекватный анализ химико-технологической системы (ХТС), поскольку не учитывает переходные процессы между различными стационарными состояниями, а также процессы, протекающие при пуске и остановке производства.

В настоящее время, в силу развития компьютерной техники и технологии, при создании новых ХТС или при оптимизации существующих широко применяют пакеты моделирующих программ (ПМП). Практически в любом достаточно мощном ПМП возможно проведение моделирования как для стационарного состояния процесса, так и для расчёта поведения ХТС в динамическом режиме. Расчёт в динамическом режиме предусматривает возможность мгновенной оценки неравновесного состояния системы при изменении входящих условий (например, количества и состава входящих технологических потоков). Что наиболее ценно, в ходе выполнения динамических расчётов используют реальные параметры оборудования (габариты и объём аппаратов, площади поверхности контакта фаз и объём удерживания конденсированной фазы на массообменной поверхности, длину и объём системы трубопроводов), что позволяет проанализировать поведение реальной ХТС с помощью её численной модели. Большинство ХТС являются открытыми неравновесными системами с переменными входными условиями, требующими проведения динамического моделирования с использованием средств регулирования технологических параметров.

В промышленной практике наиболее распространено применение пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов (ПИД-регуляторов). Используют и другие способы регулирования, включая генетические алгоритмы, нейросети и регуляторы, построенные на нечёткой логике [1, 2], но ПИД-регуляторы остаются наиболее распространённым типом регуляторов. В состав стандартных ПМП обычно входит модуль расчёта классического ПИД-регулятора. Несмотря на то, что для некоторых специальных применений возможностей классического ПИД-регулятора не хватает, для большинства случаев на первоначальном этапе построения компьютерной модели ХТС и изучения её свойств вполне достаточно встроенных в ПМП средств.

Классический ПИД-регулятор описывается простым выражением:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)d(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}, \qquad (1)$$

где t — время; $u(t)$ — выходная величина регулятора как функция времени; $e(t)$ — сигнал рассогласования, или ошибка; K_p — коэффициент пропорциональности, или коэффициент усиления; T_i — постоянная интегрирования; T_d — постоянная дифференцирования.

Общепринятой формы записи для параметров классического ПИД-регулятора не существует. В разных источниках используют разные модификации уравнения (1), математически эквивалентные друг другу, но при этом численные значения параметров уравнения в различных его модификациях могут значительно отличаться друг от друга. Так, в ПМП ChemCAD [3] используется следующая модификация уравнения (1):

$$P_{out} = P_0 + \frac{100}{PB} error + \\ + \frac{100}{PB}\frac{1}{T_i}\int (error)d(t) + \frac{100}{PB} T_d \frac{d(error)}{dt}, \qquad (2)$$

где P_{out} — выходной сигнал регулятора, мА; P_0 — сигнал регулятора в условиях установившегося режима, мА; PB — зона пропорциональности, или предел пропорциональности (аббревиатура от Proportional Band); T_i — постоянная интегрирования, мин; T_d — постоянная дифференцирования, мин; $error$ — ошибка, определяемая как разница между текущим значением входного сигнала и значением входного сигнала в установившемся режиме, мА.

Самое сложное при использовании ПИД-регуляторов — правильно определить коэффициенты регулятора. Первая методика настройки ПИД-регулятора появилась в 1942 г. (методика Зиглера и Никольса [4]). Тем не менее вопрос настройки ПИД-регуляторов до сих пор остаётся актуальным и не имеет простого решения. Во многом это связано с тем, что часто практические реализации ПИД-регуляторов и методики их настройки не учитывают особенности сложных нелинейных объектов управления, когда "динамика системы управления неизвестна, регулируемые процессы нельзя считать независимыми, измерения сильно зашумлены, технологические процессы непрерывны" [1].

Существуют два основных подхода к определению первоначальных параметров ПИД-регулятора. В первом случае составляется математическая модель регулируемого объекта и на основании её свойств определяются параметры регулятора. Во втором случае параметры определяются по упрощённым методам, к которым относится и метод Зиглера—Никольса в различных модификациях, и прочие аналогичные методы. После первоначального подбора параметров регулятора проводят оптимизацию найденных параметров. Это может быть сделано или вручную, или численными методами по самым разным критериям, определяемым особенностями регулируемого объекта.

Для сложных многоуровневых ХТС, включающих в себя большое количество контуров регулирования, в том числе каскадных, применение методик определения параметров регулятора, основанных на теоретическом анализе математической модели регулируемого объекта, пусть и точных, но трудоёмких, не представляется целесообразным для каждого ПИД-регулятора на первоначальном этапе моделирования. Также нецелесообразно решать вопросы оптимизации до того, как будет исследована модель в целом и определена значимость каждого контура регулирования в достижении целевых химико-технологических параметров рассматриваемой ХТС. Таким образом, на первоначальном этапе подготовки динамической модели ХТС наиболее актуальна задача быстрого предварительного определения параметров ПИД-регуляторов, обеспечивающих устойчивое функционирование создаваемой системы.

Упрощённые методики определения параметров ПИД-регулятора основаны на изучении поведения системы во времени при скачкообразном изменении входного параметра (изучение переходной характеристики объекта), или при установившихся незатухающих колебаниях параметра. Оба эти метода ограниченно

применимы для практического использования при численном моделировании ХТС средствами ПМП. Это связано с тем, что для получения переходных характеристик численными методами обычно требуется установка малого шага расчёта (не более 0,01 мин для быстропротекающих процессов, например, при моделировании расхода). Однако для изучения сложных ХТС, содержащих десятки единиц оборудования, в том числе массообменного, столь малый шаг расчёта приводит к значительным затратам времени для динамического моделирования различных состояний системы. В то же время параметры отдельных ПИД-регуляторов, определённые при одном шаге расчёта, могут привести к неустойчивому режиму работы при увеличении шага расчёта во время изучения ХТС в целом. Следует учитывать, что переходные характеристики объекта моделирования, полученные для разных диапазонов скачкообразного изменения входных параметров, могут заметно отличаться друг от друга.

Использование метода незатухающих колебаний для получения необходимых данных для определения параметров ПИД-регулятора также не всегда является оптимальным. Во-первых, не всякий объект регулирования допускает возникновение устойчивых незатухающих колебаний, а во-вторых, данная методика подразумевает поиск такой величины коэффициента пропорциональности (K_p), при которой эти колебания возникают. Причем, этот поиск чаще всего осуществляется методом ручного подбора [5], что требует больших затрат времени для ХТС, включающих в себя десятки контуров регулирования, в том числе каскадных.

Таким образом, классические методы определения параметров ПИД-регуляторов при численном моделировании требуют больших затрат времени и дают неоднозначные результаты, требующие дальнейшего уточнения при моделировании ХТС в целом.

Задачей данной работы является демонстрация возможностей пакета моделирующих программ ChemCAD для оперативного определения параметров ПИД-регуляторов на примере нескольких типичных задач.

В соответствии с рекомендациями по расчёту параметра *PB* [3] используем следующее уравнение:

$$PB = 100\frac{\Delta_{\text{рег}}}{\Delta_{\text{упр}}}, \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{рег}}$ — изменение регулируемой величины, мА; $\Delta_{\text{упр}}$ — изменение управляющего воздействия, мА.

Изменение параметра Δ и для регулируемой величины $\Delta_{\text{рег}}$, и для управляющего воздействия $\Delta_{\text{упр}}$, можно определить как

$$\Delta = \frac{(\max, \text{мА} - \min, \text{мА})}{(\max - \min)}(\text{сост 1} - \text{сост 2}), \quad (4)$$

где max, мА — максимально возможное значение выходного сигнала, мА; min, мА — минимально возможное значение выходного сигнала, мА; max — максимально возможное значение параметра, в текущих единицах измерения; min — минимально возможное значение параметра, в текущих единицах измерения; сост 1 — значение параметра в состоянии 1, в текущих единицах измерения; сост 2 — значение параметра в состоянии 2, в текущих единицах измерения.

Обычно в ПИД-регуляторах используется диапазон изменения выходного сигнала от 4 до 20 мА. В случае, когда и для регулируемой величины, и для управляющего воздействия используется одинаковый диапазон изменения выходного сигнала (в мА), для расчёта параметра *PB* его можно не учитывать.

Значения параметров в состоянии 1 и состоянии 2 (сост 1 и сост 2 в уравнении (4)) соответственно определяются как максимальное и минимальное значения регулируемой величины или управляющего воздействия, наблюдаемые при работе системы в колебательном режиме. Следует отметить, что данным методом определяют значение параметра *PB* для ПИД-регулятора. В случае, если используется ПИ-регулятор, полученное значение *PB* рекомендуется увеличить на 15...25 %.

Значение постоянных интегрирования и дифференцирования наиболее просто получить исходя из периода колебаний Δt параметров системы, работающей в колебательном режиме. Минимальное значение постоянной интегрирования T_i для ПИД-регулятора следует принять равным 80...90 % от значения Δt. Это же значение обеспечит удовлетворительную работу и для ПИ-регулятора. Максимальное значение постоянной дифференцирования T_d можно принять равным 10...20 % от значения T_i (в случае, если применяется ПИД-регулятор).

Определив описанным выше способом значения *PB*, T_i и T_d, можно при необходимости осуществить более точную подстройку параметров исходя из следующих эмпирических правил:

чем больше параметр *PB*, тем при большем диапазоне изменения входных значений ре-

гулятор позволяет осуществлять устойчивое регулирование, но при этом увеличивается время выхода на заданное значение (что становится существенным, например, при малых расходах, когда регулирующий клапан открыт менее чем на 30...40 %);

чем больше параметр T_i, тем выше устойчивость регулятора (что важно, например, при высоких расходах, соответствующих открытию регулирующего клапана на 70 % и более), но тем больше время выхода на установленное значение (что становится существенным, например, при малых расходах, когда регулирующий клапан открыт менее чем на 30...40 %);

избыточное повышение параметра T_d приводит к возникновению колебательного процесса;

для некоторых типов регулирующих клапанов существуют такие технологические режимы, при которых устойчивое регулирование невозможно ни при каких настройках (например, для равнопроцентного или для шарового клапана при открытии клапана менее чем на 10...15 %);

при увеличении шага расчёта значения параметров *PB*, T_i и T_d, полученные при меньшем значении шага, не обеспечат стабильного регулирования и, скорее всего, приведут к возникновению колебательного режима.

Продемонстрируем применение описанной выше методики определения параметров *PB*, T_i и T_d средствами ПМП ChemCAD на конкретных примерах.

Регулирование расхода. Рассмотрим систему (рис. 1), состоящую из регулирующего клапана 1 и контроллера расхода 2. Зададим для сенсора ПИД-регулятора расхода максимальное и минимальное измеряемое значение (15000 и 1000 кг/ч), значение уставки (9100 кг/ч, это же значение необходимо ввести для делителя потока 3), и необходимые параметры для клапана [3], обеспечивающие работу системы в заданных условиях (клапан примем равнопроцентным). Пределы изменения выходного сигнала (в мА) и для клапана, и для сенсора контроллера примем одинаковыми (от 4 до 20). Значение параметра P_0 (сигнал контроллера в стационарном режиме) и положение клапана в стационарном режиме можно определить, выполнив расчёт схемы в стационарном режиме.

Величину параметра *PB* укажем равной единице (допустимо использовать и другое значение, но в любом случае надо использовать малую величину, чтобы рассматриваемая схема работала заведомо в колебательном режиме).

После завершения расчёта в стационарном режиме переводим расчёт в динамический режим и задаём шаг расчёта (0,1 мин) и продолжительность расчёта, и изменяем значение уставки расхода, например, на 8000 кг/ч. В данном случае шаг расчёта, равный 0,1 мин, был бы слишком велик, если бы результаты расчёта планировалось использовать в небольшой технологической схеме. Однако, если итоговая моделируемая технологическая схе-

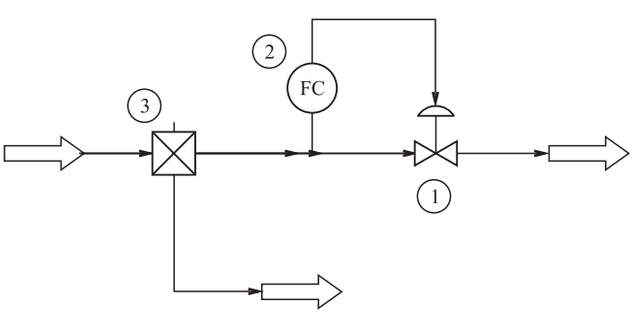


Рис. 1. Расчётная схема регулирования расхода жидкости: 1 — регулирующий клапан; 2 — ПИД-регулятор расхода (FC); 3 — делитель потока

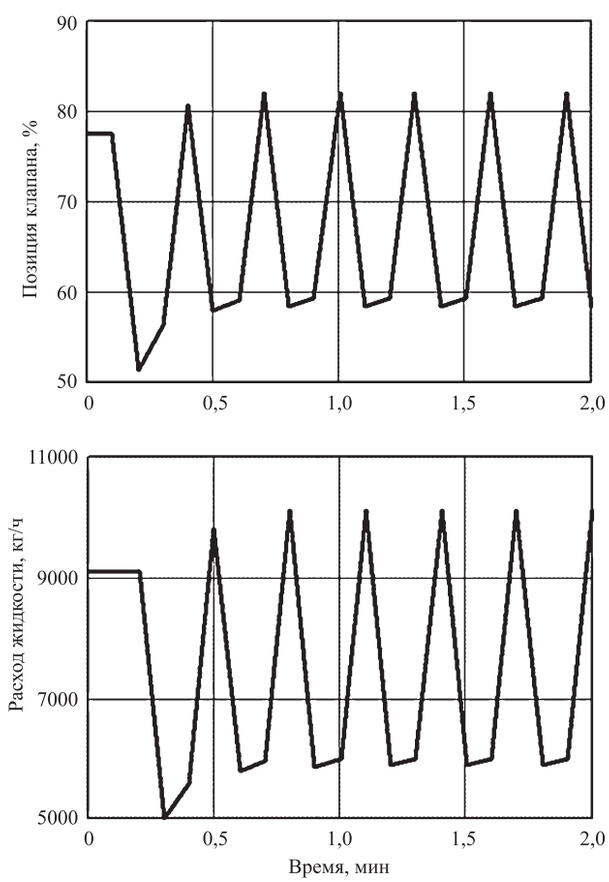


Рис. 2. Колебательный режим работы схемы регулирования расхода жидкости (шаг расчёта 0,1 мин; *PB* = 1; T_i = 0; T_d = 0)

ao1115.indd 30 22.10.2015 13:47:01

ма будет включать в себя несколько десятков активных элементов, уменьшение шага расчёта в дальнейшем скажется на продолжительности расчёта.

После выполнения расчёта в динамическом режиме, можем наблюдать, как в системе возникает колебательный режим (рис. 2).

Для наших условий максимальное и минимальное возможные значения клапана составляют 100 и 0 % соответственно, а максимальное и минимальное значения положения клапана в колебательном режиме — 82 и 58,4 %. Следовательно, по уравнению (4), опуская значение выходного сигнала в миллиамперах, имеем:

$$\Delta(\text{клапан}) = \frac{(82 - 58,4)}{(100 - 0)} = 0,236.$$

Для расхода максимальное и минимальное значения в колебательном режиме составляют 10123 и 5867 кг/ч соответственно. Следовательно, по уравнению (4), опуская значение выходного сигнала в миллиамперах, имеем:

$$\Delta(\text{расход}) = \frac{(10123 - 5867)}{(15000 - 1000)} = 0,304.$$

Поскольку в нашем случае регулируемой величиной является расход, а управляющим воздействием — положение клапана, значение параметра *PB* определим по уравнению (3) следующим образом:

$$PB = 100\frac{\Delta(\text{расход})}{\Delta(\text{клапан})} = 100\frac{0,304}{0,236} \approx 129.$$

Период колебаний Δt равен 0,3 мин, следовательно, для ПИД-регулятора принимаем T_i, равное 0,24 мин и T_d, равное 0,048 мин.

Вводим полученные значения в окне задания параметров контроллера и при повторном запуске расчёта (после возвращения состояния динамического расчёта к начальному моменту времени) можем наблюдать, как расход жидкости устанавливается на новом значении в течение 1 мин (рис. 3, *а*).

Следует отметить, что полученные таким образом значения *PB*, T_i и T_d применимы только для выбранного (или меньшего) шага расчёта. При увеличении шага расчёта значение *PB*, полученное при меньшем шаге, не обеспечит удовлетворительного регулирования. Например: для шага расчёта 0,01 мин по описанной выше методике значение *PB* определяют равным 120, T_i равным 0,04 мин и T_d равным 0,008 мин (рис. 3, *б*). Однако, если изменить шаг расчёта с 0,01 на 0,1 мин, и при этом не менять значения *PB*, T_i и T_d, то получим, что при скачкообразном изменении расхода стабилизация его на новом значении не достигается (рис. 3, *в*).

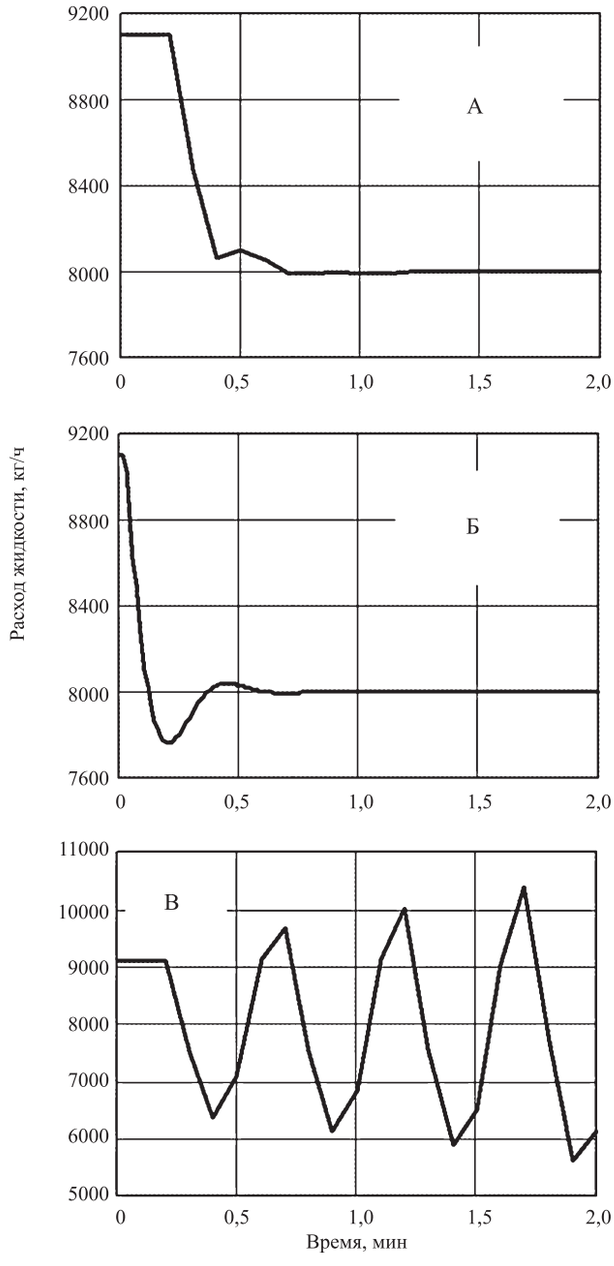


Рис. 3. Работа схемы регулирования расхода жидкости после определения параметров ПИД-регулятора:
А — шаг расчёта 0,1 мин; *PB* = 129; T_i = 0,24; T_d = 0,048;
Б — шаг расчёта 0,01 мин; *PB* = 120; T_i = 0,04; T_d = 0,008;
В — шаг расчёта 0,1 мин; *PB* = 120; T_i = 0,04; T_d = 0,008

Регулирование уровня (каскадный контур). Рассмотрим каскадную схему регулирования уровня жидкости в динамической ёмкости (рис. 4). Примем, что сенсор контроллера расхода жидкости 1 из ёмкости 4 имеет чувстви-

тельность от нуля до 13000 кг/ч. Параметры ПИД-регулятора расхода 2 рассчитаем предварительно на отдельной схеме, по аналогии с описанным выше примером. Зададим необходимые параметры динамической ёмкости [3].

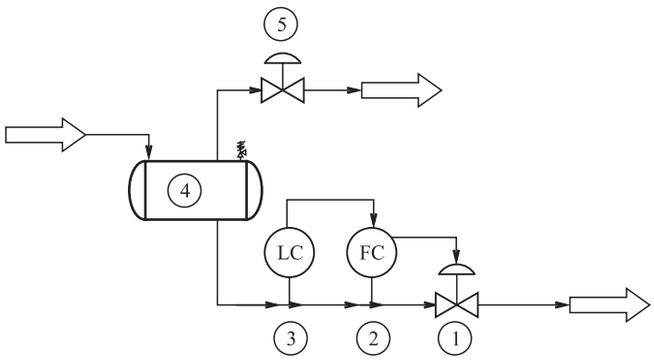


Рис. 4. Расчётная схема регулирования уровня жидкости в ёмкости:
1 — регулирующий клапан; 2 — ПИД-регулятор расхода (FC); 3 — ПИД-регулятор уровня (LC); 4 — динамическая ёмкость; 5 — клапан сброса газов с ёмкости

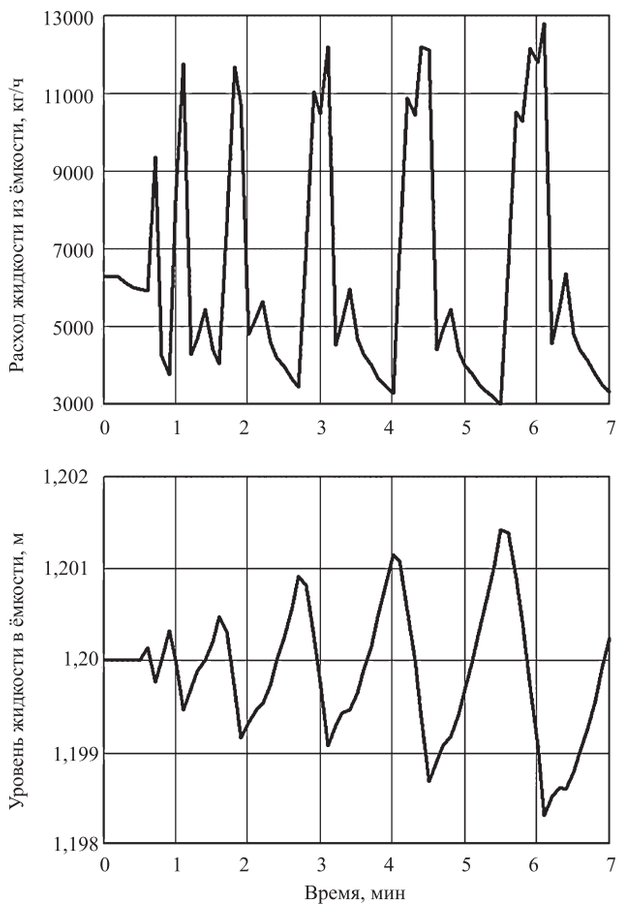


Рис. 5. Колебательный режим работы схемы регулирования уровня жидкости в ёмкости (шаг расчёта 0,1 мин; *PB* = 0,0001; T_i = 0; T_d = 0)

Для ПИД-регулятора уровня 3 укажем значение уставки, равное 1,2 м (начальное заполнение динамической ёмкости 4 также следует принять равным 1,2 м) и соответствующее ей значение P_0. Пределы изменения уровня в ёмкости примем 0...2,4 м, а сигнала сенсора — 4...20 мА. Скорость подачи жидкости в ёмкость примем постоянной и равной 6300 кг/ч.

Значение параметра *PB* для ПИД-регулятора уровня 3 примем равным 0,0001. При выполнении динамического расчёта при заданных параметрах можно наблюдать возникновение колебательного режима (рис. 5).

Как видно на рис. 5, колебание уровня в ёмкости при заданных условиях идёт с нарастающей амплитудой и с увеличивающимся периодом. Для первого приближения не обязательно проводить расчёт до стабилизации амплитуды колебаний. Также не обязательно вручную подбирать значения параметра *PB* для ПИД-регулятора уровня. Достаточно определить максимальное и минимальное значения расхода и уровня для идентичного периода после того, как колебания станут явно выраженными. В данном случае можно ориентироваться на момент времени с пятой по седьмую минуту. Применяя уравнение (4) и учитывая, что пределы изменения сигнала и для регулируемой величины, и для управляющего воздействия одинаковы (4...20 мА), получаем:

$$\Delta(\text{уровень}) = \frac{(1,201 - 1,1983)}{(2,4 - 0)} = 0,001125;$$

$$\Delta(\text{расход}) = \frac{(12792 - 3010)}{(13000 - 0)} = 0,7525.$$

Поскольку в данном случае регулируемой величиной является уровень, а управляющим воздействием — расход, значение параметра *PB* определим по уравнению (3) следующим образом:

$$PB = 100\frac{\Delta(\text{уровень})}{\Delta(\text{расход})} = 100\frac{0,001125}{0,7525} \approx 0,15.$$

Период колебаний Δt, для которого определён параметр *PB*, равен 1,7 мин, следовательно, для ПИД-регулятора принимаем T_i равным 1,4 мин и T_d равным 0,14 мин.

Вводим полученные значения в окне задания параметров контроллера (после возвращения состояния динамического расчёта к начальному моменту времени), задаём новое значение уставки уровня в ёмкости (1,15 м) и при повторном запуске расчёта можем наблюдать,

ao1115.indd 32 22.10.2015 13:47:01

как работает система регулирования уровня с рассчитанными выше параметрами (рис. 6).

С первой попытки устойчивого регулирования уровня достичь не удалось, однако наблюдающиеся незатухающие колебания расхода (рис. 6, *а*) и уровня жидкости (рис. 6, *б*) позволяют более точно определить параметры ПИД-регулятора. Повторное определение параметра *PB* по описанной выше методике даёт

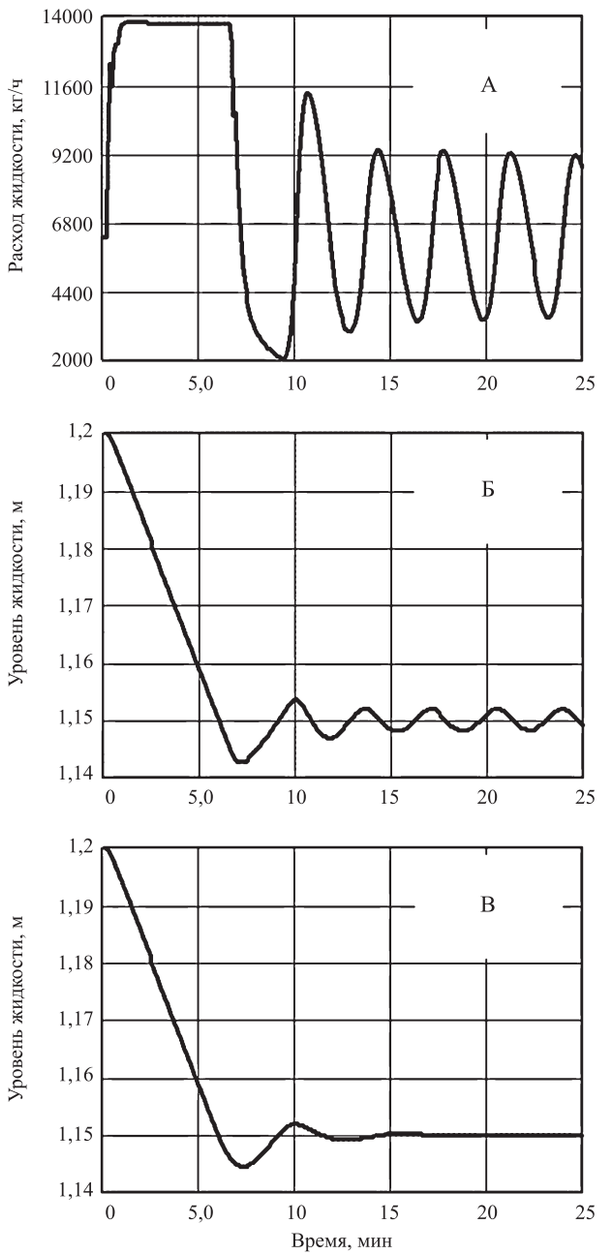


Рис. 6. Работа каскадной схемы регулирования уровня жидкости в ёмкости после определения параметров ПИД-регулятора:

А — изменение расхода жидкости из ёмкости; $PB = 0{,}15$; $T_i = 1{,}4$; $T_d = 0{,}14$; Б — изменение уровня жидкости в ёмкости; $PB = 0{,}15$; $T_i = 1{,}4$; $T_d = 0{,}14$; В — изменение уровня жидкости в ёмкости; $PB = 0{,}35$; $T_i = 3{,}0$; $T_d = 0{,}3$

значение 0,35. Период колебаний Δt, для которого определён параметр *PB*, равен 3,4 мин. Для ПИД-регулятора принимаем T_i равным 3 мин и T_d равным 0,3 мин. Данные параметры обеспечивают удовлетворительное регулирование уровня в ёмкости (рис. 6, *в*).

Следует отметить, что при практическом применении описанного выше метода наибольшие трудности может вызвать запоминание того, что находится в знаменателе, а что — в числителе уравнения (3), и определение того, что является управляющим воздействием, а что — регулируемой величиной. Эти трудности легко преодолимы, если запомнить следующее мнемоническое правило: *PB* — это "Результат/Воздействие", причем результатом является параметр, измеряемый сенсором ПИД-регулятора. Исключения из этого правила бывают, но обычно только для многоуровневых каскадных схем с рецикловыми потоками или каскадных схем регулирования объектов с большим временем транспортной задержки, для которых определение параметров ПИД-регуляторов в любом случае требует индивидуального подхода.

Таким образом, средствами пакета моделирующих программ ChemCAD по описанной в настоящей статье методике можно с минимальными трудозатратами и не используя метод ручного подбора параметров, определить настройки классического ПИД-регулятора, в том числе использующегося в каскадной схеме регулирования.

Значения *PB*, T_i и T_d, найденные предлагаемым методом, обеспечивают удовлетворительное регулирование процесса и достаточны для проведения предварительного анализа компьютерной модели химико-технологической системы любого уровня сложности.

Библиографические ссылки

1. **Денисенко В.** ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. 2006. № 4. С. 66—74.

2. **Денисенко В.** ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. 2007. № 1. С. 78—88.

3. **Моделирование** динамики протекания технологических процессов. Руководство пользователя ПМП ChemCAD версия 5.6.

4. **Ziegler J.G., Nichols N.B.** Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. 1942. Vol. 64. P. 759—768.

5. **Абрамов К.В.** Методика определения коэффициентов ПИД-контроллера при моделировании автоматизированных систем управления ректификационной колонной с применением пакета ChemCAD // Электронный научный журнал "Инженерный вестник Дона". 2011. № 2.

ao1115.indd 33 22.10.2015 13:47:01

УДК 376

О.М. Фадеева
(Российский государственный социальный университет, г. Москва)
olesya.fadeeva@mail.ru

WEB-QUEST-ТЕХНОЛОГИЯ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Исследован подход модернизации высшего образования, основанный на новых информационных технологиях, предполагающий формирование новых моделей образовательной деятельности, использующих информационные и телекоммуникационные средства обучения. Рассмотрены компьютерные технологии, в частности, web-quest. Приведён обзор основных видов web-quest, определена роль применения этой технологии в формировании профессионально-квалиметрической культуры.

Ключевые слова: профессионально-квалиметрическая культура; компьютерные технологии; web-quest.

The approach of the higher education modernization, based on new information technologies, is researched. The approach supposes the formation of new models of educational activities that use information and telecommunication medium of instruction. Consider Computer technology, in particular, web-quest, is considered. Overview of the main types of web-quest is adduced; the role of this technology application at the formation of professional-qualimetric culture is defined.

Key words: professional-qualimetric culture; computer technology; web-quest.

Одним из основных этапов формирования профессионально-квалиметрической культуры является технологический этап, включающий диагностику базовой подготовленности, теоретическую, практическую и факультативную подготовку, самообразование, абстрактную концептуализацию и активное экспериментирование.

На этапе диагностики базовой подготовленности перед преподавателем стоит задача изучить готовность к формированию профессионально-квалиметрической культуры каждого обучающегося, стимулировать активную позицию студента, помочь переосмыслить его роль и функции, вовлечь в процесс планирования собственного обучения и оценки освоенных компетенций.

На этапе теоретической подготовки закладываются теоретические основы профессионально-квалиметрической культуры. Практическая подготовка включает активное обучение, обучение на опыте с использованием таких обучающих технологий, как кейс-метод, деловые игры, профессионально-ориентированные задания. На этапе факультативной подготовки получают отражение "кружки качества" — творческие коллективы студентов, которые совместно обсуждают затруднения (организационные, конструктивные, затратные), относящиеся к области их профессиональной деятельности [1].

Этап самообразования ориентирован на формирование активной позиции самого обучающегося в получении новых знаний, опыта, разделение ответственности за результат обучения. На этапе абстрактной концептуализации происходит осмысление полученного опыта, размышления студентов о том, что они изучили, обобщение и интерпретация событий, установление связей между ними.

В эпоху информационных технологий большинство студентов активно пользуются современными информационными технологиями, упрощающими процесс поиска и обработки информации. В связи с этим широкое распространение получил web-quest как способ современной организации интерактивного обучения в процессе самостоятельной работы студента. Web-quest — это образовательный сайт, посвящённый самостоятельной исследовательской работе учащихся (обычно в группах) по определённой теме с гиперссылками на различные веб-странички [2—4].

Технология web-quest является эффективным средством формирования профессионально-квалиметрической культуры, поскольку предоставляет свободу творчества студентов в рамках коллективного веб-проекта. Но в то же время обеспечивает необходимыми учебно-информационными ресурсами, за счёт чего повышает мотивацию к обучению и фор-

мирует уверенность в успехе. Применение данной технологии также позволяет наиболее эффективно развивать у студентов навыки аналитического и творческого мышления, формировать новые компетенции, реализовывать креативный потенциал [5].

Как образовательная технология web-quest опирается на конструктивистский подход к обучению, который предполагает роль преподавателя-консультанта, преподавателя-организатора, преподавателя-координатора научно-исследовательской, проблемноориентированной и познавательной деятельности студентов. Главной целью преподавателя, согласно данному подходу, является создание условий активизации самостоятельной мыслительной деятельности студентов, поддержки и активизации инициативности в процессе обучения. В свою очередь студенты разделяют ответственность с преподавателем за процесс и результаты обучения, становясь полноценными участниками процесса обучения. При распространении Интернета перед преподавателями возникла необходимость и актуальность применения данной технологии в учебном процессе. Для реализации эффективного внедрения интернет-технологий в учебный процесс необходима разработка способов приведения интернет-ресурсов в соответствие с дидактикой обучения. Данной разработкой стал web-quest. Впервые термин "web-quest" был предложен в 1995 г. профессором Калифорнийского университета Берни Доджем, который разработал инновационные приложения в сети Интернет для их интеграции в учебный процесс на разных уровнях обучения.

В настоящее время в зарубежных странах технология web-quest получила широкое распространение. В России же она только начинает приобретать популярность. Популярность и эффективность данной технологии обуславливается использованием не только словарных, энциклопедических статей, кратких изложений учебников, но и самое основное — актуальных источников, насыщенных медиаинформацией.

Технология web-quest помогает преподавателю овладевать вниманием студентов, соответствовать их потребностям и интересам, воодушевлять на успешное достижение цели, оставлять чувство удовлетворения после окончания работы. Таким образом, работая над web-quest, учащиеся проходят по теории Дж. Келлера полный цикл мотивации от внимания до удовлетворения (ARCS (Attention Relevance Conë dence Satisfaction)) [2].

Применение в учебном процессе web-quest позволяет студентам развивать навыки обсуждения, исследовательскую деятельность, формировать профессионально-квалиметрическую культуру с точки зрения развития умения строить новые концепции и отношения в контексте проблем реального мира, обеспечивает увеличение практической применимости создаваемых проектов.

Основными преимуществами технологии web-quest являются:

актуализация ставящихся перед студентами задач в соответствии с современной социально-экономической ситуацией;

соответствие, за счёт применения интернет-технологий, интересам студентов;

повышение популяризации и активизации исследовательской деятельности среди студентов;

междисциплинарный характер технологии;

тесная взаимосвязь с реальной социально-экономической ситуацией;

многообразие, неограниченность и постоянная пополняемость применяемых учебных ресурсов;

многоаспектная оценка результатов обучения за счёт обсуждения и оценивания не только преподавателями, но и другими студентами и внешними экспертами;

обеспечение практико-ориентированного обучения воспроизведением реальных жизненных ситуаций.

Особенность применения технологии web-quest заключается в интеграции методических стратегий в реальные социально-экономические условия и их воплощении в образовательном процессе.

Профессионально-квалиметрическая культура предусматривает наличие навыков профессионального оценивания сложившейся ситуации и принятия грамотных, взвешенных, спрогнозированных решений. Хороший образовательный квест, интригующий введением с чётко сформулированным заданием, провоцирующим мышление высшего порядка, с распределением ролей согласно предпочтениям и умениям студентов, с обоснованными и хорошо подобранными интернет-источниками позволяет развивать и формировать навыки принятия квалиметрически оценённых управленческих решений. Применение web-quest, создаваемых преподавателями-практиками, позволяет применять познавательные навыки во всех сферах деятельности.

Рассмотрим более подробно структуру web-quest.

Введение. Данный этап предусматривает описание основной информации, выделение ключевых понятий, конкретизацию основ-

ного вопроса (цели), над которым будут размышлять участники квеста. На данном этапе также должны быть определены и описаны роли участников, приведён сценарий и обзор квеста, составлен предварительный план работы. Основная задача данного этапа — заинтересовать и мотивировать участников квеста.

Центральное задание, представляющее собой основную цель, ключевые задания квеста, проблему и пути её решения. Основная задача данного этапа — направить студентов на решение конкретных задач и достижение определённой цели. Важным является правильная постановка задачи. Она должна быть понятной, интересной и самое главное — выполнимой.

Список информационных ресурсов представляет собой ссылки на интернет-ресурсы, адреса веб-сайтов по теме (в электронном виде — на компакт-дисках, видео- и аудионосителях, в бумажном виде), необходимых для выполнения задания. Этот список должен быть аннотированным.

Процесс. Включает в себя поэтапное описание хода работы, распределение ролей, обязанностей каждого участника, ссылки на интернет-ресурсы, конечный продукт. В этом разделе содержатся указания: как именно студенты будут выполнять задание, а также порядок выполнения и сортировки информации.

Оценка. Данный раздел содержит критерии оценки выполненного задания, которые должны зависеть и соответствовать сложности выполняемых учебных задач.

Руководство к действиям. Данный раздел должен представлять информацию о том, как организовать и представить собранную информацию, которая может быть представлена в виде направляющих вопросов, организующих учебную работу (например, связанных с определением временных рамок, общей концепцией, рекомендациями по использованию электронных источников, представлением "заготовок" веб-страниц и др.).

Заключение. На данном этапе оценивается приобретённый опыт в процессе самостоятельной работы над квестом, проводится обобщение результатов. В результате обсуждения выявляются ответы на вопросы: чему научились, какие навыки приобрели. Также возможно включение в заключительную часть риторических вопросов, стимулирующих участников на дальнейшее изучение данной темы.

В настоящее время существует несколько классификаций web-quest:

краткосрочные — нацеленные на приобретение знаний и их интеграция. В результате преодоления данного квеста предполагается освоение большого объёма информации по заданной теме;

долгосрочные — нацеленные на расширение и уточнение знаний. Результатом освоения данного квеста должен быть глубокий анализ собранных знаний и их преобразование для нового понимания, представленного на суд читателей как в сетевом режиме, так и вне киберпространства.

Джоана Энгрилл Фэррени [1] классифицирует веб-квесты по характеру учебной задачи, выделяя следующие:

compilation task — компиляция. Наиболее лёгкий вид квеста, так как целью студентов является сбор информации из различных интернет-источников с дальнейшей трансформацией в какую-либо компиляцию, (сборник задач, виртуальная выставка учёных и т.д.);

judgement tasks — оценка. Данное задание направлено на сбор информации о каком-либо событии, ситуации для дальней презентации своего мнения по данному вопросу;

retelling tasks — пересказ. Целью данного квеста является формирование у студентов умения преобразовывать и представлять полученную информацию в новом формате. Главной задачей ставится демонстрация понимания темы;

persuasion tasks — убеждение. Данное задание направлено на формирование у студентов навыков убеждения, умения отстаивать свою точку зрения, склонять на свою сторону оппонентов;

mystery tasks — детектив, головоломка, таинственная история. В ходе прохождения данного вида задания студенты принимают участие в каком-либо расследовании, учатся анализировать полученную информацию с различных точек зрения. Основной целью данного вида квеста является формирование у студентов умения делать выводы на основе противоречивых фактов;

creative tasks — творческое задание. Такое задание развивает в студентах творческие способности и направлено на приобретение навыков креативного мышления при реализации поставленных задач. Итогом является создание продукта специфического формата (например, сочинение, рисунок, диаграмма, видеоролик и т.д.);

jurnalistic tasks — журналистское расследование. Направлено на формирование навыков объективного изложения информации (разделение мнений и фактов);

design tasks — проектные задания. В данном случае цель — развитие у студентов умения на основе предложенных исходных данных

ao1115.indd 36 22.10.2015 13:47:01

разрабатывать планы и проекты дальнейшего развития;

analitical tasks — аналитическая задача. Формирует навыки поиска и систематизации информации, умение устанавливать причинно-следственные связи;

self-knowledge tasks — самопознание. Направлено на саморазвитие человека через логику, догадку и внутренние человеческие ресурсы;

consensus tasks — достижение консенсуса. Основной целью данного квеста является формирование у студентов умения после основательного обсуждения вырабатывать решения по острой проблеме;

scietific tasks — научные исследования. Данный квест основан на изучении различных явлений, открытий, фактов с помощью уникальных он-лайн источников, подразумевает выдвижение гипотезы, её проверку и сравнение конечного результата с заявленным.

Таким образом, можно сказать, что webquest является одним из перспективных направлений формирования профессионально-квалиметрической культуры. Эффективность и продуктивность данного метода заключается в том, что студенты не получают готовых ответов или решений, а самостоятельно решают поставленную перед ними задачу. Также актуальность данной технологии — это повышение мотивации и вовлечённость студентов в образовательный процесс.

Библиографические ссылки

1. **Farreny J.A.** Webquests and Blogs: Web based Tool for EFL Teaching / J.A. Farreny [Электронный ресурс]. http://www.apac.es/ publications/documents/Webquest_weblog_paper.pdf (дата обращения: 15.05.2015).

2. **Keller J. A.** Motivating Infl uence in the Field of Instructional Systems Design [Online]. Available: http:/www.arcsmodel.com/pdf/Biographical Information.pdf. (дата обращения: 10.05.2015).

3. **Багузина Е.И.** Веб-квест технология как дидактическое средство формирования иноязычной коммуникативной компетентности. Дис.... канд. пед. наук. http://www.dissercat.com/content/veb-kvest-tekhnologiya-kak-didakticheskoe-sredstvo-formirovaniya-inoyazychnoi-kommunikativno#ixzz3ZMmYEUn2 (дата обращения: 17.05.2015).

4. **Николаева Н.В.** Образовательные квест-проекты как метод и средство развития навыков информационной деятельности учащихся // Вопросы Интернет-образования. 2002. № 7. С. 37.

5. **Фадеева О.М.** Математическое моделирование как одна из составляющих формирования профессионально-квалиметрической культуры бакалавров экономики. Актуальные проблемы современного российского общества: труды междунар. науч.-практ. конф. Москва. 2014. С. 79—83.

УДК 376

Н.А. Рачковская, д-р пед. наук, доц.
(Московский государственный областной университет),
Н.В. Лукьянова, канд. техн. наук, доц., **К.А. Неусыпин**, д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)
nad1606@yandex.ru

СОЦИАЛЬНАЯ АБИЛИТАЦИЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Исследованы проблемы адаптации в обществе людей с ограниченными возможностями здоровья в условиях современного информационного общества. Предложено реализовать новые возможности для развития личности с инвалидностью в рамках современной концепции непрерывного образования с использованием инновационных информационных технологий. Современные образовательные технологии применены для решения важных и специфических задач социальной абилитации лиц с ограниченными возможностями.

Ключевые слова: социальная абилитация; лица с ограничениями по здоровью; информационные технологии.

The problems of social adaptation of persons with disabilities in today's information society are researched. Realization of the new capabilities realization for the development of the individual with a disability under the modern concept of lifelong learning with the use of innovative information technologies is proposed.Modern educational technology applied to solve important and specific tasks of social habilitation of persons with disabilities.

Key words: social habilitation; persons with reduced health; information technology.

ao1115.indd 37 22.10.2015 13:47:01

Введение. Одним из главных факторов, определяющим уровень социального развития людей с ограниченными возможностями здоровья, является предоставление им возможности почувствовать себя полноценными членами общества. Этот фактор может быть объективирован созданием условий, стимулирующих интеллектуальное развитие молодёжи, что впоследствии позволит им получить качественное профессиональное образование и включиться в профессиональную деятельность. Общество, в котором человек, независимо от состояния здоровья, ценится исходя из его образованности, готовности развиваться как личность и совершенствовать свои профессиональные навыки, может достичь очень многого.

Происходящие изменения в социально-экономической сфере предоставили лицам с инвалидностью существенный шанс на расширение возможностей в определении своего жизненного пути. Многие инвалиды стремятся получить профессиональное образование и освоить доступные, в соответствии с диагнозом, специальности. Информационное общество создаёт множество новых вариантов занятости, которые не связаны с опасными и вредными условиями труда. Так, для большинства инвалидов стали доступными многие виды интеллектуального труда. Однако следует отметить, что в силу устоявшихся стереотипов им по-прежнему предлагают труд, не требующий специальных знаний и высокой квалификации.

Среди лиц с ограниченными возможностями здоровья много людей не просто способных и трудоспособных, а одарённых. В этой связи одной из основных задач социальной абилитации является подготовка лиц с ограниченными возможностями здоровья к осознанному выбору профессии. Важнейшими принципами этого выбора являются удовлетворение потребности личности в самоутверждении, осуществление стремления занять достойное место в социуме, объективная оценка человеком своих сил и способностей к выполнению определённой профессиональной деятельности, востребованность данной профессии на сегодняшний день в обществе и др.

Обеспечению целенаправленной и последовательной работы по социальной абилитации людей с ограниченными возможностями здоровья служит эффективное партнёрство специализированных (коррекционных) школ с высшими учебными заведениями. Особое место в этом сотрудничестве отводится научно-исследовательской работе, которая организуется педагогами школ и профессорско-преподавательским составом вузов с учащимися [1, 2].

Реализация функции социальной абилитации. Ещё в СССР многие инвалиды стремились получить специальное образование и освоить доступную специальность. Сейчас уже является аксиоматичной необходимость включения лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательные процессы, которые реализуются не только в специальных (коррекционных) учреждениях, но и в учреждениях высшего профессионального образования. На сегодняшний день активно разрабатываются методы и технологии обучения, позволяющие минимизировать влияние образовательных нагрузок на здоровье инвалида, стимулировать мотивацию и сформировать у учащихся стойкий интерес к приобретению новых знаний и навыков [3, 4].

В стране происходит масштабная технологическая модернизация специального образования на основе применения компьютера в качестве главного инструмента коррекционно-развивающего обучения и реабилитации человека. Оснащение учебных заведений, а также обучающихся на дому компьютерной техникой, подключённой к сети Интернет, позволило учащимся с ограниченными возможностями здоровья вне зависимости от региона проживания получить доступ к качественному образованию с учётом их диагноза [5, 6]. Выносимые устройства (контакторы), приспособленные к диагнозу человека, позволяют управлять компьютерными программами, несмотря на состояние зрительного, слухового, тактильного анализаторов и развитости манипулятивных навыков.

Все достижения научно-технического прогресса в этой области необходимо использовать для организации эргономичного рабочего места специалиста с инвалидностью. У каждого человека с дефектами зрения, слуха, подвижности развиваются способности, которые в определённой мере восполняют физические недостатки.

Любой специалист в процессе своего образования должен не только получить определённые знания, но самое главное — научиться их эффективно применять и постоянно повышать свою квалификацию, проявлять научное творчество в своей профессиональной деятельности, используя в работе всё новое и

ao1115.indd 38 22.10.2015 13:47:01

полезное, что содержится в интенсивном потоке современной информации. Если раньше общество могло позволить обучать этому в вузе, то сейчас, когда научно-технический прогресс приобрёл невероятные темпы, необходимо опуститься на ступеньку ниже, т. е. в школу [7, 8].

В учреждениях среднего образования для формирования личности и, в частности, для получения учащимися практических знаний всё большую популярность приобретают методы исследовательской и проектной деятельности. Это позволяет формировать у учащихся научное мировоззрение и научное мышление.

В связи с этим представляется необходимым определить основные требования к образовательному процессу в школе: усиление дифференциации обучения в соответствии с запросами и склонностями учащихся; развитие индивидуальных способностей учащихся; обеспечение соответствия уровня образования требованиям научно-технического прогресса; актуализация внутренних и внешних мотивов познавательной и исследовательской деятельности школьников и др.

Исходя из данных требований, можно выделить ряд направлений, способствующих решению практических вопросов профессионального самоопределения учащихся с ограниченными возможностями здоровья в школе. Данными направлениями являются:

системный подход к профориентации школьников;

формирование у учащихся общественно-значимых мотивов выбора профессии;

развитая система профориентации, вооружающая школьников необходимыми знаниями для самоопределения в мире профессий;

развитие у учащихся умения объективно оценивать свои индивидуальные особенности;

использование диагностических методик изучения личности для оказания школьникам индивидуальной помощи в выборе профессии;

профессиональное консультирование подрастающего поколения;

формирование элементов духовной культуры в процессе подготовки учащихся к сознательному выбору профессии.

Ранняя профориентация, научно-исследовательская и творческая деятельность школьников содействуют материализации научных знаний, осуществляют информационную связь в отношениях "знание — наука" и "наука — производство". Каждый новый результат рождается не только как следствие открытия нового, но и как обобщение и переосмысление уже имеющегося опыта. В этом методологическом смысле накопленные научные знания становятся орудием дальнейшей познавательной и практической деятельности человека.

Однако, несмотря на некоторые положительные результаты, общее и профессиональное образование всё ещё не достигли своей главной цели — формирования у учащихся с ограниченными возможностями здоровья адекватного профессионального самоопределения в соответствии с индивидуальными особенностями каждой личности. Существенным недостатком профориентационной работы является то, что она, как правило, рассчитана на некоторого усреднённого ученика, поскольку отсутствует дифференцированный подход к личности выбирающего профессию. Доминируют в основном словесные, декларативные методы без предоставления возможности каждому учащемуся попробовать себя в различных видах деятельности, в том числе, в избираемой.

О низкой результативности профориентационной работы со школьниками, имеющими ограниченные возможности здоровья, свидетельствуют противоречия, которые проявляются на "личностном" уровне, между склонностями, способностями человека и требованиями, предъявляемыми к выполнению той или иной профессиональной деятельности;

притязаниями человека и реальными возможностями заполнения вакантных мест;

желанием заранее попробовать себя в избираемой профессиональной деятельности и отсутствием таковой возможности в школе и ближайшем её окружении;

несоответствием здоровья, характера и привычек требованиям, предъявляемым профессией и др.

Существенное влияние на формирование мотивации учащихся к обучению имеет тесная связь школы с высшими учебными заведениями. Высокий уровень подготовки в вузе, разнообразие специальностей, современные технологии и условия обучения, созданные для студентов с инвалидностью — всё это мотивирует их к получению высшего образования. "С вашей помощью я смогу! Дайте руку, я встану на ноги и пойду сам" — такая философия жизни, отношение к знанию и профессиональной деятельности появляется, когда человек хорошо осознает, в какой профессии он может проявить себя наилучшим образом. Тогда возникает желание достичь в избранном

деле вершин мастерства. Это справедливо для всех людей, но для инвалидов такой подход к жизни и выбору профессии особенно актуален.

Для сохранения и приумножения научного и производственного потенциала страны необходимо обеспечить развитие творчески активной, склонной к научно-исследовательской деятельности, грамотной и целеустремлённой личности. Занятие творческой деятельностью должно стать неотъемлемой частью образовательного и воспитательного процесса в школе и вузе.

В таких условиях возрастающее значение приобретает привлечение в систему специального (коррекционного) обучения ресурсов дополнительного образования, а также конкурсного отбора наиболее подготовленных выпускников для дальнейшего поступления в высшие учебные заведения. Нередко более слабый с виду оказывается настойчивее, прилежнее и, в конце концов, успешнее оптимистичного крепыша, которому на первых порах "все ни по чём". Непредвзятая оценка физиологической трудоспособности человека, его пригодности к тому или иному виду труда часто может привести к совершенно неожиданным выводам. То, что выглядит принципиально разрушающим и потенциально опасным для здоровья лиц с определённой группой заболеваний, кому-то из инвалидов той же нозологии может оказать неожиданную помощь в сохранении здоровья и трудоспособности на многие годы [9].

Работа по социальной абилитации лиц с ограниченными возможностями здоровья с акцентом на их профессиональном самоопределении позволит преодолеть следующие противоречия на социально-экономическом уровне между возросшими требованиями к современному специалисту и действующими формами и методами, сложившимися на основе представлений об экстенсивных путях развития народного хозяйства, его кадрового обеспечения;

профессиональными планами молодёжи с высоким уровнем образования и экономической необходимостью народного хозяйства заполнить вакантные рабочие места с тяжёлым физическим трудом;

потребностью учебных заведений и других социальных институтов в специалистах и отсутствием их стабильной комплексной подготовки в вузах страны;

необходимостью координации и интеграции профориентированных воздействий и решением их узковедомственными путями и средствами и др.

Частично нивелировать данные противоречия призвана система научно-методического и информационно-аналитического обеспечения организации обучения одарённых школьников и студентов с особыми образовательными потребностями, предоставляющая возможность получить качественное профессиональное образование с учётом их интересов и склонностей.

Комплексная концепция непрерывного обучения. В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана и реализуется комплексная целевая концепция непрерывной профессиональной подготовки инженеров с применением инновационных информационных и дистанционных технологий. Концепция носит универсальный характер и применяется как для лиц с ограничениями по здоровью, так и для обучающихся, состояние здоровья которых находится в пределах нормы [10].

Реализация форм и методов образовательного процесса, составляющих основу разработанной концепции подготовки и переподготовки инженеров осуществляется по интегративной системе непрерывного образования "школа — вуз — аспирантура — переподготовка и повышение квалификации — предприятие". Отличительной особенностью концепции является использование "русского метода" и инновационных информационных технологий в большом объёме, что привело к трансформации и глубоким изменениям в образовательном процессе вуза. Эффективность реализации концепции продемонстрирована на примере непрерывной подготовки кадров по ряду близких направлений и специальностей, востребованных оборонным комплексом России.

В рамках концепции осуществляется проведение комплексной, непрерывной целевой подготовки абитуриентов в рамках программы "Шаг в будущее", бакалавров, магистров, специалистов, аспирантов, слушателей второго высшего образования, повышения квалификации и переподготовки кадров, их абилитация на российских предприятиях [11].

Реализация концепции обеспечивает непрерывную подготовку школьников десятых-одиннадцатых классов, проходящих углублённую профессиональную ориентацию по выбранной специальности, подготовку по программе "Шаг в будущее"; студентов соответствующих специальностей с использованием "русского метода" обучения, предусматри-

ao1115.indd 40 22.10.2015 13:47:01

вающего постоянное подтверждение полученных теоретических знаний на практике; аспирантов очной и заочной форм обучения; слушателей второго высшего профессионального образования по различным направлениям, получающих квалификацию бакалавр техники и технологии или магистр техники и технологии; работников предприятий, проходящих профессиональную переподготовку.

Все этапы обучения предполагают использование дистанционных форм подготовки. Разработаны методики реализации дистанционного обучения в рамках проведения самостоятельной работы абитуриента, студента, слушателя и аспиранта. Существует мнение, что широкое распространение практики дистанционного обучения и дистанционного трудоустройства не всегда способствует повышению социальной самооценки инвалидов и их социальной абилитации. Однако в большинстве случаев это является наилучшим решением для тех, кто испытывает трудности с мобильностью.

Разработанная комплексная концепция обучения позволяет реализовать функцию социальной абилитации, которая обеспечивает, наряду с обучением и образованием, комплексную подготовку человека к профессиональной деятельности, а также его профессиональную самореализацию. Успешность деятельности обучаемого на всех этапах подготовки определяется не только высоким уровнем знаний, а также продуктивным владением методами познания и деятельности, но и комплексной подготовкой к профессиональной работе.

Следует отметить, что реальная творческая лаборатория абилитации личности расположена не только в пространстве учебно-научной деятельности университета, но и за её пределами и даже за пределами образовательного учреждения. Самодеятельные и внеинституциональные формы абилитации дополняют и, в некоторых случаях, оказываются определяющими для становления личности. Выход из пространства образовательного учреждения реализуется с помощью беспроводных сетевых технологий и позволяет проводить вебинары, лабораторные работы с помощью компьютерных программ-эмуляторов или программ-тренажёров в дистанционной форме, консультации в режиме on-line, контроль качества усвоения материала [12].

Таким образом, в МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана и реализована концепция подготовки кадров для российских предприятий, включающая разнообразные формы и методы обучения с использованием современных информационных технологий, позволяющих интенсифицировать процесс получения и усвоения знаний. Применение в процессе обучения "русского метода" позволяет закрепить теоретические знания, сформировать навыки и умения в каждой фазе непрерывного образовательного процесса.

Реализация учебного процесса с учётом функции абилитации. Наряду с обучением и образованием социальная абилитация предполагает комплексную подготовку человека к профессиональной деятельности, а также его профессиональную самореализацию. Для перехода к качественно новому уровню профессиональной подготовки обучающемуся необходимо выйти из пространства знаний в пространство деятельности и жизненных смыслов.

Задача абилитации обучающегося решается моделированием его индивидуальной профессиональной траектории, использованием в образовательных программах функциональных элементов адаптации к будущей профессиональной деятельности и применением "русского метода" на всех этапах непрерывного обучения.

Реализация функции абилитации обеспечивается симбиозом учебного процесса в университете и профессиональной работой Центра трудоустройства при университете. Следует отметить, что в настоящее время при университетах и колледжах часто создаются центры трудоустройства и построения карьеры, в которые обращаются выпускники с ограниченными возможностями здоровья. Данные центры осуществляют взаимодействие со службами занятости, отделами кадров предприятий и других социальных служб. Преподаватели и работники вузов, представители общественных и религиозных организаций, а также волонтёры информируют, тестируют, консультируют лиц с особыми потребностями, участвуют в разработке индивидуальных планов профессионального развития, а при необходимости помогают выпускникам с инвалидностью составить резюме при устройстве на работу.

Интернет не только дополняет деятельность данных центров, но и является самостоятельным источником поддержки, представляя собой обширнейшую базу полезной информации по трудоустройству лиц с инвалидностью. Многочисленные популярные информационно-поисковые системы Интернета

ao1115.indd 41 22.10.2015 13:47:02

позволяют найти исчерпывающие сведения о любом предприятии и вакансиях. Кроме того, Интернет позволяет выпускникам и работодателям дистанционно осуществлять переговоры в режиме реального времени, обеспечивает определённую анонимность, что для замкнутых и неохотно идущих на личный контакт людей с инвалидностью нередко оказывается решающим фактором. Таким образом, Интернет представляет собой мощный ресурс для людей с ограниченными возможностями здоровья, позволяющий им наращивать свою профессиональную состоятельность, экономическую независимость и интегрироваться в общество.

Совершенствование процесса подготовки увеличением доли используемых информационных интеллектуальных технологий, накопленных информационных ресурсов в виде баз данных и знаний, информационно-логических моделей, средств глобального телекоммуникационного общения обеспечивает возможности для создания сложных систем в творческой лаборатории одной личности.

Заключение. Формирование успешного общества зависит от качества общего и специального образования, от понимания основных стратегических целей и задач в условиях современных реалий. Новое отношение к образованию как к образованию для всех является необходимым условием созидания цивилизации в духе справедливости, добра и гуманизма. В рамках этих мировоззренческих доминант педагогические коллективы университетов Российской Федерации успешно реализуют образовательную деятельность.

Библиографические ссылки

1. **Александров А.А., Неусыпин К.А., Падалкин Б.В., Попович Л.Г., Пролетарский А.В.** Вопросы теории и реализации непрерывного образования. М.: Изд-во МГОУ, 2012. 272 с.

2. **Мешков Н.А., Неусыпин К.А., Абрамешин А.Е., Александров А.А., Пролетарский А.В.** Разработка и исследование системы управления инновационным развитием российского образовательного комплекса в условиях информационного общества // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 10 (89). С. 2—15.

3. **Неусыпин К.А.** Разработка способа абилитации студентов и выпускников вузов // Отечественная и зарубежная педагогика. 2013. № 6 (15). С. 43—49.

4. **Неусыпин К.А., Лукьянова Н.В.** Способы реализации функции абилитации в современных образовательных организациях // European Social Science Journal. 2013. № 12-2 (39). С. 79—83.

5. **Неусыпин К.А.** Исследование направлений модернизации образовательного комплекса России // European Social Science Journal. 2013. № 9-1 (36). С. 50—54.

6. **Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Особенности использования современных информационных технологий в образовании // European Social Science Journal. 2014. № 1-1 (40). С. 63—65.

7. **Рачковская Н.А.** Особенности социализации детей с ограниченными возможностями здоровья // Теоретические и практические исследования XXI века. Труды междун. науч.-практ. конф. Москва, 2014. С. 317—321.

8. **Рачковская Н.А., Сюрин С.Н.** Реализация психолого-педагогических технологий в специализированном центре для детей с ограниченными возможностями здоровья и отклоняющимися формами поведения // Достижения вузовской науки. Труды междун. науч.-практ. конф. Москва, 2014. С. 336—340.

9. **Ильин О.А.** "Человек компенсаторный" (заметки об образовании и трудоустройстве инвалидов) // Воспитание и обучение детей с нарушениями развития. 2014. № 6. С. 53—62.

10. **Александров А.А., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А., Шарков А.А.** Концепция комплексного непрерывного обучения с использованием инновационных информационных технологий // Научное обозрение: гуманитарные исследования. 2012. № 4. С. 38—42.

11. **Цибизова Т.Ю.** О проблемах подготовки высококвалифицированных специалистов в системе непрерывного профессионального образования // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. Выпуск 10**. URL:** http://technomag.edu.ru/doc/262420.html (дата обращения: 05.05.2015).

12. **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. September 4—5, 2012. С. 374—378.

УДК 65.01

В.Л. Белоусов, д-р экон. наук, проф., **Д.Ю. Денисов,** канд. экон. наук,
А.М. Титков, канд. техн. наук, проф., **Н.А. Дивуева**
(Московский государственный университет
информационных технологий, радиотехники и электроники)

kleola@mail.ru

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ ОТБОРА ИННОВАЦИЙ НА ОСНОВЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Представлена типовая модель процесса организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы, используя которую можно обеспечить отбор инноваций в различных сферах инновационной деятельности, например в области производства, современных технологий, административного управления, научных исследований и др.

Ключевые слова: инновация; научно-техническая экспертиза; конкурс; конкурсная комиссия; экспертное заключение.

The typical organization model of the innovations selection based on scientific and technical expertise is represented. Using this model it is possible to ensure the selection of innovation in various areas of innovation activity, such as in the production, modern technology, administration, research and others.

Key words: innovation; scientific and technical expertise; competition; competitive commission; expert opinion.

Одним из важных индикаторов экономического развития страны является уровень инновационной деятельности в различных сферах её народнохозяйственного комплекса. Чем выше этот уровень, тем более динамично развивается экономика.

Известно, что инновационная деятельность представляет собой совокупность научных, технологических, организационных, финансовых и коммерческих мероприятий, включая инвестиции в новые знания, которые направлены на получение технологически новых или улучшение уже существующих продуктов или процессов [1].

При этом следует отметить, что в данном случае "новые знания" представляют собой инновации.

Термин "инновация" имеет различные значения в разных контекстах. Зачастую употребляется для обозначения новых идей, методов или устройств, а также процессов создания новых продуктов и технологий, включая и управленческие, и их вывод на рынок. Данный термин наиболее широко используется в области технологий, отдельных процессов управления, финансов, а также способов достижения этих изменений [1].

Из этого следует, что возможно создание единого (типового) процесса организации отбора инноваций, так как механизм указанного отбора в этом случае не зависит от вида инновации в различных сферах инновационной деятельности.

Одним из важных этапов инновационной деятельности является отбор инноваций, осуществляющийся, как правило, на конкурсной основе. Следует отметить, что организатором конкурса заранее объявляются условия и сроки его проведения. Кроме того, для отбора инноваций формируется конкурсная комиссия и приглашаются эксперты или экспертные организации согласно установленным к ним требованиям. Таким образом, на экспертов возлагается научно-техническая экспертиза представляемых на конкурс инноваций.

Используя эти замечания, была разработана обобщённая модель механизма организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы (рис. 1).

Представленная на рис. 1 модель создана на основе классической системы управления с отрицательной обратной связью, включающей три блока: "Процесс отбора инноваций", "Научно-техническая экспертиза" и "Регулирование". Функции элементов блоков указанной модели приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что для обеспечения организации отбора инноваций на конкурсной

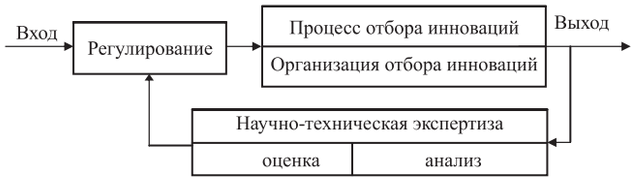


Рис. 1. Обобщённая функциональная модель механизма организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы

основе необходимо разработать конкурсную документацию, сформировать конкурсную комиссию, обеспечить процесс отбора инноваций. Всё это, как правило, организуют различные фонды, федеральные и региональные министерства, например, при формировании соответствующих государственных или региональных программ. В качестве конкурсного приза могут быть объявлены гранты фондов или лоты формирующихся программ.

Что касается анализа и оценки (см. табл. 1), то они осуществляются в процессе проведения научно-технической экспертизы, которая может проводиться непосредственно этими фондами и министерствами, или с привлечением для её обеспечения организатора экспертизы.

Следует отметить, что практически фонды сами являются организаторами экспертизы, а министерства, как правило, привлекают для этих целей организатора экспертизы и являются в данном случае её заказчиком.

Реальное регулирование процесса отбора инноваций обеспечивает конкурсная комиссия, а научно-техническую экспертизу — привлечённые к экспертной работе учёные и специалисты высокой квалификации в качестве экспертов.

Рассмотрим порядок функционирования модели механизма организации отбора инноваций (см. рис. 1).

В процессе организации и проведения конкурса по отбору инноваций в установленном порядке на "Вход" модели поступают инновации, например, в виде проектов, между которыми проводится конкурс. По мере их поступления запускается процесс научно-технической экспертизы. В этом случае с "Выхода" (см. рис. 1) поступает информация об инновациях, участвующих в конкурсе, в блок "Процесс научно-технической экспертизы", в котором экспертами анализируются и оцениваются инновации.

Результаты научно-технической экспертизы поступают в блок "Регулирование" с рейтинговыми оценками поступивших инноваций. Здесь конкурсная комиссия определяет инновацию, победившую в конкурсе, а затем информация из блока "Регулирование" передаётся в блок "Процесс отбора инноваций", в котором в установленном порядке оформляются результаты конкурса и передаются на "Выход" с последующим объявлением конкурсной комиссией победителя.

На этом конкурсный отбор инноваций завершается.

Рассмотрим более подробно механизм организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы.

На рис. 2 представлена обобщённая функциональная модель организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы.

Из рис. 2 следует, что функциональная модель организации отбора инноваций состоит из 11 блоков.

Рассмотрим их состав и функции.

Таблица 1

Элементы обобщённой функциональной модели механизма организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы

№ п/п	Наименование элементов модели	Функции элементов модели
1	Организация отбора инноваций	Разработка конкурсной документации. Формирование конкурсной комиссии. Обеспечение процесса отбора инноваций
2	Анализ	В процессе научно-технической экспертизы проводится сравнительный анализ представленных на конкурс инноваций с установленными организаторами конкурса требованиями к инновациям
3	Оценка	На основе проведённого анализа в рамках научно-технической экспертизы выбираются инновации, отвечающие требованиям конкурса, и рекомендуются для рассмотрения конкурсной комиссией
4	Регулирование	Поддержка процесса отбора инноваций в заданных параметрах, установленных в конкурсной документации, и сроках исполнения

ao1115.indd 44 22.10.2015 13:47:02

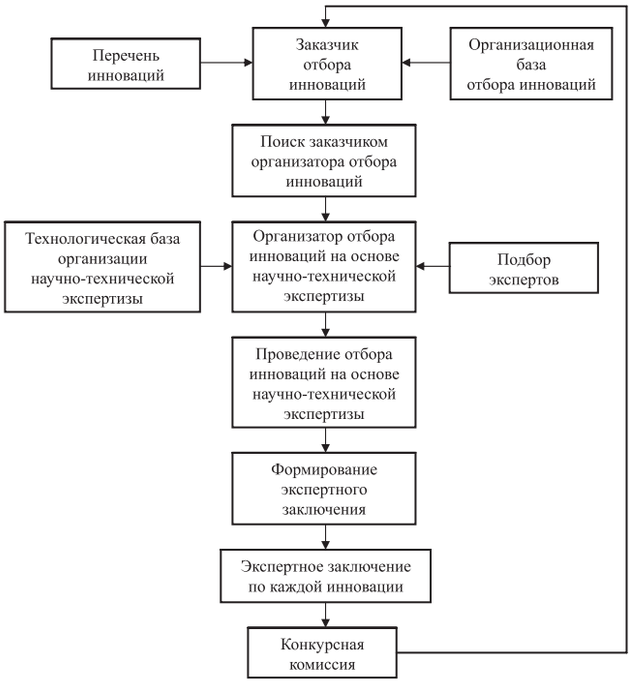


Рис. 2. Обобщённая функциональная модель организации отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы

В качестве заказчика могут выступать физические и юридические лица, которые на конкурсной основе должны проводить отбор инноваций. Для конкурсного отбора инноваций необходимо создать её организационную базу (см. рис. 2), включая разработку конкурсной документации, формирование конкурсной комиссии, обеспечение процесса отбора инноваций (см. табл. 1, п. 3).

Блок "Перечень инноваций" включает все поступающие на конкурс инновации. Блок "Поиск заказчиком организатора отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы" содержит мероприятия, обеспечивающие выбор организатора отбора инноваций.

Как правило, организатором отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы являются юридические лица, специализирующиеся на экспертной деятельности, имеющие современную технологическую базу для выполнения научно-технической экспертизы, а также значительное количество экспертов в различных областях науки и техники.

В состав блока "Технологическая база организации научно-технической экспертизы" входят современные средства коммуникаций, типовой технологический процесс научно-технической экспертизы.

В блоке "Подбор экспертов" используются внутренние поисковые системы экспертов необходимого профиля и квалификации из имеющегося реестра и других источников.

В блоке "Проведение отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы" используется технологическая база организации научно-технической экспертизы.

В блоке "Формирование экспертного заключения" каждым экспертом (исполнителем) создаётся экспертное заключение на основе анализа и оценок (см. табл. 1, п. 3).

В блоке "Экспертное заключение по каждой инновации" проводится интегральное обобщение экспертных заключений всех членов группы экспертов, участвующих в экспертизе конкретной инновации, которое является официальным экспертным заключением организатора научно-технической экспертизы.

В блоке "Конкурсная комиссия" рассматриваются поступившие от организатора экспертные заключения, в результате оценки которых в установленном порядке принимается решение о победителе конкурса и направляется заказчику.

В блоке "Заказчик отбора инноваций" заказчиком с победителем конкурса устанавливаются необходимые для выполнения им инновационной деятельности юридические и финансовые отношения.

Следует отметить, что для более подробного описания функционирования модели организации отбора инноваций (см. рис. 2), возможно её преобразование в информационно-процедурную модель, которая представляет собой набор последовательных процедур, каждая из которых содержит наименования проводимой работы, её исполнителя и запланированный результат работы. В качестве примера для построения указанной модели можно использовать информационно-процедурную модель механизма кафедрального управления научными исследованиями в высшем учебном заведении [2]. В данной работе использование информационно-процедурной модели не предусмотрено.

Рассмотрим более подробно функции заказчика отбора инноваций и организатора научно-технической экспертизы в рамках функциональной модели организации отбора инноваций.

Из рис. 2 следует, что организация отбора инноваций состоит из двух частей: поиска заказчиком отбора инноваций его организатора и организации научно-технической экспертизы отбора инноваций.

ao1115.indd 45 22.10.2015 13:47:02

При этом к основным функциям заказчика следует отнести:

принятие решения о необходимости поиска организатора отбора инноваций;

выбор организатора отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы;

финансирование в установленном порядке процесса организации научно-технической экспертизы;

взаимодействие с организатором в части передачи необходимых требований к отбору инноваций, информации о содержании каждой инновации, а также других дополнительных сведений, классификации всего перечня инноваций, направляемых организатору научно-технической экспертизы;

оказание содействия организатору экспертизы и её исполнителям в проведении всестороннего, объективного, научно-обоснованного комплексного анализа объектов экспертизы (инноваций), выработке независимых экспертных оценок;

ознакомление с промежуточными и конечными выводами научно-технической экспертизы.

Согласно рис. 2, организатор отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы после получения от заказчика требований к отбору инноваций и полноценной информации по каждой инновации анализирует цели экспертизы и задание на её проведение, разрабатывает программу проведения экспертизы в соответствии с принятой технологической схемой, имеющейся в технологической базе.

Выбор технологии экспертизы методологически должен соответствовать поставленным целям и задачам, существу и сложности анализируемой проблемы, отведённым на экспертное мероприятие времени и финансирование, а также возможности подбора участвующих в экспертизе специалистов.

Организатор осуществляет поиск исполнителей (экспертов), формирует экспертные группы, обеспечивает чёткую организацию их работы. Это является одним из решающих условий успешного проведения экспертизы. Кроме того, организатор в целом оказывает информационную, техническую, нормативно-правовую поддержку работе экспертов на всех её этапах.

Суть процесса непосредственного проведения отбора инноваций заключается в работе компетентного эксперта (исполнителя), обладающего опытом и квалификацией в определённой области знаний, необходимых для выполнения конкретного экспертного задания. Эта работа основана на использовании экспертом технологической базы организации экспертизы.

Эксперт изучает и анализирует представленный ему объект экспертизы, формирует свою оценку данного объекта, готовит и передаёт организатору экспертное заключение. Как правило, каждую инновацию анализирует и оценивает группа экспертов, в составе которой должно быть не менее трёх человек.

На основе указанных экспертных заключений организатор формирует интегральную оценку по каждому объекту экспертизы в виде заключения научно-технической экспертизы.

Экспертное заключение по каждому объекту может быть положительным или отрицательным, о чём в постановляющей части заключения должна быть соответствующая формулировка.

При приёме экспертного заключения в функции заказчика экспертизы входит проверка соблюдения требований задания на проведение научно-технической экспертизы и, при их соблюдении, принятие экспертного заключения.

Следует отметить, что процесс организации научно-технической экспертизы можно разделить на подготовительный, основной и завершающий этапы [3].

Подготовительный этап экспертизы включает:

приём материалов на экспертизу;

классификацию объекта экспертизы;

формирование критериально-оценочной системы;

выбор метода получения и обработки информации;

определение стоимости экспертных работ;

разработку технического задания на экспертизу;

подбор экспертов.

Основной этап экспертизы включает процедуру оценки объекта экспертизы независимыми экспертами.

Завершающий этап включает:

формирование обобщённого экспертного заключения;

передачу заказчику итогового экспертного заключения;

архивацию материалов экспертизы.

Следует отметить, что названные выше процедуры являются типовыми, так как не зависят ни от вида объекта экспертизы, ни от конкретных показателей оценки этого объекта, ни от его статуса и проведения экспертизы, а также от её организаторов и экспертов (исполнителей).

ao1115.indd 46 22.10.2015 13:47:02

Таким образом, можно говорить об использовании научно-технической экспертизы для отбора инноваций в различных сферах производственной, научной, финансовой, управленческой и других видах деятельности.

При этом следует отметить, что, несмотря на то, что все процедуры указанных этапов экспертизы являются типовыми для отбора инноваций в различных сферах инновационной деятельности, влияние на масштабность указанной "типовости" определяется критериально-оценочной системой, которую формирует организатор научно-технической экспертизы [3].

В табл. 2 представлен пример типовой критериально-оценочной системы инноваций в процессе их отбора на основе научно-технической экспертизы.

Процедура "Формирование критериально-оценочной системы" предусматривает выполнение следующих операций:

выбор типовой критериально-оценочной системы;

корректировка типовой критериально-оценочной системы в зависимости от специфики заявленной инновации.

Таблица 2

Типовая критериально-оценочная система для отбора инноваций в процессе инновационной деятельности

Наименование группы показателей оценки	Наименование показателей оценки
Основные ожидаемые результаты при осуществлении инновации	Показатели инновации: наименование краткая характеристика основные показатели назначение (область применения) наличие ближайших аналогов научная значимость (вклад в науку) прикладная значимость (вклад в технику) соответствие требованиям международных стандартов к подобным инновациям
Потенциал исполнителя инновации	Показатели потенциала исполнителя инновации: имеющийся научно-технический задел методы решения поставленной задачи квалификация и опыт менеджеров квалификация и опыт исполнителей и соисполнителей по данной тематике наличие необходимой технической и материальной базы сроки реализации финансовые затраты

Для выбора типовой критериально-оценочной системы необходимо установить принадлежность инновации к определённой группе однородных объектов, используя значения соответствующих допустимых классификационных признаков, например, научно-технической программы, результатов научно-технической, управленческой, инновационной и иной деятельности.

При осуществлении корректировки типовой критериально-оценочной системы необходимо:

уточнить общие показатели для конкретного объекта;

установить специфические показатели оценки и их оценочные шкалы;

установить критические значения (пороги) по избранным показателям оценки.

На этом завершается процедура "Формирование критериально-оценочной системы".

Таким образом, механизм процесса организации отбора инноваций (см. рис. 1) является достаточно наукоёмким, в связи с чем, для его осуществления необходимо использовать специальные технологии и специалистов высокой квалификации в качестве членов экспертной комиссии, организаторов и исполнителей (экспертов) научно-технической экспертизы.

Как показала практика, механизм отбора инноваций на основе научно-технической экспертизы достаточно эффективен, так как обеспечивает независимость экспертных оценок присланных на конкурс инноваций, что сохраняет высокий научный и технический уровень отобранных инноваций.

Библиографические ссылки

1. **Бовин А.А., Чередникова Л.Е., Якимович В.А.** Управление инновациями в организации. М.: Омега-Л, 2009. 416 с.

2. **Белоусов В.Л., Титков А.М., Денисов Д.Ю.** Кафедральное управление научными исследованиями в высшем учебном заведении // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2014, № 10. С. 31. URL: http://www.uecs.ru/uecs70-702014/item/3086-2014-10-18-07-29-33 (дата обращения: 20.07.2015).

3. **Белоусов В.Л., Дивуева Н.А.** Формирование модели механизма организации экспертной деятельности в сфере науки // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2013, № 8. С. 43. URL: http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view = items&id = 2318:2013-08-31-06-29-37 (дата обращения: 22.07.2015).

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Численный параметрический анализ напряжённо-деформированного состояния цилиндрической оболочки с круговым вырезом. *Вестник машиностроения.* 2015. № 4.

Рассмотрена задача о напряжённо-деформированном состоянии (НДС) цилиндрической оболочки с круговым вырезом без ограничений на его относительный размер, форму, граничные условия контура. Исследованы распределения напряжений по контуру выреза и толщине стенки оболочки, а также фактор геометрической нелинейности, определяющий НДС оболочки.

Повышение износостойкости и усталостной прочности режущих инструментов перерабатывающей отрасли. *Вестник машиностроения.* 2015. № 4.

Предложены усовершенствованная технология и конструкция оснастки для изготовления обвалочных ножей, направленные на повышение износостойкости и усталостной прочности режущего инструмента.

Автоматизированный подбор комплектующих деталей при сборке многоопорного подшипникового узла ДВС. *Вестник машиностроения.* 2015. № 4.

Представлены функциональная и структурная схемы системы автоматизированного подбора комплектующих деталей многоопорного подшипникового узла для сборки коренных подшипников коленчатого вала дизеля. Компьютерная поддержка комплектации узла обеспечивает оптимизацию зазоров в соосных парах трения коренных подшипников скольжения.

Использование изменения механических характеристик конструкционных углеродистых сталей при холодной объёмной штамповке. *Вестник машиностроения.* 2015. № 4.

На основе полученных экспериментальных данных по упрочнению стальных заготовок при холодной объёмной штамповке осуществлен выбор технологических параметров процесса, позволивших обеспечить заданный комплекс механических характеристик, включающий в себя одновременно высокие показатели прочности и пластичности.

Разработка комплексной технологии электронно-ионно-плазменного инжиниринга поверхности материалов и изделий. *Наноинженерия.* 2015. № 4.

Представлены результаты, демонстрирующие пути решения комплексной задачи, фундаментальной составляющей которой является разработка физических основ технологии электронно-ионно-плазменного инжиниринга поверхности материалов и изделий, заключающейся в формировании в едином вакуумном цикле градиентных нанофазных поверхностных слоёв, сочетающих упрочненный подслой, сформированный путем газофазного насыщения поверхности материала элементами внедрения, сверхтвердые наноструктурированные покрытия на основе нитридов тугоплавких металлов, синтезированные ионно-плазменными методами и вплавленные в подложку высокоинтенсивным электронным пучком с целью увеличения сил адгезии системы покрытие/подложка или формирования поверхностных сплавов с прогнозируемыми функциональными свойствами.

Модификация зеренной структуры никелевого сплава наноразмерными частицами тугоплавких соединений. *Наноинженерия.* 2015. № 4.

Показано, что введение в расплав никелевого сплава в процессе его охлаждения и кристаллизации композиционных порошков на основе интерметаллического соединения NiAl, содержащих наноразмерные частицы нитрида титана TiN или карбонитрида титана TiC0,5N0,5, оказывает модифицирующее влияние на размерность зеренной структуры сплава — средний размер зерна уменьшается в 3 раза. Снижение размера зерна повышает предел прочности сплава на 22 %.

Исследование свойств вакуумно-плазменных покрытий (Ti + V)N и TiN методом "Scratch-тест" на ультрамелкозернистом титановом сплаве. *Наноинженерия.* 2015. № 4.

Исследованы адгезионные свойства вакуумно-плазменных покрытий (Ti + V)N и TiN, нанесённых на поверхность титанового сплава ВТ6 с ультрамелкозернистой (УМЗ) и крупнозернистой (КЗ) структурой. Представлены результаты визуального исследования места разрушения покрытия, определена критическая нагрузка, глубина внедрения индентора, рассчитаны механические свойства материала поверхности и параметр адгезионной прочности. На сплаве с УМЗ-структурой установлено повышение адгезионной прочности покрытия к подложке и обсуждается природа этого явления.

ao1115.indd 48 22.10.2015 13:47:02