

НАУКА и ТЕХНИКА

**Международный
научно-технический журнал**



**Science
& Technique 4/2015**
**International
Science & Technique Journal**

**Серия 3. Электронные системы
Серия 6. Экономика промышленности**

**Series 3. Electronic Systems
Series 6. Economy in Industry**

Издается с января 2002 года
Периодичность издания – один раз в два месяца

Published since January 2002
Publication frequency – bi-monthly

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Founder

Belarussian National
Technical University

Главный редактор

Борис Михайлович Хрусталеv

Editor-in-Chief

Boris M. Khroustalev

Редакционная коллегия

А. С. Калиниченко (*заместитель главного редактора*),
В. В. Бабицкий, В. Г. Баштовой, А. В. Белый, В. П. Бойков,
С. В. Босаков, Ю. В. Василевич, О. Г. Девойно,
К. В. Доброго, П. И. Дячек, М. З. Згуровский (*Украина*),
Р. Б. Ивуть, М. Г. Киселев, В. М. Константинов, Я. Н. Ковалев,
В. В. Козловский, Н. В. Кулешов, С. Н. Леонович,
С. А. Маскевич, Э. И. Михневич,
Нгуен Тху Нга (*Вьетнам*), М. Опеляк (*Польша*),
О. Г. Пенязков, Г. А. Потаев, О. П. Реут, Ф. А. Романюк,
И. И. Сергей, В. Л. Соломахо, С. А. Чижик, А. Н. Чичко,
В. К. Шелег, И. Эберхардштайнер (*Австрия*),
Б. А. Якимович (*Россия*)

Editorial Board

A. S. Kalinichenko (*Deputy Editor-in-Chief*),
V. V. Babitsky, V. G. Bashtovoi, A. V. Belyi, V. P. Boikov,
S. V. Bosakov, Yu. V. Vasilevich, O. G. Devoyno,
K. V. Dobrego, P. I. Diachek, M. Z. Zgurovsky (*Ukraine*),
R. B. Ivut, M. G. Kiselev, V. M. Konstantinov, Ya. N. Kovalev,
V. V. Kozlovsky, N. V. Kuleshov, S. N. Leonovich,
S. A. Maskevich, E. I. Mikhnevich,
Nguyen Thuy Nga (*Vietnam*), M. Opelyak (*Poland*),
O. G. Peniazkov, G. A. Potaev, O. P. Reut, F. A. Romaniuk,
I. I. Sergei, V. L. Solomakho, S. A. Chizhik, A. N. Chichko,
V. K. Sheleg, J. Eberhardsteiner (*Austria*),
B. A. Yakimovich (*Russia*)

СОДЕРЖАНИЕ

Электронные системы

Невдах В. В. Моделирование динамики пожаров с разной скоростью роста в помещении с естественной вентиляцией	3
Gulay A. V., Zaytsev V. M. Intellectual Mechatronic Systems with Remote Component Interaction: Structure and Functions (Гулай А. В., Зайцев В. М. Интеллектуальные мехатронные системы с дистанционным взаимодействием компонентов: структура и функции)	12
Аземша С. А., Галущко В. Н., Скиркоvский С. В. Совершенствование экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий с помощью компьютерных программ моделирования	18
Дайняк И. В., Карпович С. Е., Кекиш Н. И., Голдын Л. Прецизионная система перемещений для оптико-механического оборудования микроэлектроники	24

CONTENTS

Electronic Systems

Nevdakh V. V. Simulation of Fire Dynamics with Various Growth Rate in Premises with Natural Ventilation	3
Gulay A. V., Zaytsev V. M. Intellectual Mechatronic Systems with Remote Component Interaction: Structure and Functions	12
Azemsha S. A., Galushko V. N., Skirkovski S. V. Improvement of Expert Analysis for Road Traffic Accidents using Computer Simulation Programs	18
Dainiak I. V., Karpovich S. E., Kekish N. I., Goldyn L. Precision Motion System for Opto-Mechanical Equipment of Microelectronics	24

Муравьев А. В., Кучеренко О. К. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов . . .	32	Muraviov A. V., Kucherenko O. K. Compositions of Athermalized Three-Component Infrared Objectives	32
Стрижнев А. Г., Русакович А. Н. Система автоматического управления переменной структуры с цифровыми регуляторами	37	Strizhnev A. G., Rusakovich A. N. Reconfigurable Control System with Discrete-Time Controllers	37
Гончаров А. А. О комплексном подходе к моделированию функционирования технологических машин	45	Honcharov A. A. About Complex Approach to Modelling of Technological Machines Functioning	45
Карпиевич Ю. Д., Бондаренко И. И. Уровень информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня гидроподжимной муфты коробки передач как показатель степени ее износа и величины остаточного ресурса	51	Karpievich Yu. D., Bondarenko I. I. Level of Information Signal from Linear Displacement Transducer for Piston of Gearbox Hydro-Pressing Clutch as Coefficient of Wear and Value of Residual Operating Time	51
Грабауров В. А. Беларусь на пороге создания интеллектуальных транспортных систем	56	Grabaurov V. A. Belarus on a Threshold for Creation of Intelligent Transport Systems	56

Экономика промышленности

Романиук В. Н., Муслина Д. Б. Прогнозирование объемов производства предприятий легкой промышленности для определения их потребности в энергоресурсах (Часть 1)	66	Romaniuk V. N., Muslina D. B. Forecasting of Production Output for Light Industry Enterprises with Purpose to Determine Their Power Resources Requirements (Part 1)	66
Кажуро Н. Я. Конкуренция как механизм рынка	77	Kazhuro N. Ya. Competition as Market Mechanism	77

Economy in Industry

Ответственный секретарь редакции

В. Н. Гурьянчик

Executive Secretary of Editorial Staff

V. N. Guryanchyk

Адрес редакции

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, корп. 2, комн. 327
220013, г. Минск, Республика Беларусь

Тел. +375 17 292-65-14

E-mail: sat@bntu.by

Address

Belarussian National Technical University
Nezavisimosty Avenue, 65, Building 2, Room 327
220013, Minsk, Republic of Belarus

Tel. +375 17 292-65-14

E-mail: sat@bntu.by

Перерегистрировано в Министерстве информации Республики Беларусь 19 декабря 2011 г.

Регистрационный номер 285

С 2002 г. издание выходило под названием «Вестник БНТУ»

ISSN 2227-1031. Подписные индексы 00662, 006622

Подписано в печать 21.07.2015. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л. 3,82. Тираж 250 экз. Дата выхода в свет 31.07.2015. Заказ № 543.

Отпечатано в БНТУ. Лицензия ЛП № 02330/74 от 03.03.2014.
220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЖАРОВ С РАЗНОЙ СКОРОСТЬЮ РОСТА В ПОМЕЩЕНИИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

Докт. физ.-мат. наук НЕВДАХ В. В.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: v.v.nev@bk.ru

С помощью программы FDS проведено компьютерное моделирование динамики начальной стадии пожаров с разной скоростью роста в помещении с естественной вентиляцией. При быстром пожаре тепловыделение 1055 кВт достигалось по квадратичному закону за 100 с, при среднем за 250 с и при медленном за 500 с. Источник пожара располагался на полу и на высоте 2 м. В качестве вентиляционных использовали дверной проем размером 0,8×2,0 м, а также отверстия 0,8×0,1 м – нижнее, расположенное над полом, и верхнее под потолком. Установлено, что в процессе развития пожары меняют свой характер – они контролируются сначала горючим материалом, а затем кислородом. На первом этапе тепловыделение пожаров меняется по тому же закону, что и массовый расход горючего материала, и пламенное горение наблюдается только в области источника пожара. На втором этапе динамика тепловыделения имеет вид нерегулярных по амплитуде и длительности пульсаций и становится зависимой от условий вентиляции. В этом случае вклад в тепловыделение пожара дает пламенное горение в области источника и/или в области самовоспламенения в слое дыма.

Получено, что при пожаре в помещении с вентиляцией в пространственном распределении температуры и задымления воздуха образуются два слоя – практически однородный верхний и нижний, который характеризуется нерегулярными пульсациями этих параметров, обусловленных возникновением самовоспламенения дыма. Показана связь этих распределений с пространственным распределением изменения давления воздуха в помещении при пожаре. При всех скоростях роста пожара наблюдается сильная зависимость динамики тепловыделения от высоты расположения источника пожара. Увеличение высоты расположения источника пожара над уровнем пола оказывает наибольшее влияние на динамику тепловыделения в случаях вентиляции через дверной проем и верхнее отверстие. Длительность этапа пожара, когда пламенное горение происходит только в области источника, сокращается, а длительность этапа, когда в слое дыма возникает самовоспламенение, возрастает. При этом амплитуды пульсаций тепловыделения, величин затемнения и температуры воздуха в нижней области дыма, где происходит самовоспламенение, увеличиваются, а скорости опускания вниз слоев дыма и нагретого воздуха замедляются.

Ключевые слова: моделирование пожара, помещение с естественной вентиляцией, скорость роста пожара, динамика тепловыделения, самовоспламенение, затемнение.

Ил. 17. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

SIMULATION OF FIRE DYNAMICS WITH VARIOUS GROWTH RATE IN PREMISES WITH NATURAL VENTILATION

NEVDAKH V. V.

Belarusian National Technical University

Computer simulation of the initial fire stage dynamics with various growth rate have been carried out with the help of FDS software. In case of a quick fire 1055 kW heat liberation has been reached in accordance with quadratic law within 100 seconds, averagely within 250 seconds and within 500 seconds when the fire rate is slow. Source of fire has been located on the floor and at the height of 2 m. A doorway of 0.8×2.0 m size and two 0.8×0.1 m openings have been used as ventilation holes. One opening has been located at the bottom over the floor and the other one has been positioned under the ceiling. It has been established that in the process of their development fires change their character in the following way: at the initial stage they are controlled by inflammable materials and then the fires are controlled by oxygen. At the first stage heat liberation is changed in accordance with the same law which is used for mass rate of an inflammable material and flame combustion is observed only in the field of the fire source. At the second stage heat liberation dynamics has a form of pulsations which are irregular in amplitude and duration and the dynamics becomes dependable on ventilation conditions. At this stage flame combustion in the source zone and/or self-ignition in the smoke layer provide a corresponding contribution in fire heat liberation.

It has been determined that two layers have been formed in case of a fire in the premises with ventilation in the spatial distribution of temperature and air fumigation. These top and bottom layers are practically uniform and they are characterized by irregular pulsations of the parameters which are due to smoke self-ignition occurrence. The paper shows relationship of these distributions with spatial distribution of air pressure changes in the premises during a fire. A significant dependence of heat liberation dynamics on fire source location height is observed at all fire growth rates. An increase in fire source location height above floor level exerts the most significant influence on heat liberation dynamics when ventilation occurs through a doorway and a top opening. Duration of the fire stage when flame combustion occurs in the source zone is reduced and duration of the stage when self-ignition takes place in the smoke layer is increased. In such a case heat liberation pulsation amplitudes, black-out values and air temperature in the bottom smoke zone where the self-ignition occurs are increasing and the rates of smoke layer and heated air sinking are slowing down.

Keywords: fire simulation, premises with natural ventilation, fire growth rate, heat liberation dynamics, self-ignition, black-out.

Fig. 17. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

Введение. Успешная эвакуация людей в случае возникновения пожара в помещении возможна только на первом, начальном этапе его развития. Развитие пожара в помещении зависит от характеристик горения топлив, их физической конфигурации, присутствия воздуха и геометрии помещения. Основным параметром для описания скорости роста пожара обычно является величина тепловыделения, или мощность пожара. Считается, что после того как достигнуто стабильное пламя, большинство пожаров растет с ускорением, достигая установившегося режима, характеризующегося максимальным тепловыделением, и затем переходит в стадию затухания из-за ограниченного количества топлива или недостатка кислорода для горения [1–3]. При разной скорости роста пожара в помещении наблюдается различная динамика его опасных факторов.

При описании динамики начального этапа пожара в помещении скорость его развития обычно характеризуется временем, необходимым для достижения заданной мощности тепловыделения Q^* после начала горения стабильным пламенем. Исследования показали, что мощность тепловыделения Q большинства пожаров может быть выражена так называемой моделью степенного закона развития пожара [1]

$$Q = \alpha(t - t_0)^2,$$

где $\alpha = Q^*/t_g^2$ – скорость роста пожара; t_g – время, которое должно пройти с момента возникновения стабильного пламени до достижения заданной величины мощности тепловыделения; t_0 – время появления стабильного пламени; t – текущее время. До момента t_0 горючие

материалы могут тлеть, но не будет стабильного пламенного горения.

По скорости роста пожары в помещении принято классифицировать на медленные, средние или быстроразвивающиеся с момента времени, когда появляется установившееся пламя, до момента достижения мощности тепловыделения $Q^* = 1055$ кВт (табл. 1).

Таблица 1

Классификация пожаров по скорости роста

Вид скорости пожара	Время роста пожара t_g , с	Скорость роста пожара α , кВт/с ²
Быстрая	$t_g < 150$	$\alpha > 0,0470$
Средняя	$150 \leq t_g < 400$	$0,0066 < \alpha \leq 0,0470$
Медленная	$t_g \geq 400$	$\alpha \leq 0,0066$

Начальные этапы пожаров в помещениях исследовали как при экспериментальном моделировании тестовых и полномасштабных пожаров, так и при компьютерном их моделировании [4–7]. Следует отметить, что получаемые экспериментальные результаты не всегда согласуются с модельными расчетами. Это является следствием того, что с теплофизической точки зрения пожар в помещении – сложная нелинейная система, в которой протекают процессы тепло-, массо- и радиационного переноса, а их динамика изучена недостаточно.

Целью исследований являлось компьютерное моделирование с помощью программы Fire Dynamics Simulator (FDS) динамики начальной стадии пожаров с разной скоростью развития в помещении с естественной вентиляцией.

Модель помещения и условия моделирования пожара. Моделирование пожара осуществляли с помощью программы FDS (version 5) [8]. С помощью специального графического интерфейса PyroSim в прямоугольной

расчетной сетке с кубическими ячейками с ребром 0,1 м создали трехмерную модель помещения – комнаты размером 4,5×5,1×3,0 м (рис. 1).

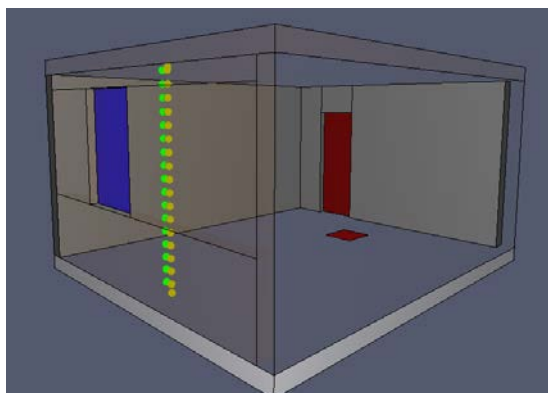


Рис. 1. Вид трехмерной модели комнаты

В качестве материала для пола толщиной 0,3 м и потолка комнаты толщиной 0,2 м выбран бетон, а для стен толщиной также 0,2 м – кирпич. В комнате имелись расположенные в противоположных стенах застекленное окно размерами 1,0×1,4 м и деревянная дверь 0,8×2,0 м. В модели использовали справочные значения параметров, определяющих тепловую инерцию конструкционных материалов комнаты – плотностей, удельных теплоемкостей и коэффициентов теплопроводности.

Моделировали помещение с естественной вентиляцией через отверстия разного размера – дверной проем, а также отверстия размерами 0,8×0,1 м, расположенные в нижней части двери от уровня пола и вверх под потолком над дверью.

Источник пожара (burner) размерами 0,5×0,5 м последовательно располагали на полу и на высоте 2,0 м от уровня пола на расстоянии 0,8 м от стены с дверью. Детектируемыми параметрами пожара были: массовая скорость горения материала (кг/с); величина тепловыделения пожара (кВт); температура воздуха в помещении (°C); затемнение (%/м) и изменение давления воздуха в помещении относительно начального атмосферного (Па).

Температуру и задымление воздуха контролировали наборами соответствующих датчиков температуры и дыма (по 17 штук в каждом наборе), расположенных по вертикальной оси с интервалом 0,15 м, нижние из которых размещались на высоте 0,09 м над уровнем пола, а верхние – на высоте 2,49 м от уровня пола. Ось датчиков находилась на расстоянии 0,20 м

от стены комнаты с окном. Датчики давления воздуха располагались на высотах 0,09 и 2,49 м. Взаимное расположение источника пожара и датчиков в комнате видно из рис. 1.

Для удобства работы с моделью и наблюдения за развитием пожара с помощью специальной программы визуализации данных Smoke-View [9] потолок и стены комнаты были сделаны частично прозрачными.

Результаты моделирования и их обсуждение. В соответствии с табл. 1 были выбраны следующие скорости роста пожара α , кВт/с²: для быстрого пожара $\alpha_f = 0,1055$; для среднего $\alpha_m = 0,01688$; для медленного $\alpha_{sl} = 0,00422$. При этом расчетное время нарастания пожара t_g до достижения источником мощности тепловыделения $Q^* = 1055$ кВт составляло 100, 250 и 500 с соответственно. Далее пожар продолжался с постоянной скоростью расходования горючего материала. Полное время моделирования составляло 600 с для всех трех типов пожаров и начиналось с момента, когда тепловыделение источника достигало величины 10 кВт, при которой наблюдалось стабильное пламя. Динамика изменения массовой скорости расхода горючего материала для этих пожаров представлена на рис. 2.

Моделирование показало, что для всех скоростей роста пожара наблюдается зависимость динамики тепловыделения от условий вентиляции.

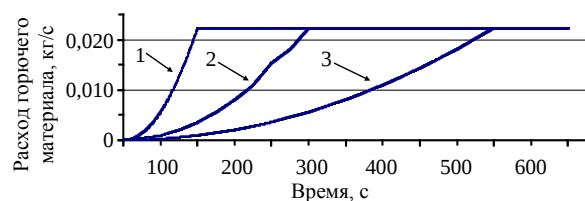


Рис. 2. Зависимость массового расхода горючего материала источником пожара от времени при скорости роста пожара: 1 – быстрый; 2 – средней; 3 – медленной

Динамика тепловыделения пожара с медленной скоростью роста (источник пожара расположен на полу комнаты) для трех случаев естественной вентиляции показана на рис. 3. Из рис. 3 видно, что на начальном этапе пожара тепловыделение меняется по тому же закону, что и массовый расход горючего материала. Это соответствует пожару, контролируемому горючим материалом. Факел пламени наблюдается в области источника пожара.

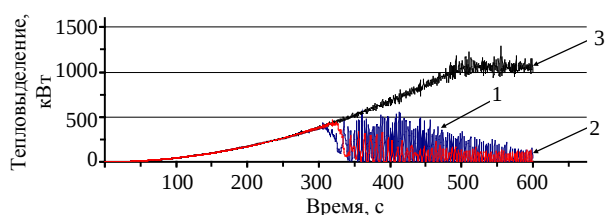


Рис. 3. Зависимость тепловыделения от времени при медленном пожаре в комнате с источником на полу: 1 – вентиляция через отверстие внизу над полом; 2 – то же вверх под потолком; 3 – дверной проем

Начиная с некоторого момента времени характер пожара меняется – он становится пожаром, контролируемым кислородом, и динамика его тепловыделения начинает зависеть от условий вентиляции.

В случае вентиляции через дверной проем пламенное горение в области источника ослабевает, но возникает вероятность самовоспламенения горючего в областях дыма, прилегающих к источнику. Так как данные условия создаются хаотически в разных местах, где происходит хаотическое тепловыделение, это усиливает газодинамические процессы в помещении, приводящие к увеличению пуль-

саций факела пламени и его смещению в стороны от источника.

Таким образом, вклад в тепловыделение пожара дает пламенное горение в областях источника и самовоспламенения в прилегающих слоях дыма. Поступление кислорода через дверной проем оказывается достаточным для того, чтобы после окончания участка роста пожар имел квазистационарный характер по тепловыделению (рис. 3, зависимость 3).

Картины медленного пожара в разные моменты времени в комнате с вентиляцией через дверной проем показаны на рис. 4 в левой колонке. Динамика пространственного распределения дыма в комнате при таком пожаре представлена на рис. 5, 6. Из рисунков видно, что через ~150 с после начала пожара дым опускается практически до уровня пола (детектора на высоте 0,09 м) и в помещении по высоте формируются два слоя дыма – нижний, между полом и высотой 1,14 м, в котором величину затемнения контролируют восемь детекторов дыма, и верхний – от высоты 1,29 м и до потолка (2,5 м), контролируемый девятью детекторами.

Вентиляция через дверной проем	Вентиляция через нижнее отверстие над полом	Вентиляция через верхнее отверстие под потолком
300-я секунда пожаров		
400-я секунда пожаров		
600-я секунда пожаров		

Рис. 4. Картины медленных пожаров в разные моменты времени в комнате с естественной вентиляцией через различные отверстия с источником пожара, расположенным на полу

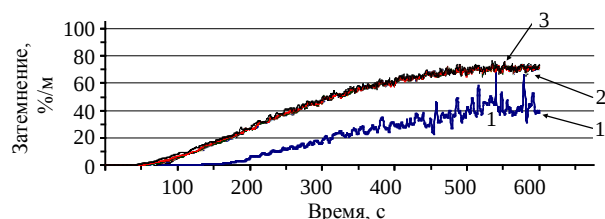


Рис. 5. Зависимость затемнения воздуха от времени при медленном пожаре в комнате с источником на полу и вентиляции через дверной проем: на высоте 0,09 м (1); в верхнем слое между высотами 1,29 (2) и 2,49 м (3)

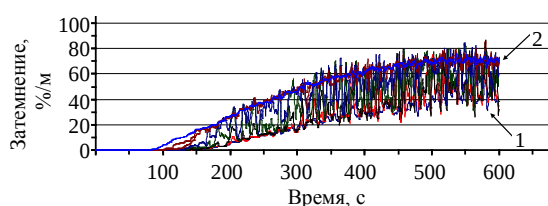


Рис. 6. Зависимость затемнения воздуха от времени при медленном пожаре в комнате с источником на полу и вентиляции через дверной проем: в нижнем слое между высотами 0,09 (1) и 1,14 м (2)

Верхний слой дыма является практически однородным по высоте (рис. 5, зависимости 2, 3), тогда как в нижнем слое наблюдаются пульсации затемнения, амплитуда которых достигает величины 40 %/м (рис. 6). Эти пульсации вызваны газодинамическими возмущениями, появляющимися при возникновении самовоспламенения в разных местах нижнего слоя дыма.

Динамика пространственного распределения температуры воздуха подобна динамике распределения дыма. Пример распределения изменения давления воздуха в вертикальной плоскости по центру помещения при моделируемом пожаре показан на рис. 7.

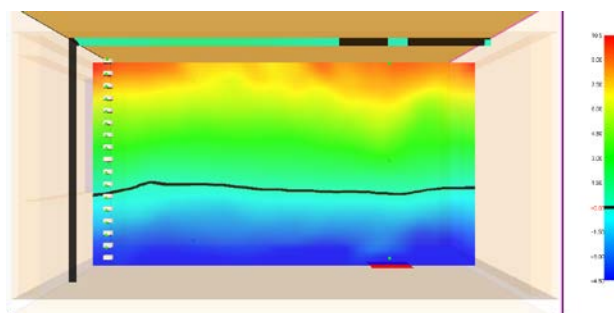


Рис. 7. Пространственное распределение изменения давления воздуха на 590-й с медленного пожара с источником на полу и вентиляции через дверной проем (темной линией показано положение нейтральной поверхности)

Из рис. 7 видно, что пожар протекает в условиях действия эффекта дымовой трубы — есть нейтральная поверхность, на уровне которой давление воздуха в помещении равно наружному начальному давлению. Выше уровня нейтральной поверхности давление воздуха в помещении больше, а ниже этого уровня оно меньше наружного давления. Такое распределение давления обеспечивают приток свежего наружного воздуха через нижнюю часть дверного проема и выход нагретого воздуха и дыма из помещения через верхнюю часть вентиляционного отверстия.

Динамика изменения давления воздуха на высотах, ниже и выше уровня нейтральной поверхности, представлена на рис. 8. Величина создаваемой разности давлений зависит от объема помещения, мощности пожара и площади вентиляционного отверстия.

Картины медленного пожара в помещении с вентиляцией через нижнее отверстие над полом в разные моменты времени показаны на рис. 4 в средней колонке. В динамике такого пожара можно выделить три этапа (рис. 3, зависимость 1).

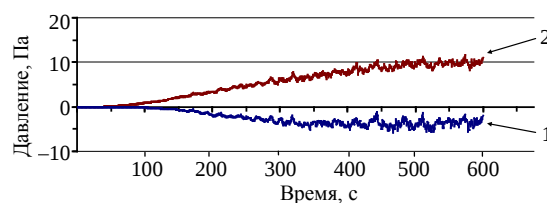


Рис. 8. Зависимость изменения давления воздуха от времени при медленном пожаре в комнате с источником на полу и вентиляции через дверной проем: 1 — высота 0,09 м; 2 — 2,49 м

В течение первого этапа пожар протекает по сценарию пожаров, контролируемых горючим материалом. Тепловыделение пожара повышается с ростом массового расхода горючего материала до момента времени ~250 с, и пламенное горение происходит только в области источника. К этому моменту времени помещение полностью наполняется практически однородным по высоте дымом (рис. 9), а вертикальный градиент температуры воздуха между высотами 0,09 и 2,49 м составляет ~100 °С (рис. 10).

Второй этап пожара происходит в интервале времени между 250-й и 450-й с. До момента времени ~310 с тепловыделение пожара растет

за счет пламенного горения над источником и появления мелкомасштабных областей самовоспламенения дыма вблизи источника и на нижней границе слоя дыма. Возникновение областей самовоспламенения приводит к появлению пульсаций на зависимостях температуры воздуха от времени в тонком слое над полом (рис. 11), а также способствует перемешиванию дыма в помещении.

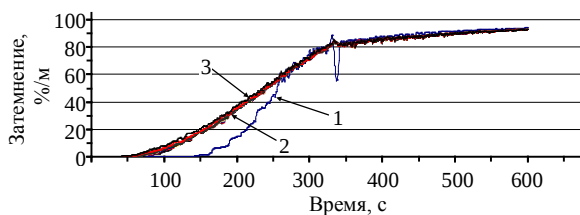


Рис. 9. Зависимость затемнения воздуха от времени при медленном пожаре в комнате с источником на полу и вентиляции через нижнее отверстие: на высоте 0,09 м (1); в верхнем слое между высотами 1,29 (2) и 2,49 м (3)

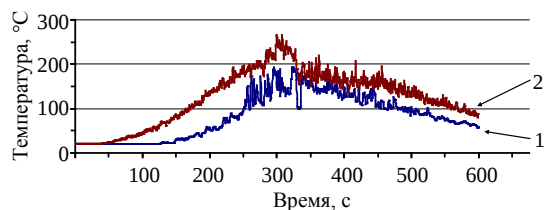


Рис. 10. Зависимость температуры воздуха от времени на высоте 0,09 (1) и 2,49 м (2) при медленном пожаре в комнате с источником на полу и вентиляцией через нижнее отверстие

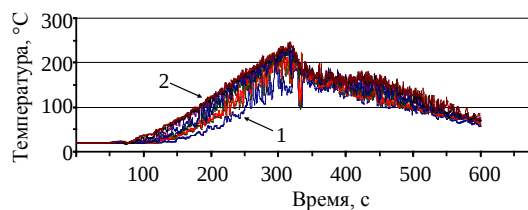


Рис. 11. Зависимость температуры воздуха от времени в нижнем слое между высотами 0,09 (1) и 1,14 м (2) при медленном пожаре в комнате с источником на полу и вентиляции через нижнее отверстие

С момента времени ~310 с развитие пожара начинает контролироваться содержанием кислорода. Интенсивность пламенного горения в области источника уменьшается, что ведет к понижению температуры воздуха, несмотря на увеличение интенсивности областей самовоспламенения на нижней границе дыма (рис. 11). На зависимости тепловыделения от

времени появляется спад, сменяющийся хаотическими пульсациями (рис. 3, зависимость 1). Места самовоспламенения дыма смещаются с течением времени пожара в область между источником и вентиляционным отверстием, и к ~450-й с самовоспламенение происходит только вблизи вентиляционного проема (рис. 4).

Третий этап пожара начинается с ~450-й с и до окончания моделирования (рис. 3, зависимость 1). Помещение оказывается полностью заполненным дымом, оптическая плотность которого медленно увеличивается (рис. 9). В то же время температура воздуха и ее градиент медленно снижаются (рис. 10).

Медленный пожар в помещении с вентиляцией через верхний проем под потолком протекает примерно так же, как и с вентиляцией через нижнее отверстие над полом. Динамика тепловыделения, пространственного распределения температуры и затемнения воздуха мало отличается для этих двух случаев. Различия есть только в местах расположения областей самовоспламенения дыма (рис. 4, правая колонка) и в пространственном распределении давления воздуха (рис. 12).

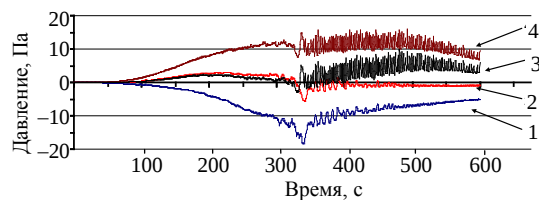


Рис. 12. Зависимость изменения давления воздуха от времени на высоте 0,09 (1, 3) и 2,49 м (2, 4) при медленном пожаре в комнате с источником на полу и вентиляции через отверстие сверху (1, 2) и внизу (3, 4)

Из рис. 12 видно, что в случае расположения вентиляционного отверстия высотой 0,1 м внизу медленный пожар создает повышенное давление с небольшим градиентом по высоте практически во всем объеме помещения. Только в небольшой области, примыкающей к полу возле этого отверстия, давление воздуха в помещении меньше наружного. Нейтральная поверхность давления находится ниже верхней границы проема. В результате такого распределения давления через верхнюю часть отверстия наружу идет поток нагретого воздуха и дыма, а через нижнюю его часть — свежий воздух в помещение. Однако образующийся при дан-

ных условиях моделирования небольшой градиент давления обеспечивает поток свежего воздуха в помещение, достаточный для самовоспламенения дыма только вблизи вентиляционного отверстия.

Кроме того, из рис. 12 видно, что в случае расположения такого же вентиляционного проема сверху под потолком на первом этапе медленного пожара нейтральная поверхность давления располагается немного ниже уровня отверстия и в большей части помещения образуется область пониженного давления с небольшим градиентом по высоте. На втором этапе пожара эта область расширяется и нейтральная поверхность давления воздуха поднимается под потолок выше нижнего уровня вентиляционного проема. Как и с отверстием внизу, образующийся в данном случае небольшой градиент давления воздуха формирует только слабый поток свежего воздуха в помещение, создавая условия для самовоспламенения дыма лишь вблизи вентиляционного проема.

Динамика тепловыделения пожаров со средней и быстрой скоростями роста с источником, расположенным на полу комнаты, для трех случаев естественной вентиляции представлена на рис. 13а, б соответственно.

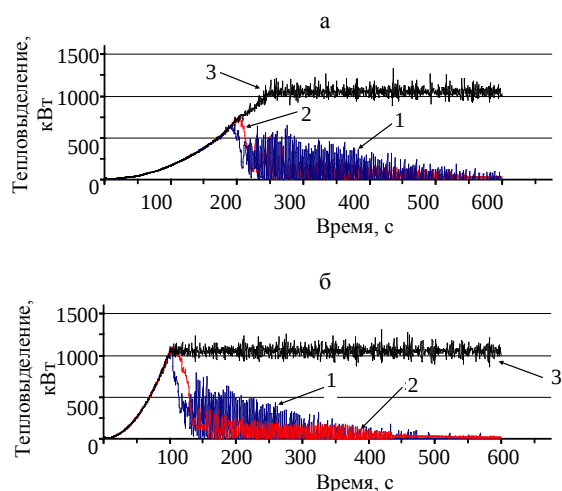


Рис. 13. Зависимость тепловыделения от времени при среднем (а) и быстром (б) пожарах в комнате с источником на полу и естественной вентиляцией через отверстие внизу (1), вверх (2) и дверной проем (3)

Моделирование показало, что влияние скорости роста пожаров в помещении с естественной вентиляцией на динамику их начальной

стадии носит количественный характер. С увеличением скорости роста пожаров повышаются температуры воздуха и их вертикальные градиенты, быстрее достигается максимальное затемнение, возрастают градиенты давления, быстрее происходит смена этапов пожара.

Моделирование также показало, что, как и в случае стационарных пожаров [10], для всех скоростей роста и условий вентиляции пожара наблюдается сильная зависимость динамики тепловыделения от высоты расположения источника пожара. Динамика тепловыделения соответственно при медленной, средней и быстрой скоростях роста рисунков пожара в помещении с источником на высоте 2 м для трех случаев вентиляции показана на рис. 14.

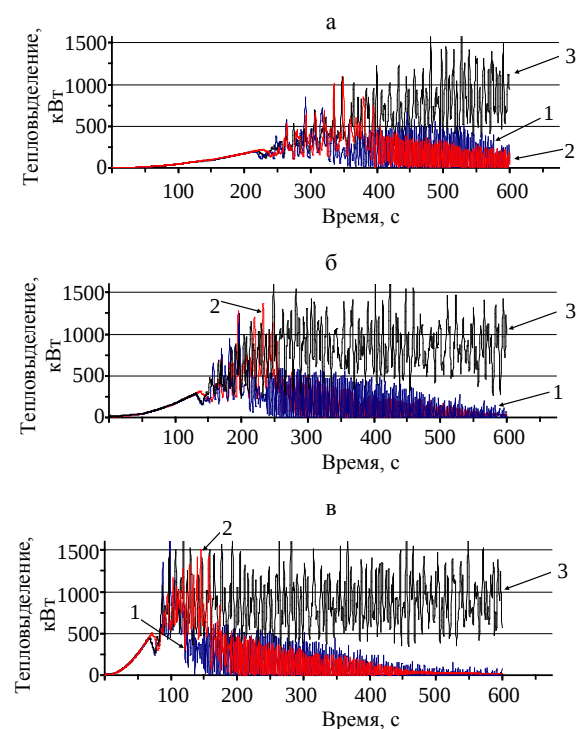


Рис. 14. Зависимость тепловыделения от времени при медленном (а), среднем (б) и быстром (в) пожарах в комнате с источником на высоте 2 м (б) и естественной вентиляцией через отверстие внизу (1), вверх (2) и дверной проем (3)

Из сравнения этих данных с рис. 3 и 13 видно, что поднятие источника пожара с любой скоростью роста на высоту 2 м оказывает наибольшее влияние на динамику тепловыделения в случаях вентиляции через дверной проем и верхнее отверстие. Длительность первого этапа, когда пламенное горение происхо-

дит только в области источника, сокращается, а длительность второго этапа, когда пламенное горение (самовоспламенение) идет в слое дыма, возрастает. При этом амплитуды пульсаций на зависимостях тепловыделения от времени заметно увеличиваются. Следствием этого является увеличение амплитуд пульсаций величин затемнения и температуры воздуха в нижней области дыма, где возникает самовоспламенение.

При поднятии источника пожара также заметно замедляются скорости опускания вниз слоев дыма и нагретого воздуха. В качестве примера на рис. 15, 16 показана динамика изменения затемнения и температуры воздуха под потолком и в нижней зоне помещения при медленном пожаре с источником на высоте 2 м и вентиляцией через верхнее отверстие. Картины медленных пожаров в разные моменты времени в комнате с естественной вентиляцией через различные проемы и с источником пожара, расположенным на высоте 2 м, показаны на рис. 17.

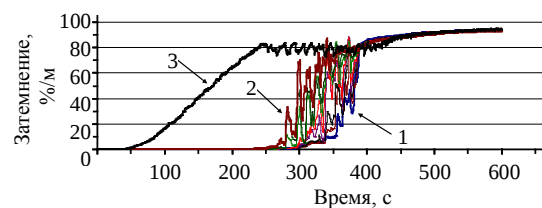


Рис. 15. Зависимость затемнения от времени в нижнем слое между высотами 0,09 (1) и 1,14 м (2) и на высоте 2,49 м (3) при медленном пожаре в комнате с источником на высоте 2 м и вентиляцией через верхнее отверстие

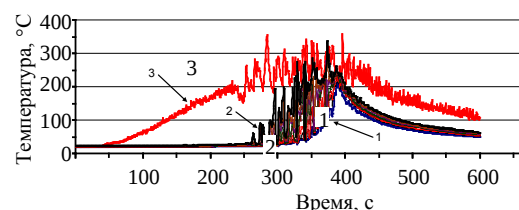


Рис. 16. Зависимость температуры воздуха от времени в нижнем слое между высотами 0,09 (1) и 1,14 м (2) и на высоте 2,49 м (3) при медленном пожаре в комнате с источником на высоте 2 м и вентиляцией через верхнее отверстие

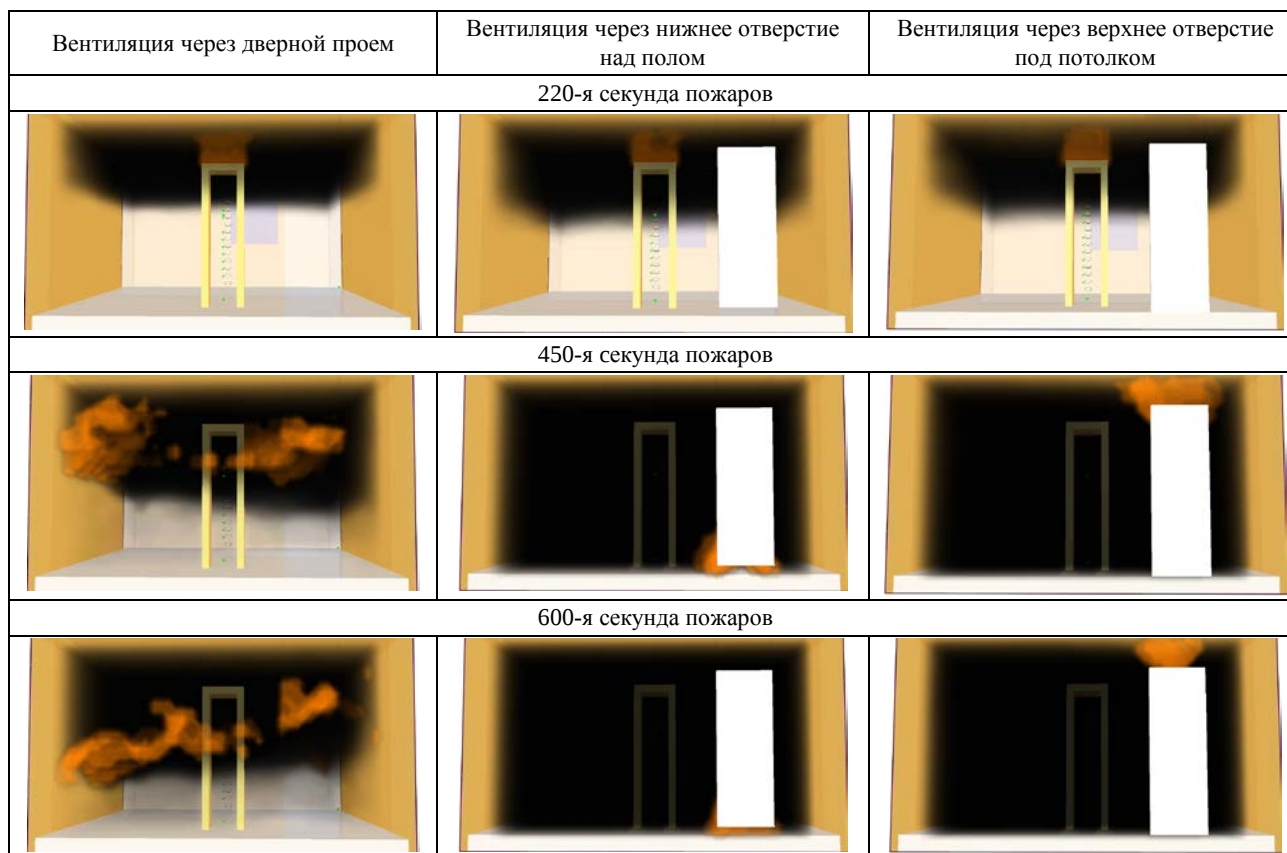


Рис. 17. Картины медленных пожаров в разные моменты времени в комнате с естественной вентиляцией через различные отверстия с источником пожара, расположенным на высоте 2 м

ВЫВОДЫ

1. С помощью программы FDS выполнено компьютерное моделирование начальной стадии пожаров с различной скоростью роста в помещении с естественной вентиляцией и источником, расположенным на полу и на высоте 2 м. Моделирование показало, что все пожары в помещении с естественной вентиляцией через одно отверстие протекают в условиях действия эффекта дымовой трубы – в помещении образуется нейтральная поверхность, на которой давление воздуха равно наружному начальному давлению. Выше уровня нейтральной поверхности давление воздуха в помещении больше, а ниже этого уровня оно меньше наружного давления. Такое распределение давления обеспечивает приток свежего наружного воздуха через нижнюю часть дверного проема и выход нагретого воздуха и дыма из помещения через верхнюю часть вентиляционного отверстия. Величина создаваемой разности давлений зависит от объема помещения, мощности пожара и площади вентиляционного проема.

2. Пожары с разной скоростью роста в помещениях с естественной вентиляцией меняют свой характер с течением времени. Начальный этап пожара с любой скоростью роста соответствует пожару, контролируемому горючим материалом, и его тепловыделение увеличивается по тому же закону, что и массовый расход горючего материала. Факел пламени на этом этапе находится в области источника пожара.

Начиная с некоторого момента времени характер пожара меняется – он становится пожаром, контролируемым кислородом с динамикой тепловыделения, зависящей от условий вентиляции. Этот этап характеризуется нерегулярными пульсациями тепловыделения, вклад в которое дают пламенное горение в области источника и самовоспламенение дыма в прилегающих к источнику местах. Длительность этого этапа увеличивается при уменьшении скорости роста пожара и увеличении высоты расположения источника.

Дальнейшее развитие пожара зависит от условий вентиляции. При размерах вентиляционного отверстия, обеспечивающих приток достаточного количества свежего воздуха, области самовоспламенения могут возникать в слое дыма по всей площади помещения. В помеще-

ниях с вентиляционными проемами меньших размеров пламенное горение происходит только вблизи вентиляционного отверстия. Зависимость тепловыделения от времени на этом этапе представляет собой хаотическую последовательность импульсов с убывающей амплитудой.

3. Моделирование показало, что все пространство помещения может быть разделено по высоте на слои, характеризующиеся своими значениями температуры и затемнения воздуха, их градиентами и наличием в них областей самовоспламенения. Толщины этих слоев, величины градиентов температуры и затемнения в них зависят от скорости роста пожара и высоты расположения его источника. С повышением скорости роста пожаров увеличиваются температуры воздуха и их вертикальные градиенты, быстрее достигается максимальное затемнение, возрастают градиенты давления, быстрее происходит смена этапов пожара.

Увеличение высоты расположения источника пожара над уровнем пола оказывает наибольшее влияние на динамику тепловыделения в случаях вентиляции через дверной проем и верхнее отверстие. Длительность этапа пожара, когда пламенное горение происходит только в области источника, сокращается, а длительность этапа, когда в слое дыма возникает самовоспламенение – возрастает. При этом амплитуды пульсаций тепловыделения, величин затемнения и температуры воздуха в нижней области дыма, где происходит самовоспламенение, увеличиваются. При поднятии источника пожара также замедляются скорости опускания вниз слоев дыма и нагретого воздуха.

4. Полученные результаты моделирования следует учитывать при разработке систем пожарной сигнализации для помещений, имеющих различную пожарную нагрузку, а также при расчетах времени эвакуации людей из таких помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Drysdale, D.** An Introduction for Fire Dynamics / D. Drysdale. – Third Edition. – Chichester: Willey, 2011. – 551 p.
2. **Кошмаров, Ю. Л.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю. Л. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

3. Молчадский, И. С. Пожар в помещении / И. С. Молчадский. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.

4. **Experimental** and Theoretical Model of Flashover / P. G. Holbom [et al.] // *Fire Safety Journal*. – 1993. – Vol. 21, No 3. – P. 257–266.

5. **Graham, T. L.** On the Theory of Flashover Development / T. L. Graham, G. M. Makhviladze, J. P. Roberts // *Fire Safety Journal*. – 1995. – Vol. 25, No 3. – P. 229–259.

6. **Poulsen, A.** Experimental Study on the Burning Behavior of Pool Fires in Rooms with Different Wall Linings / A. Poulsen, G. Jomaas // *Fire Technology*. – 2012. – Vol. 48, No 2. – P. 419–439.

7. **Novozhilov, V.** Non-Linear Dynamical Model of Compartment Fire Flashover / V. Novozhilov // *Journal of Engineering Mathematics*. – 2010. – Vol. 67, No 4. – P. 387–400.

8. **Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model**, NIST Special Publication 1018-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg: MA, 2008. – 92 p.

9. **Forney, G.** User's Guide for Smokeview Version 5: A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, NIST Special Publication 1017-1 / G. Forney. – Washington: U.S. Government Printing Office, 2008. – 142 p.

10. **Невдах, В. В.** Моделирование начального этапа стационарного пламенного пожара в закрытом помещении / В. В. Невдах, А. А. Антошин, И. Е. Зуйков // *Наука и техника*. – 2014. – № 3. – С. 28–35.

2. **Koshmarov, Yu. L.** (2000) *Danger Factor Forecasting of Fire in the Premises*. Moscow, State Fire Academy of EMERCOM of Russia. 118 p. (in Russian).

3. **Molchadsky, I. S.** (2005) *Fire in Premises*. Moscow, All-Russian Scientific-Research Institute for Fire Protection [VNIPO]. 456 p. (in Russian).

4. **Holbom, P. G.**, Bishop, S. R., Drysdale, D. D., & Beard, A. N. (1993) Experimental and Theoretical Model of Flashover. *Fire Safety Journal*, 21 (3), 257–266. Doi: 10.1016/0379-7112(93)90030-T.

5. **Graham, T. L.**, Makhviladze, G. M., & Roberts, J. P. (1995) On the Theory of Flashover Development. *Fire Safety Journal*, 25 (3), 229–259. Doi: 10.1016/0379-7112(95)00049-6.

6. **Poulsen, A.**, & Jomaas, G. (2012) Experimental Study on the Burning Behavior of Pool Fires in Rooms with Different Wall Linings. *Fire Technology*, 48 (2), 419–439. Doi: 10.1007/s10694-11-0230-0.

7. **Novozhilov, V.** (2010) Non-Linear Dynamical Model of Compartment Fire Flashover. *Journal of Engineering Mathematics*, 67 (4), 387–400. Doi: 10.1007/s10665-009-9333-8.

8. **McGrattan, K.**, Hostikka, S., Floyd, J., Baum, H., & Rehm, R. (2008) *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model*. NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MA. 92 p.

9. **Forney, G.** (2008) *User's Guide for Smokeview Version 5: A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data*. NIST Special Publication 1017-1. Washington: U.S. Government Printing Office. 142 p.

10. **Nevdakh, V. V.**, Antoshin, A. A., & Zuikov, I. E. (2014) Initial Stage Simulation of Stationary Flaming Fire in the Closed Premises. *Nauka i Tekhnika* [Science & Technique], 3, 28–35 (in Russian).

Поступила 15.05.2015

REFERENCES

1. **Drysdale, D.** (2011) *An Introduction for Fire Dynamics*. Third Edition. Chichester, Wiley. 551 p. Doi: 10.1002/9781119975465.refs.

UDC 004.89

INTELLECTUAL MECHATRONIC SYSTEMS WITH REMOTE COMPONENT INTERACTION: STRUCTURE AND FUNCTIONS

GULAY A. V., ZAYTSEV V. M.

Belarusian National Technical University

Basic requirements to sensor and controlling tracts of mechatronic systems with the remote organization of object control processes have been considered in the paper. A rational approach presupposes designing of the mentioned systems as multi-channel technical complexes intended for parallel or quasi-parallel force-moment control of outlet mechanical links (motion modules) by multiple coordinates of the required phase space. It has been shown that the use of digitizing principles and distributed data procession in mechatronic systems makes it possible to pass to the unified structure and typical set of software and hardware functions of the aforesaid tracts.

The paper gives consideration to a structural and functional scheme of the mechatronic system which contains an intellectual sensor device, a controlling center and an intellectual executive mechanism. The tasks that are linked with organization of preliminary information procession and construction of the systematic interface for transfer of telemetric transactions between controlled objects and the control center have been specified in the paper. Solution of a functionally full set of logically completed tasks is imposed to software and hardware tracts of the mechatronic system which is based on the above-mentioned principles.

The paper presents preliminary distribution of functions according to the system resources that is between an intellectual sensor unit, a control center and an intellectual executive mechanism. One of the most important features is an informational compatibility of the system components which is achieved owing to the use of unified transactions. The noise immune data coding expands useful informational transaction volume to some actual volume. It has been shown that construction of tract transfer and transaction reception in the intellectual mechatronic system on the basis of radio channels is considered as the most complicated technical solution.

Keywords: intellectual mechatronic systems, components, structure, function.

Fig. 1. Tab. 1. Ref.: 9 titles.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ С ДИСТАНЦИОННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ КОМПОНЕНТОВ: СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ

*Лауреат Государственной премии БССР, канд. техн. наук, доц. ГУЛАЙ А. В.,
канд. техн. наук, доц. ЗАЙЦЕВ В. М.*

Белорусский национальный технический университет

E-mail: is@bntu.by

Проанализированы базовые требования, предъявляемые к сенсорным и управляющим трактам мехатронных систем с дистанционной организацией процессов контроля и управления объектами. Рациональным подходом является проектирование указанных систем как многоканальных технических комплексов, рассчитанных на параллельное или квазипараллельное силомоментное управление выходными механическими звеньями (модулями движения) по множеству координат требуемого фазового пространства. Показано, что применение в мехатронных системах принципов цифровизации и распределенной обработки данных позволяет перейти к унифицированной структуре и типовому набору функций аппаратных и программных средств указанных трактов.

Рассмотрена структурно-функциональная схема мехатронной системы, содержащей интеллектуальное сенсорное устройство, центр управления и интеллектуальный исполнительный механизм. Специфицированы задачи, связанные с организацией предварительной обработки информации и построением системного интерфейса передачи телеметрических транзакций между контролируемыми объектами и центром управления. На аппаратные и программные средства трактов мехатронной системы, построенной на основе указанных принципов, возлагается решение функционально полного набора завершенных в логическом отношении задач.

Представлено предварительное распределение функций по ресурсам системы – между интеллектуальным сенсорным устройством, центром управления и интеллектуальным исполнительным механизмом. Один из важнейших показателей – информационная совместимость составных частей системы – достигается за счет применения унифицированных транзакций. Помехоустойчивое кодирование данных расширяет полезный информационный объем транзакции до некоторого фактического объема. Показано, что наиболее сложным техническим решением является построение в интеллектуальной мехатронной системе трактов передачи и приема транзакций на основе радиоканалов.

Ключевые слова: интеллектуальные мехатронные системы, компоненты, структура, функция.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

Combination of radio electronic equipment, algorithms of digital procession of information and software makes it possible to create multifunctional mechatronic systems having a high level of combination of fulfilled functions. A rational approach includes design of the said systems as multichannel technical complexes intended for parallel or quasi-parallel force-moment control of outlet mechanical links (motion modules) by multiple coordinates of the required phase space [1, 2]. Within the frameworks of this approach basic requirements have been analyzed to sensor and controlling tracts of mechatronic systems with remote organization of transactions. A structural and functional scheme of the mechatronic system has been

considered, which contains an intellectual sensor device, a controlling center and an intellectual executive mechanism. The full functional set of tasks has been provided to be resolved with the aid of hardware and software of the intellectual mechatronic system.

Structural unification of intellectual mechatronic systems having the remote organization of transactions. At preliminary stages of designing the mechatronic systems a basic set of certain structural and functional requirements is formed. In accordance with technical standard and legal acts in the field of technical regulation these requirements specify the following aspects of systems construction:

- composition and types of control objects;
- quantity of control coordinates in the phase space and the required laws (types of trajectories) of motion modules travel;
- speed and precision features of processes of changing the location of working bodies;
- allowed parameters of control persistence;
- remoteness of objects from the controlling center, types, supposed quantity and specifications of channels of exchange between telemetry and telematics transactions;
- radio interface for transmission of transactions between controlled objects and the controlling center for provision of their remote interaction and required probability and time rates;
- parameters of the expected mechanical, climatic, electromagnetic and other destabilizing impacts of the functioning environment onto components of systems and methods of provision of functional control of components;
- necessity of system protection from non-sanctioned access to its resources, from falsifications and information obtrusion.

In practice, a wide spectrum of heterogeneous requirements can rather hardly be satisfied in case of a “concatenated” approach to design of systems, when “appropriate” components are selected and they are mutually linked at the place of application in accordance with the preset requirements. Presently, this approach prevails during construction of complex mechatronic systems. However, the seeming economy and natural character of the synthesis process of a specific system mostly lead to conservatism of relations in its structure, and this is accompanied with essential technical complications along with possible modification of the system itself and its individual components. It should also be pointed out that in this case when the mechatronic system is created, extra problems are caused by its functioning reorganization.

An alternative approach includes design of mechatronic systems as the single whole on the principles of digitizing and distributed data procession. These principles have been known for a rather long period, but they have acquired a new technical sounding due to development of relatively cheap highly productive microprocessors in mass production and elaboration of practical applications of the theory of digital procession of signals [3–5]. Presently, objective technical, algorithmic and economical conditions exist for transi-

tion to the unified structure and a typical set of hardware and software functions of mechatronic systems. A possible structure option of the intellectual mechatronic system of the aforesaid type is shown in fig. 1.

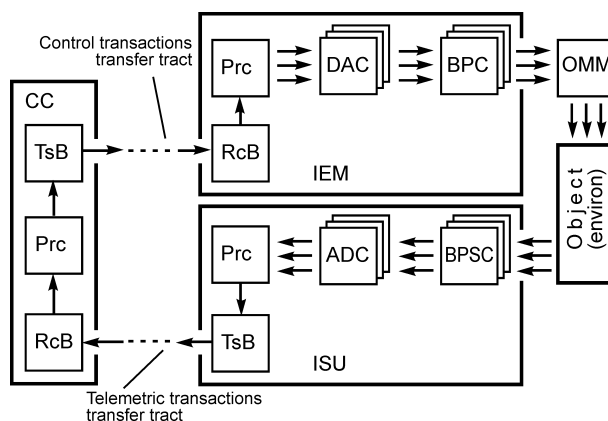


Fig. 1. Structural and functional scheme of the intellectual mechatronic system with the remote organization of transactions

Control processes in the structure under consideration are directed for provision of the required laws of travel of the output motion module (OMM). The control center (CC) includes a processor (Prc) which is intended for consolidated procession and accumulation of the systematic information, solution of preset functional tasks and elaboration of controlling impacts, fulfillment of control procedures for components, as well as, if necessary, for keeping and archiving the functioning protocols. Besides, a transmitting block (TsB) is included to the control center for output of control transactions and a reception block (RcB) for input of telematic transactions. Additionally, the control center may include an operator’s console and a visualization data block.

Remote multiparameter control of the motion module is implemented with the aid of control transactions and the intellectual executive mechanism (IEM). The executive mechanism provides transformation of transactions with digital control vectors to analog, discrete and impulse signals of the required axis motion or to changes of the motion module state in the phase space. The executive mechanism includes a reception block, a processor, digital-to-analog, digital-discrete, digital-impulse converters (DAC, DDC, DIC, respectively) and a block of power converters (BPC). In this case the processor provides digital implementation of convolutions of the control vector digital signals and

impulse specifications corresponding to the required transfer functions which determine the motion module control dynamics. So, purposive movement of the aforesaid module is provided in the system along with control of its position and state with the aid of the feedback tract.

Remote multiparameter control of the current position and the state of the output motion module state in the feedback tract is carried out with the aid of telemetric transactions and an intellectual sensor unit (ISU). This unit implements processes of preliminary digital procession of signals, which define the current position and the state of the motion module, as well as their conversion to the control vector which is accompanied with a time sign. A block of primary sensor converters (sensors) (BPSC) is introduced to the sensor unit, as well as analog-to-digital, discrete-digital and impulse-digital converters (ADC, DDC, IDC, respectively), a processor and a transmitting block.

With the aim of arranging the remote informational interaction wired channels, fiber-optic and radio channels are used, and being so, the best probabilistic and time specifications are obtained when two separate simplex channels are used. The use of one simplex wired or radio channel in the semi-duplex mode is allowed for control of inertial objects (based on application of channel separation in time and an access method with the carrying frequency control [5, 6]).

Transfer of main processes of signals procession and other information to software and their distribution by processors of the mechatronic system makes it possible to build a unified highly stable structure which acquires the properties of adaptation to changes of the output motion module and functioning modes, as well as possible modifications of types and functions of system components. Standardization of digital interconnection interfaces which at present is rather strictly observed by developers and manufacturers of radio-electronic equipment provides extra conditions for flexible functional system conversions along with preservation of its general structure. Such a standardization is achieved by means of selection of the required composition of the aforesaid converters, a block of sensitive components and respective modifications of "soft components" – the programs for digital procession of signals and data in processors.

Distribution of a set of functions between components of the intellectual mechatronic system. Solution of the functionally full set of logically completed tasks may be imposed on hardware and software of the mechatronic system tracts. The following plan of their preliminary distribution by resources of the system seems to be rational.

Intellectual sensor unit:

- digitization of analog, discrete and impulse signals formed by sensitive components by taking into account the a priori data on parameters of frequency spectra of signals;
- provision of linearization, positioning, calibration and metrological expertise of digital measuring converters;
- primary digital procession of signals, including digital filtration and required logical conversions;
- measuring information blocking along with its "binding" to numbers of measuring channels in a tract, formation of the controlling vector and its representation in the telemetric transaction format;
- formation of a transaction imitation protecting code with the use of a confidential parameter for protection of the system from forgeries and information intrusion [7];
- noise-immune transaction coding depending on a priori data about statistical properties of radio channels (the use of cyclic codes, Golay or Reed-Solomon codes and others [8]);
- interleaving of transaction codes for protection from possible blocks (packs) of bit errors [8];
- transmission of telemetric transactions to the control center.

Control center:

- reception of telemetric transactions from the intellectual sensor unit to the control center and reverse interleaving of transaction codes;
- withdrawal of the noise-immune code and formal control of transaction correctness;
- formation of the transaction imitation protection code with the use of a confidential parameter and check of authenticity;
- sensor information unpacking along with allocation of numbers of channels, results of parameters control and time marks in the atomic view;
- notional information procession, its accumulation, if necessary – data visualization, generation of controlling impacts on the output motion module by phase space coordinates;

- controlling information binding along with its “binding” to control tract channels numbers, formation of the control vector and its representation in the telematics transaction format;

- formation of the transaction imitation protection code with the use of a confidential parameter for motion module protection from forgeries and information intrusion;

- noise-immune transaction coding and interleaving of transaction codes;

- transfer of transactions to the intellectual executive mechanism.

Intellectual executive mechanism:

- reception of telemetric transactions from the control center to the executive mechanism and reverse interleaving of transaction codes;

- withdrawal of the noise-immune code and formal control of transaction correctness;

- formation of the transaction imitation protection code with the use of a confidential parameter and check of authenticity;

- controlling information unpacking along with allocation of numbers of channels, controlling parameters and time marks in the atomic view;

- controlling information procession and its distribution by channels preset in a transaction;

- physical reproduction of analog, discrete and impulse signals and impact on the required accessories of the output motion module with the aid of corresponding power converters.

Tasks of the intellectual mechatronic system may be expanded due to introduction of software implemented adjustment functions and changes of system parameters, testing and periodic control of equipment. Informational compatibility of system components is achieved owing to application of unified transactions. A possible logical structure of telemetric and telematic transactions is shown in tabl. 1.

Table 1

Logical structure of telemetric and telematic transactions

Systematic identifier of telemetric (telematic) tract	Transaction type	Current transaction number
Channel number	Parameter type	Binary time code
Binary parameter code		
Channel number	Parameter type	Binary time code
Binary parameter code		
...	...	...
Imitation protecting code		

When 16-digit processors are used, identifying information representation in the service heading of the transaction may in principle be limited with three logical fields, and it may have the total length of 32 bits. In case of introduction of extra attributes, including the address fields for operation in the network mode, the heading may be expanded up to 64 bits. Usually, 32 bits are enough for location of the transaction imitating protection code. Representation of information about one parameter in a transaction can be provided with the aid of three logical fields having the total length of 48 bits. When the total useful informational volume of information is equal to $n_{inf} = 1040$ bits, the mechatronic system is capable of controlling by 20 coordinates of the phase space, what complies with the contemporary requirements [1, 2].

The noise-immune coding expands the useful informational volume of n_{inf} transaction to some actual volume n . Block codes for correction of errors are usually shown as triplets (n, k, d) , wherein n is the actual volume of the code combination of a single block; k is the number of informational bits in the code combination of a block; d is the minimum Hamming distance between various cody combinations. The repetition factor of errors t to be corrected by means of a code shall be determined by the ratio $(d - 1)/2$. In case of the speed of errors P_{err} in channels of transactions transmission and reception tracts selection of the noise-immune coding is the most important task of the systematic interface design.

In case of the symmetric channel model the following criterion ratio must be provided from each transaction block:

$$(1 - P_{err})^n + C_n P_{err} (1 - P_{err})^{n-1} + C_n^2 P_{err}^2 (1 - P_{err})^{n-2} + \dots + C_n^t P_{err}^t (1 - P_{err})^{n-t} > (P_{auth})^{1/R_{bl}},$$

wherein P_{auth} is the required authenticity of transfer of telemetric and telematic transactions (usually at the level of 0.990–0.999); $R_{bl} = S_{up}(n_{inf}/k)$ – quantity of informational blocks with the account of noise-immune coding as a part of transactions. The actual volume of the transaction is determined by the ratio $n_{act} = nR_{bl}$, and the actual volume of the transaction informational block after its noise-immune coding is set by the product $n = kq_{red}$, wherein q_{red} is the factor of noise-immune code redundancy.

As a matter of fact, rational solution of the nonlinear multi-parameter task should be found, and an option of the noise-immune coding should be

selected, which will, if possible, maximize the volume k in case of observance of the criterion correlation. For example, the (24; 12; 7)-expanded Golay code provides detection and correction by 3 errors in an informational block consisting of 12 bits with the redundancy factor $q_{red} = 2$. However, in case of this code redundancy factor for noise-immune transfer of 1040 transaction bits with authenticity 0.99 the actual transfer of 87 blocks will be required with the total volume of 2080 bits with authenticity of transfer of every block not below 0.9999. Construction of a more preferable cyclic (63; 45; 7)-code is possible which also provides detection and correction up to 3 errors, but the informational block of such a code consists of 45 bits with the redundancy factor $q_{red} = 1.4$. In this case for the noise-immune transfer of 1040 transaction bits with authenticity 0.99 the actual transfer of 24 blocks will be required with the total volume of 1512 bits with authentic transfer of every block not below 0.9996.

Construction of transactions transfer and reception tracts in the mechatronic system on the basis of radio channels is the most complicated technical solution. Radio channels have rather high speeds of errors with the values $P_{err} = 0.0100\text{--}0.0005$, whereas wired and fiber-optic channels have speeds of errors $P_{err} = 0.000100\text{--}0.000001$ and even lower values. Radio channels of the ultra short wave range in the permitted frequency bands (146–174 and 380–470 MHz) provide the nominal speed of digital information with the use of the quadrature QPSK-modulation on the level of 9600 bits/s [6, 9, 10]. The estimated time of transfer of transactions constituting 0.2166 and 0.1575 s, respectively, for the considered coding options essentially determines signal delay and system lag.

Practical construction of mechatronic system with the unified structure and distributed information procession is mostly related to establishment of software for the control center processors, the intellectual sensor module on the basis of the methods and regularities of the automatic control. Design of intellectual mechatronic systems also requires rational construction of the systematic interface which essentially influences probabilistic and time properties of the established units.

CONCLUSIONS

When intellectual mechatronic systems are formed, a basic set of certain structural and functional requirements is formed, which specify main

aspects of construction of these systems. Their designing as the single whole on the principles of digitizing and the distributed data procession is a rather productive approach to establishment of intellectual mechatronic systems. Solution of a functionally full set of logically completed tasks is imposed to software and hardware tracts of the mechatronic system based on the aforesaid principles. This work shows preliminary distribution of functions by the system resources – between the intellectual sensor unit, the control center and the intellectual executive mechanism. One of the most important features includes informational compatibility of system components which is achieved owing to the use of unified transactions. The noise immune data coding expands the useful informational transaction volume to some actual volume. It has been shown that construction of transactions transfer and reception tracts in the mechatronic system on the basis of radio channels is the most complicated technical solution.

REFERENCES

1. Fedotov, A. V. (2007) *Use of Automatic Control Theory Methods While Developing Mechatronic Systems*. Omsk: Publishing House of Omsk State Technical University. 84 p. (in Russian).
2. Voronov, A. A. (1986) *Automatic Control Theory*. Parts 1, 2. Moscow, Vysshaya Shkola. (in Russian).
3. Speransky, V. S. (2008) *Signal Micro-Processors and Their Application in Telecommunication Systems and Electronics*. Moscow, Hotline – Telekom. 170 p. (in Russian).
4. Brodin, V. B., & Shagourin, M. I. (1999) *Micro-Controllers. Architecture, Programming, Interface. Reference Book*. Moscow, EKOM Publishing House. 401 p. (in Russian).
5. Smith, S. W. (2002) *Digital Signal Processing. A Practical Guide for Engineers and Scientists*. Kalifornia, San-Diego, Kalifornia Technical Publishing. 643 p. (Russ. ed.: Smith, S. (2008) *Tsifrovaia Obrabotka Signalov. Prakticheskoe Rukovodstvo dlia Inzhenerov i Nauchnykh Rabotnikov*. Moscow, Publishing House "DodEka-XXI". 720 p.)
6. Feher, K. (1995) *Wireless Digital Communications. Modulation and Spread Spectrum Applications*. NY, Prentice Hall PTR. 544 p. (Russ. ed.: Feher, K. (2000) *Besprovodnaia Tsifrovaia Sviaz'. Metody Moduliatsii i Rasshireniia Spectra*. Moscow, Radio i Svyaz. 520 p.)
7. Kharin, Yu. S., Bernik, V. I., Matveev, G. V., & Agievich, S. V. (2003) *Mathematical and Computer Fundamentals of Cryptology*. Minsk, Novoe Znanie. 381 p. (in Russian).
8. Clark, G. C. & Cain, J. B. (1981) *Error-Correction Coding for Digital Communications*. Springer. 432 p. (Russ. ed.: Clark, G. C. & Cain, J. B. (1987) *Kodirovanie s Ispravleniem Oshibok v Sistemakh Tsifrovoi Sviazi*. Moscow, Radio i Svyaz. 391 p.)
9. Moscow State University, Faculty of Physics, Department of "Radio Physics Microwave". (2008) *Selection of Optimum Method for Signal Modulation in Modern Digital Communication Systems*. Moscow, Publishing House of Moscow State University [MSU]. 52 p. (in Russian).

10. **Stollings, W.** (2002) *Wireless Communications and Networking*. New Jersey, Pearson Education, Inc. 547 p. (Russ. ed.: Stallings, W. (2003) *Besprovodnye Linii Sviazi i Seti*. Moscow; Saint-Petersburg, Williams Publishing House. 638 p.)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федотов, А. В.** Использование методов теории автоматического управления при разработке мехатронных систем / А. В. Федотов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 84 с.

2. **Теория** автоматического управления: учеб. для вузов: в 2 ч. / под ред. А. А. Воронова. – М.: Высш. шк., 1986. – Ч. 2.

3. **Сперанский, В. С.** Сигнальные микропроцессоры и их применение в системах телекоммуникаций и электроники / В. С. Сперанский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 170 с.

4. **Бродин, В. Б.** Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейсы: справ. / В. Б. Бродин, М. И. Шагурин. – М.: ЭКОМ, 1999. – 401 с.

5. **Смит, С.** Цифровая обработка сигналов: практ. руководство для инж. и науч. работников / С. Смит; пер.

А. Ю. Линович, С. В. Витязев, И. С. Гусинский. – М.: ДодЭка-XXI, 2008. – 720 с.

6. **Феер, К.** Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер; пер. с англ. В. И. Журавлев. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.

7. **Математические** и компьютерные основы криптологии / Ю. С. Харин. [и др.]. – Минск: Новое знание, 2003. – 381 с.

8. **Кларк, Дж. К.** Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Дж. К. Кларк, Дж. Б. Кейн; пер. с англ. С. И. Гельфанда. – М.: Радио и связь, 1987. – 391 с.

9. **Выбор** оптимального метода модуляции сигнала в современных цифровых системах связи: спецпрактикум / Московский государственный университет. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 52 с.

10. **Столлингс, В.** Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс. – М.; СПб.: Вильямс, 2003. – 638 с.

Поступила 11.03.2014

УДК 656.113.085: 65.012.12

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Кандидаты техн. наук, доценты АЗЕМША С. А., ГАЛУШКО В. Н.,
доц. СКИРКОВСКИЙ С. В.*

Белорусский государственный университет транспорта

E-mail: s-azemsha@yandex.by

Существующие методики проведения автотехнической экспертизы предполагают выбор некоторых параметров на основе интуиции и опыта эксперта. Также при определении замедления не учитываются марка транспортного средства и степень его загрузки, дорожные условия. В процессе анализа установлено, что применение специального программного обеспечения позволяет значительно повысить эффективность выполняемых работ по решению поставленных задач, ускоряет процесс расчетов, в качественном плане уменьшает вероятность ошибок арифметического характера и дает возможность визуализации результатов произведенного исследования. Установлены возможности использования различных моделей для динамического моделирования движения и столкновений автомобилей (в виде трехмерной модели). При этом учитываются особенности технического состояния автомобилей и загрузки, состояние поверхности дорожного покрытия, а также динамического отображения реконструированного механизма ДТП в аксонометрической проекции, создание видеороликов с расположением камеры в произвольной точке пространства: на дороге, обочине, возвышении, движущемся транспортном средстве, водительском месте в транспортном средстве.

Выполнены анализ возможностей программ моделирования дорожно-транспортных происшествий, статистический анализ значимости отличий между результатами моделирования при помощи различных программ. Приведены исходные данные и результаты расчета скорости движения транспортного средства по длине следа торможения, полученные с помощью программ экспресс-анализа ДТП (классический подход) и PC-Crash (учитываются дополнительные влияющие факторы). В ходе исследования результатов моделирования применяемого программного обеспечения выявлен ряд недостатков, подлежащих доработке в анализируемых программных продуктах. На основании проведенного анализа использования программ моделирования ДТП предложено к практической работе привлекать ответственные и контролирующие органы (ГАИ, экспертные учреждения, страховые компании) для повышения эффективности результатов заключений.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, экспертный анализ, компьютерная программа моделирования.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 11 назв.

IMPROVEMENT OF EXPERT ANALYSIS FOR ROAD TRAFFIC ACCIDENTS USING COMPUTER SIMULATION PROGRAMS

AZEMSHA S. A., GALUSHKO V. N., SKIRKOVSKI S. V.

Belarusian State Transport University

The existing methods for auto-technical expertise presuppose selection of some parameters on the basis of the expert's intuition and experience. Type of a vehicle and its loading rate, road conditions are not taken into account also in the case when deceleration is to be determined. While carrying out the analysis it has been established that an application of special software makes it possible to improve significantly efficiency of the executed works directed on solution of the assigned tasks, to speed up calculation processes, to decrease qualitatively probability of arithmetic errors and provides the possibility to visualize results of the conducted investigations. Possibility of using various models for dynamic motion simulation and collision of vehicles (in the form of 3D-models) has been established in the paper. In such a case specific features of vehicle technical conditions, its loading rate and condition of roadway surface have been taken account in the paper. The given paper also permits to obtain a dynamic display of reconstructed accident mechanism in axonometric projection, to film video-clips when a camera is positioned at any spatial point: road, roadside, raised position, moving vehicle, driver's seat in the vehicle.

The paper contains an analysis of possibilities of road traffic accident simulation programs, a statistical analysis that shows significance in differences between simulation results when various programs have been used. The paper presents initial data and results of vehicle speed calculation on the basis of braking track length which have been obtained with the help of road traffic accident express analysis (a classical approach) and PC-Crash when additional influencing factors are taken into account. A number of shortcomings have been revealed while analyzing the simulation results of the applied software. The shortcomings must be removed in the analyzed software products.

On the basis of the executed analysis in respect of application of road traffic accident simulation programs it has been proposed to involve responsible and controlling authorities (State Automobile Inspectorate, expert institutions, insurance companies) for practical activity with the purpose to increase the objectivity of the result conclusions.

Keywords: road traffic accident, expert analysis, computer simulation program.

Fig. 3. Tab. 1. Ref.: 11 titles.

Введение. Общим при проведении многих видов судебных экспертиз является выполнение расчетов по тем или иным формулам, в которые входят значения соответствующих табличных справочных данных, параметров и коэффициентов. Специалист в области авто-технической экспертизы В. А. Иларионов указывает на недостатки существующих подходов [1]. В частности, он отмечает, что процесс торможения автомобиля протекает под воздействием большого числа случайных факторов, различных по характеру, интенсивности и продолжительности действия. Поэтому рассчитанные экспертом значения характеристик торможения (например, замедления, тормозного пути) представляют собой случайные величины, обладающие рассеянием [1, 2].

Существующие методики проведения авто-технической экспертизы (АТЭ) предполагают выбор некоторых параметров на основе интуиции и опыта эксперта [3, 4]. Также при определении замедления не учитываются марка транспортного средства и степень его загрузки, дорожные условия. Поэтому целью исследований авторов являлось повышение достоверности выводов экспертов при проведении АТЭ,

экспериментальной апробации расчетов моделирования и реконструкции дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с помощью существующих программных комплексов моделирования ДТП [5, 6].

Исходные величины при вычислении скорости движения автомобиля в момент аварии – длина тормозного пути и коэффициент сцепления шин с дорогой [7, 8]. Любая неточность в определении этих параметров сразу же приводит к неточности вычисления скорости. Однако если длину тормозного пути еще можно измерить рулеткой с приемлемой точностью, то достоверно оценить значение коэффициента сцепления, пользуясь справочными данными, принципиально невозможно (приборов для измерения коэффициента сцепления не существует). Рекомендованные справочные таблицы содержат дискретные значения коэффициента сцепления и только в зависимости от вида дорожного покрытия и качества его поверхности, подразделяя покрытия на сухие и мокрые, чистые и грязные, гладкие и шероховатые и т. п. При этом табличные значения коэффициента сцепления для различных поверхностей даже одного и того же вида покры-

тия существенно отличаются. Кроме того, исследования [1] показывают сильную зависимость коэффициента сцепления от таких факторов, как скорость автомобиля, давление в шинах, изношенность протекторов, температура дорожного покрытия и др.

Отметим, что все справочные параметры и коэффициенты:

а) изначально определяются опытным путем, посредством измерений на репрезентативной выборке;

б) неизбежно оцениваются с некоторыми погрешностями. Абсолютно точных теоретических расчетов или практических измерений просто не может быть. Таким образом, каждый справочный параметр или коэффициент представляет собой статистическое среднее значение того или иного показателя генеральной совокупности однотипных объектов в заданных условиях.

Методики, применяемые в практике АТЭ, основаны на законах физики, теоретической механики, теории и конструкции автомобилей, теории соударения и т. д. При этом, как правило, происходит упрощение применяемых математических зависимостей. Это связано с тем, что при производстве экспертизы может быть ограничено число задаваемых исходных параметров для упрощения процесса вычисления, что приводит к снижению достоверности результата. Поэтому актуальными задачами являются повышение достоверности экспертных исследований и сокращение сроков их производства. Применение программного обеспечения позволяет значительно улучшить эффективность выполняемых работ по решению поставленных задач по нескольким аспектам:

- ускоряется процесс расчетов;
- в качественном плане применение компьютерных программ уменьшает вероятность ошибок арифметического характера;
- появляется возможность визуализации результатов произведенного исследования.

В Европе можно выделить три компании, поставляющие данное программное обеспечение:

• IbB Informatik GmbH, производит компьютерные модули CARAT (Computer Assisted Rekonstruktion of Accidents in Traffic);

• Dr. Steffan Datentechnik, поставляет на рынок программу PC-Crash и ей сопутствующие модули (PC-Rect);

• Dr. Werner Gratzler – ANALYSER PRO.

Находит применение простая программа расчетов «Экспресс-анализ ДТП», позволяющая определять: скорости легковых автомобилей по данным о следе торможения, допустимую скорость по условиям видимости, удаление автомобиля при наезде без торможения.

Анализ возможностей представленных программ. Математическая модель динамического перемещения основывается на применении известных дифференциальных уравнений движения. Анализ и моделирование столкновений являются основным модулем программы CARAT-3, 4. В ней известные из теоретической механики законы сохранения импульса и его момента дают в некоторых случаях погрешности. Поэтому математическая модель столкновения имеет основой гипотезу Кудлиха – Сливара (Kudlich – Slibar), дополняя ее уравнениями так называемого метода эквивалентных деформациям энергий по Бургу – Цайдлеру (Burg – Zeidler). Применяемые в программе CARAT модули предназначены для подтверждения и визуализации некоторой логической и обоснованной версии. Данная программа предполагает наличие специальных знаний и опыта.

Ввиду постоянно возрастающих объемов работ по АТЭ, необходимости увеличения производительности труда экспертов-автотехников, повышения достоверности экспертных исследований и сокращения сроков их производства ГУ СЗРЦСЭ создало программу AUTO-GRAF. Она представляет собой графический редактор, позволяющий строить масштабные схемы ДТП с учетом требований экспертной практики. Программа располагает большой базой транспортных средств – более 170 автомобилей, содержит полную базу дорожных знаков и разметки, а также элементов вещной обстановки на месте ДТП (дома, светофоры, деревья, пешеходы и т. д.). Кроме этого, в AUTO-GRAF введен такой удобный инструмент, как шаблоны перекрестков с необходимой конфигурацией и шириной проезжих частей. Программа проста в использовании и легка в освоении, тем не менее в огромной степени повышает наглядность и достоверность экспертных исследований.

Учесть большое число влияющих на транспортные средства (ТС) параметров позволяет программа динамического моделирования австрийского разработчика PC-Crash и ее дополнение для преобразования двухмерных изображений (фотографий) PC-Rect. Основные возможности программы PC-Crash:

- динамическое моделирование движения и столкновений ТС (в виде трехмерной модели), при этом учитываются особенности технического состояния ТС и загрузки, состояние поверхности дорожного покрытия;
- динамическое изображение реконструированного механизма ДТП в аксонометрической проекции, создание видеороликов с расположением камеры в произвольной точке пространства: на дороге, обочине, возвышении, движущемся транспортном средстве, водительском месте в транспортном средстве;
- расчет скорости всех типов ТС по следу торможения, допустимой скорости по условиям видимости и остановочного пути при различных ДТП.

За время использования данной программы скорость оформления выросла на 28 %, позволив сократить численность персонала на 15 %. Количество ошибок уменьшилось в два раза [9]. Динамическое моделирование столкновений ТС с учетом его технического состояния, загрузки, особенностей рельефа и поверхности дорожного покрытия может быть использовано:

- ГАИ для регистрации и оформления ДТП, предоставления схем и данных ДТП экспертам с целью ускорения и упрощения ведения документации, снижения влияния человеческого фактора;
- страховыми компаниями для восстановления событий ДТП и определения виновных, что позволяет повысить точность расчетов;
- автоэкспертами для расследования ДТП и предоставления данных в суд [10].

Важным достоинством программы является возможность определения скоростей движения ТС перед столкновением (на основании моделирования механизма столкновения) по известным исходным данным: месту столкновения, взаимному положению ТС в момент столкновения, конечным положениям после столкновения и т. п. При моделировании движения ТС учитываются, в частности, следующие их параметры: характеристики работы двигателя, трансмиссии, подвески, модель шин каждого колеса, распределение нагрузки в ТС, время срабатывания тормозной системы и рулевого привода, скорость вращения рулевого колеса, угол поворота управляемых колес, характеристики работы тормозной системы.

Исходные данные расчета скорости движения ТС по длине следа торможения, выполненные программами «Экспресс-анализ ДТП» (классические формулы расчета) и PC-Crash (учитываются дополнительные влияющие факторы), приведены на рис. 1 и в табл. 1.

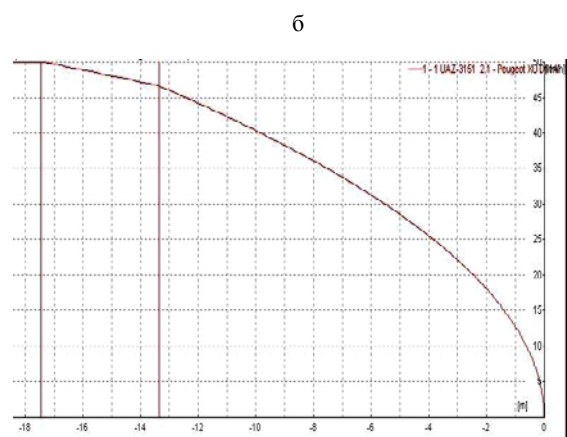
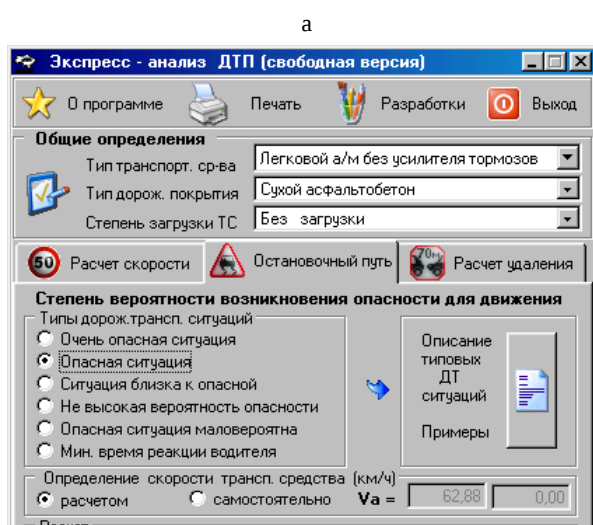


Рис. 1. Пример расчета движения ТС по длине следа торможения в программах: а – «Экспресс-анализ ДТП»; б – PC-Crash

Таблица 1

Расчет скорости движения ТС
по длине следа торможения

Длина следа торможения	Программа	
	«Экспресс-анализ ДТП»	PC-Crash
10	43,87	40,41
15	52,97	49,47
20	60,64	57,19
25	67,39	63,88
30	73,50	70,00
35	79,12	75,56
40	84,35	80,78

В PC-Crash разработан инструмент «оптимизатор столкновения» для минимизации времени реконструкции и возможных ошибок. Он автоматически изменяет выбранное число параметров столкновения, сравнивая полученные результаты моделирования для каждой комбинации параметров с фактическим ДТП. Для каждого моделирования оптимизатор столкновения вычисляет полную ошибку, основанную на отклонениях между фактическими положениями и углами транспортных средств и теоретическими, полученными в процессе моделирования. В каждой последующей симуляции оптимизатор изменяет величины с целью минимизации полной ошибки [11].

На основании результатов однофакторного дисперсионного анализа процедура статистической значимости отличий между результатами программ «Экспресс-анализ ДТП» и PC-Crash не выявила существенных отличий. Поэтому обоснованным видится расчет скорости движения ТС по длине следа торможения по формуле

$$v_a = 1,8t_3 a_3 + \sqrt{26a_3 s_T},$$

где t_3 – время замедления; a_3 – замедление; s_T – длина следа торможения.

В ходе исследования результатов моделирования применяемого программного обеспечения выявлен ряд недостатков, подлежащих доработке, например влияние различных параметров тормозной системы автомобиля на величину тормозного пути. Данные натурных испытаний тормозного пути и результаты моделирования различных автомобилей с началь-

ной скоростью торможения 100 км/ч, положением педали тормоза на 100 % приведены на рис. 2

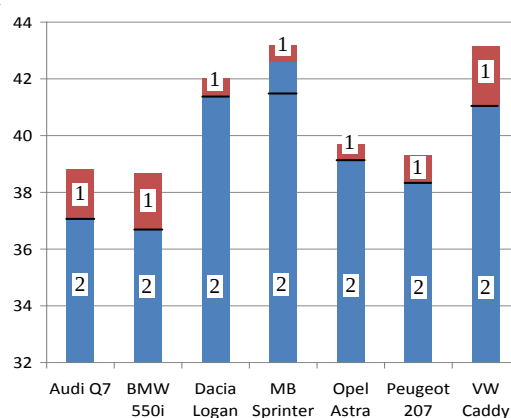


Рис. 2. Пример результатов испытаний и моделирования тормозного пути в PC-Crash:
1 – моделирование; 2 – тест

Наибольшие расхождения результатов испытаний и моделирования тормозного пути по абсолютной величине соответствуют автомобилю VW Caddy (2,06 м, относительная погрешность 5,00 %), затем Mercedes-Benz Sprinter (1,96 м, относительная погрешность 5,30 %), наименьшие – Dacia Logan (0,10 м, относительная погрешность 0,24 %). Причем программа моделирования PC-Crash не учитывает температуру шин, которая влияет на тормозной путь.

На основании результатов однофакторного дисперсионного анализа по результатам испытаний и моделирования тормозного пути для холодных и перегретых шин нельзя однозначно по имеющейся выборке утверждать о значимости отличий в результатах.

При этом следует отметить верифицированность зависимости тренда моделирования тормозного пути от температуры шин с результатами испытаний. Отсюда очевиден вывод, что при правильных начальных данных и возможности их внесения в программу можно получить очень близкие результаты в модели (для некоторых экспертов полученные результаты перегретых шин в некоторых случаях приемлемы, так как выборочные для них отклонения равны: среднее $a_{\text{перегр. шины}} = -0,364$ м и среднее квадратическое $\sigma_{\text{перегр. шины}} = 0,840$ м).

На примере ДТП, произошедшего в г. Гомеле 29 апреля 2014 г. на пересечении улиц Советской и Головатского с участием автомоби-

лей Mitsubishi Lancer и KIA Rio (рис. 3), исследовали возможность обнаружения водителем KIA приближающегося ТС с учетом ограниченности обзора зданиями и деревьями. В качестве исходных данных использовали фотоматериалы с места аварии, реальные карты Google Earth, показания водителей и свидетелей, характеристики работы двигателей, параметры трансмиссий и шин каждого колеса, подвесок и работы тормозных систем.

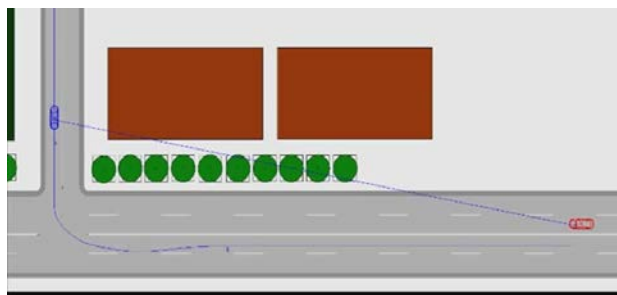


Рис. 3. Пример визуализации ДТП

ВЫВОДЫ

1. С помощью динамического моделирования реализован 3D-просмотр с перемещением видеокамеры, учитывающей антропологические параметры водителя, из точки столкновения, мест водителей, мест свидетелей, который позволил с применением «линии видимости» в 2D-моделировании проверить гипотезу ограниченности обзора водителей.

2. На основании проведенного анализа использования программ моделирования ДТП можно сказать, что разработанные программные инструменты могут применяться в практической работе ответственных и контролирующих органов (ГАИ, экспертных учреждений, страховых компаний) для повышения объективности результатов заключений. Кроме того, программы можно использовать в учебном процессе образовательных учреждений по направлению «Организация дорожного движения», что позволит повысить качество подготовки специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учеб. для вузов / В. А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
2. Врубель, Ю. А. Водителю о дорожном движении: пособие для слушателей учеб. центра подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров автотрак-

торного факта / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский. – 3-е изд., перераб. – Минск: БНТУ, 2010. – 139 с.

3. **Определение** места наезда по ближайшей границе осыпи стекла при проведении автотехнической экспертизы / А. П. Ботян [и др.] // НИРС-2005: сб. тез. докл. X Республ. науч. конф. студентов и аспирантов высш. учеб. заведений Респ. Беларусь: в 3 ч. – Минск: БГУ, 2005. – Ч. 2. – С. 60–61.

4. **Врубель, Ю. А.** Потери в дорожном движении / Ю. А. Врубель. – Минск: БНТУ, 2003. – 380 с.

5. **Исследование** попутных дорожно-транспортных происшествий графоаналитическим методом / А. П. Ботян [и др.] // НИРС-2005: сб. тез. докл. X Республ. науч. конф. студ. и асп. высш. учеб. заведений Респ. Беларусь: в 3 ч. – Минск: БГУ, 2005. – Ч. 2. – С. 61–63.

6. **Капский, Д. В.** Прогнозирование аварийности в дорожном движении / Д. В. Капский. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.

7. **Капский, Д. В.** Метод конфликтных зон прогнозирования дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности / Д. В. Капский. – М.: Новое знание, 2015. – 372 с.

8. **Врубель, Ю. А.** Опасности в дорожном движении / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский. – М.: Новое знание, 2013. – 244 с.

9. **PC-Crash.** The Expert's Choice. Collision & Trajectory Physics Simulation [Electronic Resource]. – Mode of Access: <http://www.pc-crash.com>. – Date of access: 15.04.2015.

10. **Автотехническая** экспертиза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://avtotrasolog.ru/component/option,com_frontpage/Itemid,1. – Дата доступа: 15.04.2015.

11. **Cliff, W. E.** Реконструкция двадцати установленных столкновений с помощью оптимизатора PC-Crash / W. E. Cliff, A. Moser // SAE Technical Paper 2001-01-0507.

REFERENCES

1. **Ilarionov, V. A.** (1989) *Expertise of Road-Traffic Accidents: Textbook for Higher Education Institutions*. Moscow, Transport. 255 p. (in Russian).
2. **Vrubel, Yu. A., & Kapsky, D. V.** (2010) *To Driver on Road Traffic*. 3rd Updated Edition. Minsk: BNTU. 139 p. (in Russian).
3. **Botyan, A. P., Lappo, D. G., Kapsky, D. V., Gaba, E. I., & Volkov, V. K.** (2005) Determination of Automobile-Pedestrian Accident Location on the Basis of the Nearest Boundary of Broken and Scattered Glass While Executing Auto-Technical Expertise. *NIRS-2005 [Students' Scientific-Research Activity]. Book of Abstracts. 10th Republican Scientific Conference of Undergraduate and Postgraduate Students of Higher Education Institutions in the Republic of Belarus. Part 2*. Minsk: BSU [Belarusian State University], 60–61 (in Russian).
4. **Vrubel, Yu. A.** (2003) *Losses in Road Traffic*. – Minsk, BNTU. 380 p. (in Russian).
5. **Botyan, A. P., Lappo, D. G., Kapsky, D. V., Gaba, E. I., & Volkov, V. K.** (2005) Investigation of Same-Direction Road Traffic Accidents Using Grapho-Analytical Method. *NIRS-2005 [Students' Scientific-Research Activity]. Book of Abstracts. 10th Republican Scientific Conference of Undergraduate and Postgraduate Students of Higher Education Institutions in the Republic of Belarus. Part 2*. Minsk: BSU [Belarusian State University], 61–63 (in Russian).

6. Kapsky, D. V. (2008) *Prediction of Road Traffic Accidents*. Minsk, BNTU. 243 p. (in Russian).

7. Kapsky, D. V. (2015) *Method of Conflict Zones for Prediction of Road Traffic Accidents on the Basis of Potential Danger*. Moscow, Novoye Znanie. 372 p. (in Russian).

8. Vrubel, Yu. A., & Kapsky, D. V. (2013) *Dangers in Road Traffic*. Moscow, Novoye Znanie. 244 p. (in Russian).

9. PC-Crash. *The Expert's Choice. Collision & Trajectory Physics Simulation*. Available at: <http://www.pc-crash.com>. (Accessed: 15 April 2015).

10. Autotechnical Expertise. Available at: http://avtotrasolog.ru/component/option,com_frontpage/Itemid,1. (Accessed: 15 April 2015).

11. Cliff, W. E., & Moser, A. (2001) Reconstruction of Twenty Staged Collisions with PC-Crash's Optimizer. *SAE Technical Paper 2001-01-0507*. Doi: 10.4271/2001-01-0507.

Поступила 30.06.2014

УДК 62-83

ПРЕЦИЗИОННАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Канд. техн. наук, доц. ДАЙНЯК И. В., докт. техн. наук, проф. КАРПОВИЧ С. Е.,
аспиранты КЕКИШ Н. И., ГОЛДЫН Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

E-mail: dainiak@bsuir.by

Предложена структура прецизионной системы перемещений на базе кольцевого многокоординатного сегментно-синхронного двигателя и реконфигурируемого механизма параллельной кинематики. Многокоординатный синхронный двигатель в зависимости от конструктивного исполнения может иметь от двух до шести подвижных сегментов, число которых в целом определяет внутреннюю подвижность двигателя. Особенность механизма параллельной кинематики состоит в возможности его реконфигурирования за счет последовательного соединения двух соседних шатунов свободными элементами их сферических шарниров в треугольные контуры с одним сферическим шарниром в общей вершине. В результате управляемое движение подвижных сегментов двигателя трансформируется в сложное пространственное движение кольцевой платформы механизма с числом степеней свободы до шести включительно.

Предложена математическая модель решения задачи кинематики для рассматриваемого параллельного механизма, позволяющая вычислять положения подвижных сегментов синхронного многокоординатного двигателя в зависимости от заданного положения и ориентации исполнительской кольцевой платформы. Параметрические представления положения базовых точек сегментов двигателя во времени позволяют, в конечном итоге, формировать алгоритмы программируемых движений.

Обоснована возможность встраивания разработанной системы перемещений в проекционные системы оптико-механического оборудования с сохранением традиционной схемы компоновки. При этом обеспечивается возможность адаптивной юстировки оптических элементов в процессе эксплуатации, позволяющая подстраивать оптические элементы при изменении геометрии проекционной системы вследствие старения. В результате поддерживаются на требуемом уровне показатели назначения проекционной системы: разрешающая способность, глубина резкости и контрастности изображения, дисторсия. Разработанная система перемещений может быть использована как координатная система позиционирования, совмещения и сканирования в сборочном и другом прецизионном оборудовании.

Ключевые слова: прецизионная система перемещений, сегментный двигатель, механизм параллельной кинематики, оптико-механическое оборудование.

Ил. 5. Библиогр.: 11 назв.

PRECISION MOTION SYSTEM FOR OPTO-MECHANICAL EQUIPMENT OF MICROELECTRONICS

DAINIAK I. V., KARPOVICH S. E., KEKISH N. I., GOLDYN L.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

The paper proposes a structure of precision motion system built on the basis of a circular multi-coordinate synchronous segment motor and reconfigurable parallel kinematic mechanism. The multi-coordinate synchronous segment motor may have from two to six movable segments depending on the design, and number of the segments generally defines an internal mobi-

lity of the motor. A specific feature of the parallel kinematic mechanism consists in the possibility of its structure reconfiguration by serial connection of two neighboring rods with the help of free elements of their spherical joints into triangular circuits with one spherical hinge at the common vertex. As result of this, the controlled motion of motor movable segments is transformed into the complex spatial displacement of circular platform with number of degrees of freedom up to six inclusively.

A mathematical model for solution of the kinematic problem in the investigated parallel mechanism has been offered in the paper. The model allows to calculate a position of movable segments of multi-coordinate synchronous motor depending on the desired position and orientation of the executive circular platform. The parametric definition of base point positions in the motor segments in time allows eventually to form algorithms of programmable motions.

The paper substantiates ability to embed the developed motion system into projection unit of opto-mechanical equipment while preserving traditional configuration scheme. This provides the possibility of adaptive adjustment of optical elements during operation; it allows to adjust the optical elements when the geometry of projection system is changed due to deterioration. As result, main characteristics of projection system: resolution, depth of field and image contrast and distortion are maintained at the required level. The developed motion system can be used as a coordinate system of positioning, alignment and scanning in the assembly and other precision equipment.

Keywords: precision motion system, segment motor, parallel kinematic mechanism, opto-mechanical equipment.

Fig. 5. Ref.: 11 titles.

Введение. Развитие микроэлектроники связано, прежде всего, с уменьшением топологической нормы и увеличением размеров кремниевых пластин, которые, кроме совершенствования технологии производства, требуют совершенствования технологического оборудования, особенно оптико-механического и сборочного. К такому оборудованию предъявляются требования по точности позиционирования, более высоких разрешения и производительности, больших диапазонов перемещений [1–3]. При этом с каждым шагом уменьшения топологической нормы и увеличения размера кремниевых пластин существенно возрастают требования к координатным системам перемещений, которые в настоящее время, как правило, строятся на электромагнитных модулях движения, komponуемых в линейные шаговые двигатели различных конфигураций с соответствующей цифровой системой управления [4]. Они характеризуются модульностью, однотипностью независимо от характера движения и вида управления, возможностью работы по программе от ЭВМ как в разомкнутых системах, так и в системах с обратной связью, осуществляют реализацию сложных многокоординатных и точно согласованных перемещений кремниевых пластин и технологического инструмента с широким варьированием параметров движения [5, 6]. Однако используемый базовый ряд координатных модулей и координатных систем на их основе уже не обеспечивает возрастающие требования к точности и производительности перспективного технологического оборудования. Необходимы новые подходы и решения в этой области. Следует разрабатывать принципиально новые координатные

системы и системы электропривода для построения многофункциональных координатных систем, предназначенных для встраивания в технологическое оборудование микроэлектроники. Это является одной из актуальных задач точного электронного машиностроения, представляющей научный и практический интерес. Успешное решение данной задачи позволит разрабатывать и производить оборудование в соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к его точности, качеству и производительности.

Многокоординатный модуль системы перемещений на базе реконфигурируемого механизма параллельной кинематики. Одним из возможных вариантов решения поставленной выше задачи является предложенный авторами статьи многокоординатный модуль системы перемещений, конфигурируемый на сегментном многокоординатном приводе прямого действия, управляемое движение подвижных сегментов которого через исполнительный реконфигурируемый механизм параллельной кинематики трансформируется в сложное пространственное движение кольцевой платформы с числом степеней свободы до шести включительно в зависимости от числа задействованных управляемых сегментов. В отличие от традиционной системы многокоординатного привода, когда каждая координата представляет собой однокоординатный механо-аппаратный модуль движения со своим отдельным механо-аппаратным интерфейсом, в разрабатываемых и используемых авторами гибридных многокоординатных приводах электромагнитная система, конструктивное исполнение и аппаратный интерфейс являются общими для всей конкрет-

ной системы перемещений. Структурное исполнение такого многокоординатного синхронного двигателя с автономно управляемыми сегментами на одном кольцевом статоре показано на рис. 1.

Статор двигателя (рис. 1) состоит из магнитопровода и постоянных магнитов, расположенных с чередующейся полярностью магнитных полюсов по делительному диаметру. Работа предложенного многокоординатного синхронного двигателя основана на взаимодействии бегущего электромагнитного поля якоря со стационарным гармоническим полем статора. Для управления перемещениями подвижных сегментов предлагается аппаратно-программный комплекс на основе контроллера LSMC-х, разработанного на предприятии «Рухсервомотор» (г. Минск, Беларусь) совместно с НИГ 3.2 «Мехатроника и микросистемы» НИЧ БГУИР, который позволяет одновременно управлять шестью сегментами в замкнутом режиме [7].

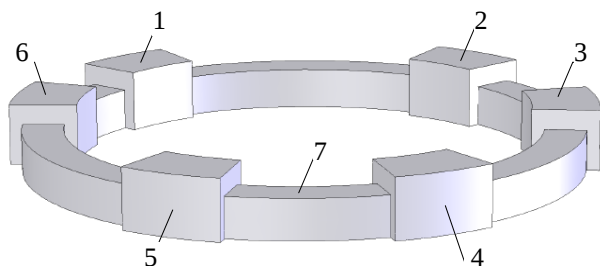


Рис. 1. Структура многокоординатного синхронного двигателя: 1–6 – подвижные сегменты; 7 – неподвижный статор

Многокоординатный синхронный двигатель в зависимости от конструктивного исполнения может иметь от двух до шести подвижных сегментов, число которых в целом определяет внутреннюю подвижность двигателя. К примеру, в конкретном случае реализации многокоординатного синхронного двигателя, приведенного на рис. 1, обеспечивается внутренняя подвижность с шестью степенями свободы. Следует также отметить, что неподвижное кольцо статора может быть выполнено в виде торцевой либо горизонтальной плоскопараллельной направляющей, по которой перемещаются подвижные сегменты. Конструктивно-технологическая особенность многокоординатного привода состоит в том, что для реализации движений с двумя и более степенями свободы исполнительного объекта в пространстве не

требуется нескольких отдельных приводов. Кроме того, его способность дополнительно обеспечивать управляемое поворотное движение с неограниченным углом поворота исполнительного объекта вокруг вертикальной оси расширяет область непосредственного применения и делает такой двигатель весьма перспективным для построения на его основе сборочного и оптико-механического оборудования микроэлектроники, современного прецизионного фрезерного и сверлильного оборудования, прецизионных промышленных роботов или управляемых платформ, например для телескопов, лазеров, телекоммуникационных антенн, имитаторов пространственных движений.

В качестве исполнительного механизма системы перемещений предлагается использовать реконфигурируемый механизм параллельной кинематики, показанный совместно с многокоординатным синхронным двигателем на рис. 2.

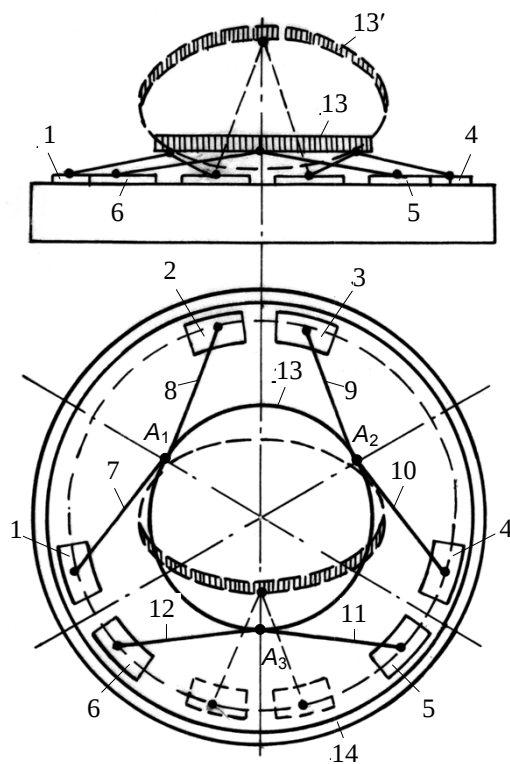


Рис. 2. Реконфигурируемый механизм параллельной кинематики с шестью степенями свободы: 1–6 – подвижные сегменты; 7–12 – шатуны; 13 – платформа; 14 – кольцевой статор; A_1, A_2, A_3 – двойные сферические соединения платформы с шатунами

Особенность предложенного механизма состоит в возможности его реконфигурирования за счет последовательного соединения двух сосед-

них шатунов свободными элементами их сферических шарниров в треугольные контуры с одним сферическим шарниром в общей вершине. При этом каждый переход фактически приводит к уменьшению на единицу числа шатунов и свободных сферических шарниров. Так, если в начальной структуре есть шесть свободных элементов для соединения с шестью независимо управляемыми двигателями, то структуры первой, второй и третьей реконфигураций имеют таких элементов пять, четыре и три соответственно. Это значит, что число степеней свободы механизма изменяется от шести до трех. Таким образом, наблюдается прямая структурная реконфигурация с изменением числа степеней свободы и тем самым такого же изменения числа независимых координат управляемого движения кольцевой рабочей платформы [8, 9].

Угруппированная иерархическая структура системы управления разработанной прецизионной системы перемещений с базовым числом степеней свободы, равным шести, показана на рис. 3.

Математическая модель решения задачи кинематики для реконфигурируемого исполнительного механизма. Конфигурация и вместе с тем кинематика рассматриваемого механизма (рис. 2) однозначно определяются положением ведущих звеньев (1, 2, ..., 6), конструктивно выполненных в виде подвижных

управляемых сегментов поворотного привода, законы движения которых в рассматриваемой задаче кинематики определяются исходя из заданного положения и ориентации системы координат xyz подвижного кольца по отношению к системе координат XYZ , жестко связанной с неподвижным кольцом. Выберем системы координат xyz и XYZ , как показано на рис. 4, расположив оси x , y и X , Y в плоскостях соответствующих колец, а оси z и Z – ортогонально плоскостям колец.

С учетом выбранных систем координат xyz и XYZ (рис. 4) задача кинематики для рассматриваемого механизма может быть сформулирована следующим образом. Необходимо по положению и ориентации подвижной системы координат xyz , задаваемым дискретно или параметрически в неподвижной системе координат XYZ , найти положение сегментов 1, 2, ..., 6, определяемых в системе координат XYZ координатами точек A_i и B_i ($i = 1, 2, 3$). Положение и ориентацию подвижной системы координат xyz по отношению к неподвижной системе координат XYZ будем задавать соответственно координатами точки $O(x_0, y_0, z_0)$ и углами Эйлера φ, θ, ψ независимых поворотов, обеспечивающих угловые совмещения подвижной и неподвижной систем координат. Для однозначности решения необходимо принять последовательность этих поворотов.

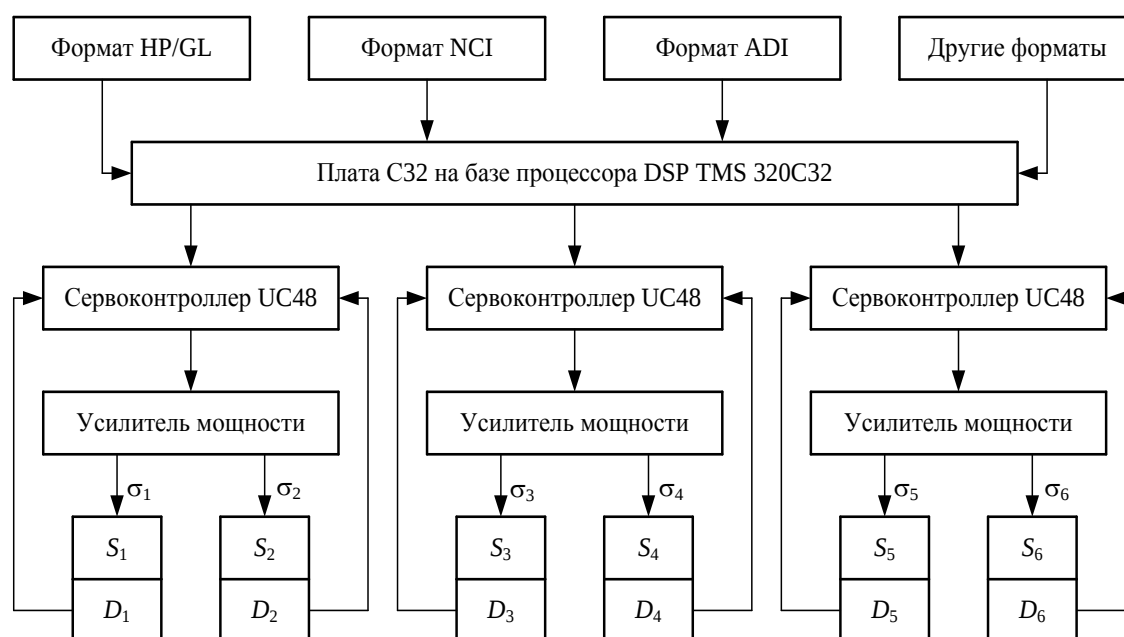


Рис. 3. Иерархическая структура системы управления

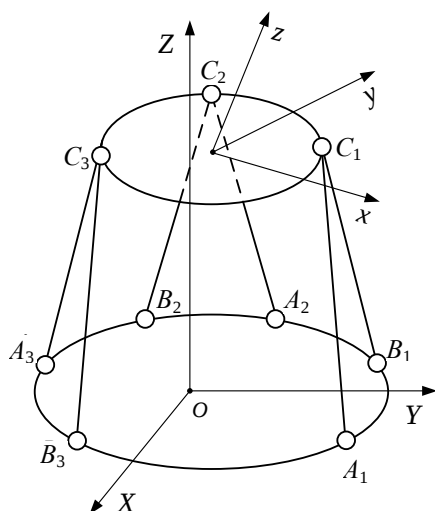


Рис. 4. Расчетная структурно-кинематическая модель
реконфигурируемого механизма

Авторами принята последовательность поворотов по схеме $\varphi \rightarrow \theta \rightarrow \psi$, т. е. сначала осуществляется поворот вокруг оси x на угол φ , затем вокруг оси y на угол θ и, наконец, поворот вокруг оси z на угол ψ . С учетом вышесказанного результирующая матрица поворота $M_{\varphi, \theta, \psi}$ определится произведением следующих матриц:

$$M_\varphi = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix};$$

$$M_\psi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Используя матрицы (1), окончательно получим результирующую матрицу поворота $M_{\varphi, \theta, \psi}$ в виде

$$M_{\varphi, \theta, \psi} = M_{\varphi} M_{\theta} M_{\psi} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \theta & -\sin \varphi \cos \psi + \cos \varphi \sin \theta \sin \psi \\ \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \psi + \sin \varphi \sin \theta \sin \psi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \psi \\ \sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \sin \theta \cos \psi \\ \rightarrow -\cos \varphi \sin \psi + \sin \varphi \sin \theta \cos \psi \\ \cos \theta \cos \psi \end{bmatrix}.$$

Перепишем ее в однородных координатах
в виде матрицы четвертого порядка

$$M'_{\phi, \theta, \psi} = \begin{bmatrix} & & & 0 \\ & \begin{bmatrix} M_{\phi, \theta, \psi} \\ 3 \times 3 \end{bmatrix} & & 0 \\ & & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Матрица положения подвижной платформы M_0 , характеризуемая координатами x_0, y_0, z_0 в однородных координатах, запишется в виде

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Тогда полное преобразование, определяемое положением точки $O(x_0, y_0, z_0)$ и поворотом на углы Эйлера φ, θ, ψ , будет с учетом (2) и (3) определяться матрицей M следующего вида:

$$M = M_0 M'_{\varphi, \theta, \psi} = M'_{\varphi, \theta, \psi} M_0 = \begin{bmatrix} & & & x_0 \\ & \begin{bmatrix} M_{\varphi, \theta, \psi} \\ 3 \times 3 \end{bmatrix} & & y_0 \\ & & & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Таким образом, полученная матрица M представляет собой полное математическое описание положения и ориентации подвижного кольца в системе координат XYZ . Положение точек C_1, C_2, C_3 в системе координат подвижного кольца, как это следует из рис. 4, может быть задано следующими матрицами-столбцами:

$$R_{C_1} = \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad R_{C_2} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}r \\ \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad R_{C_3} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}r \\ \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Пересчет координат точек C_1, C_2, C_3 в неподвижную систему координат XYZ осуществляется с помощью матричного преобразования

$$R^{(C_i)} = MR_{C_i} \quad (i = 1, 2, 3)$$

или с учетом (4) в виде

$$R^{(C_i)} = \begin{bmatrix} x^{(C_i)} \\ y^{(C_i)} \\ z^{(C_i)} \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x_{C_i} \\ y_{C_i} \\ z_{C_i} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Зная в рассматриваемой конфигурации механизма текущее положение точек C_1 , C_2 и C_3 , координаты точек A_i и B_i ($i = 1, 2, 3$) будем искать из условия принадлежности этих точек одновременно окружности радиусом R с каноническим уравнением в виде

$$x^2 + y^2 = R^2 \quad (6)$$

и окружностей как линий пересечений трех сфер радиусом l с центрами соответственно в точках C_1 , C_2 , C_3 с координатной плоскостью XOY неподвижной системы координат. Поэтому сначала построим уравнение линии пересечения сферы с центром в точке C_1 и плоскости XOY .

Уравнение сферы с центром в точке C_1 имеет вид

$$(x - x^{(C_1)})^2 + (y - y^{(C_1)})^2 + (z - z^{(C_1)})^2 = l^2, \quad (7)$$

а уравнение координатной плоскости XOY

$$z = 0. \quad (8)$$

Отсюда, подставив (8) в (7), окончательно получим уравнение искомой линии пересечения в виде

$$(x - x^{(C_1)})^2 + (y - y^{(C_1)})^2 = l^2 - (z^{(C_1)})^2. \quad (9)$$

Для нахождения координат точек A_1 и B_1 , соответствующих рассматриваемому положению точки C_1 , решим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} (x - x^{(C_1)})^2 + (y - y^{(C_1)})^2 = l^2 - (z^{(C_1)})^2; \\ x^2 + y^2 = R^2. \end{cases} \quad (10)$$

Аналогичным образом определяются координаты точек A_2 , B_2 и A_3 , B_3 .

Найденные точки A_i и B_i ($i = 1, 2, 3$) определяют положения подвижных сегментов синхронного многокоординатного двигателя в зави-

симости от заданного положения и ориентации исполнительной кольцевой платформы. Параметрические представления положения этих точек во времени позволяют в конечном итоге формировать алгоритмы программируемых движений, реализуемых системой управления [10].

Встраивание прецизионной системы перемещений в проекционный узел оптико-механического оборудования.

Показатели назначения проекционных систем высокого разрешения технологического оптико-механического оборудования микроэлектроники определяются точностью изготовления формы оптических элементов, точностью позиционирования их в оптической системе и стабильностью поддержания этих параметров в течение времени жизни проекционной системы [2, 11]. В настоящее время фирмы – изготовители проекционных систем высокого разрешения используют специальное технологическое оборудование для юстировки положения оптических элементов. Основной принцип наладки проекционных систем с помощью этого оборудования заключается в подгонке размеров оправок оптических элементов для того, чтобы исключить перекосы, заклоны, несовмещение оптических осей, устранение зазоров при установке в основной корпус конструкции проекционной системы. Такая технология не всегда может обеспечить наладку изделия в требуемом диапазоне показателей назначения при его изготовлении. Сам сборочный процесс изготовления фотолитографического объектива включает многоэтапную процедуру сборки и разборки с подгонкой и юстировкой оправок линз по схеме, представленной на рис. 5. При эксплуатации геометрия проекционной системы подвержена тепловому и временному дрейфам, при этом координаты позиционирования оптических элементов могут выйти за допустимые пределы, обеспечивающие показатели назначения проекционной системы (разрешающая способность, глубина резкости и контрастности изображения, дисторсия).

Взамен традиционной схемы сборки объективов авторами предложено применять для оправок с линзами прецизионную систему перемещений, показанную на рис. 2. Подвижное кольцо при этом используется для установки на нем оправки с оптическим элементом.

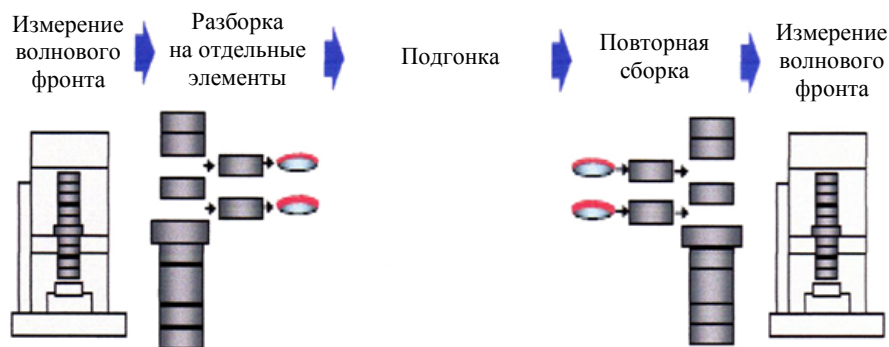


Рис. 5. Схема сборки фотолитографического объектива

В результате конструктивно и кинематически обеспечивается возможность управляемого (в том числе и адаптивного) позиционирования отдельных оптических элементов, в общем случае с шестью степенями свободы, в небольшом, но достаточном для юстировки оптической системы диапазоне изменения координат как линейных (x , y , z), так и угловых (φ_x , φ_y , φ_z) перемещений. Необходимые малые изменения координат при реализации адаптивной юстировки позволяют компактно встраивать исполнительный механизм позиционирования в конструкцию проекционной системы, конфигурируя его в виде двух колец, одно из которых неподвижное с электромагнитными модулями движения в корпусе фотолитографического объектива, а другое – подвижное с оправкой для оптического элемента, управляемое через промежуточные кинематические цепи или элементы в виде шатунов со сферическими парами, эксцентриков или клиновых преобразователей. Таким образом, сохраняется традиционная схема сборки, при этом в конструкцию проекционной системы может быть встроен механизм стабилизации координат позиционирования оптических элементов, позволяющий подстраивать их при сборке и изменении геометрии проекционной системы и оптических элементов вследствие старения. В результате предложенные адаптивные механизмы позиционирования позволяют поддерживать на требуемом уровне показатели назначения. При этом для каждого подстраиваемого оптического элемента адаптивный механизм позиционирования предлагается делать на основе исполнительных механизмов с шестью или меньшим числом степеней свободы кольцевого типа с сегментными электромагнитными модулями.

Адаптивные механизмы юстировки оптических элементов позволяют учитывать обязательные требования, вытекающие из конструктивных и функциональных особенностей проекционной системы оптико-механического оборудования, такие как:

- минимальные осевые габариты, не более чем в 1,5–2 раза превышающие осевой размер оправки с линзой;
- габаритный диаметр механизма не должен превышать внутренний диаметр цилиндрического корпуса объектива или селективного блока с линзой;
- повышенная жесткость конструкции с автоматической фиксацией положения после завершения юстировочных перемещений;
- диапазон линейных перемещений по координатам x и y – от 0 до 1 мм, по оси z – от 0 до 2 мм, по углам φ , θ , ψ угловые юстировочные перемещения – от 0° до 1° .

Проведенное компьютерное моделирование показало, что для таких механизмов с малым осевым размером калибровочные передаточные коэффициенты по всем шести координатам (трем линейным и трем угловым) в диапазонах перемещений (линейных – до 1 мм, угловых – до 1°) лежат в пределах от 0,01 до 0,02. Это значит, что координатное разрешение по линейным координатам при точности сегментного привода 1 мкм будет равно 10 нм, а угловое разрешение составит $5''$. Эти характеристики прецизионных систем перемещений вполне удовлетворяют не только современному, но и перспективному оборудованию. Наряду с описанным выше применением, разработанная система перемещений может быть использована как координатная система позиционирования,

совмещения и сканирования в сборочном и другом прецизионном оборудовании.

ВЫВОДЫ

1. Предложенная прецизионная система перемещений наиболее полно удовлетворяет требованиям оптико-механического оборудования микроэлектроники. Она позволяет разрабатывать адаптивные механизмы, обеспечивающие юстировку оптических элементов проекционных систем в процессе изготовления и эксплуатации. При этом может выполняться юстировка оправок с линзами по шести независимым в пространстве координатам с шестью степенями свободы при сохранении оптической оси системы.

2. Исполнительный реконфигурируемый механизм параллельной кинематики, входящий в состав системы перемещений, обладает повышенной жесткостью конструкции, обеспечивая стабильность сохранения позиции и автоматическую фиксацию положения после завершения юстировки. Он конструктивно выполнен в виде модульного сегментного блока в цилиндрическом корпусе минимальных осевых габаритов.

3. Полученное авторами аналитическое решение задачи кинематики, возникающей при разработке системы управления для реконфигурируемого механизма параллельной кинематики, позволило алгоритмизировать управление программируемыми движениями системы перемещений. Решение выполнено на базе геометро-аналитического подхода, основанного на уравнениях аналитической геометрии в трехмерном пространстве и матричных преобразованиях в однородных координатах. При этом алгоритмически обеспечено сохранение начальных конфигурационных условий во всем диапазоне изменений искомых переменных с обеспечением однозначного визуального отображения по разработанной программе симуляции в среде MatLab.

4. Предложенную систему перемещений на кольцевом сегментном многокоординатном приводе рекомендуется использовать в оптико-механическом оборудовании микроэлектроники с проекционными системами нанометрового

разрешения, в которых важнейшими являются точность позиционирования элементов и стабильность поддержания геометрических параметров в процессе эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аваков, С. М.** Автоматический контроль топологии планарных структур / С. М. Аваков, С. Е. Карпович. – Минск: ФУАинформ, 2007. – 168 с.
2. **Оптико-механические** комплексы для бездефектного изготовления фотошаблонов 0,35 мкм и 90 нм / С. М. Аваков [и др.] // Фотоника. – 2007. – № 6. – С. 35–39.
3. **Аваков, С. М.** Современное оборудование для производства изделий электронной техники / С. М. Аваков, С. Б. Школык // Петербургский журнал электроники. – 2006. – Вып. 1 (46)–2 (47). – С. 204–209.
4. **Системы** многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / В. В. Жарский [и др.]; под ред. С. Е. Карповича. – Минск: Бестпринт, 2013. – 208 с.
5. **Карпович, С. Е.** Прецизионные системы перемещений / С. Е. Карпович, Ю. С. Межинский, В. В. Жарский // Доклады БГУИР. – 2004. – № 3 (7). – С. 50–61.
6. **Карпович, С. Е.** Прецизионные системы перемещений для оборудования производства изделий электронной техники / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк // Доклады БГУИР. – 2014. – № 2 (80). – С. 60–72.
7. **Структура** механической системы на базе параллельного манипулятора с шестью степенями свободы / С. Е. Карпович [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А. А. Дюжев [и др.]. – Минск: Промпечать, 2013. – Вып. 2. – С. 150–153.
8. **Litvinau, Y.** On-the-Fly Reconfigurable Parallel Manipulators / Y. Litvinau, S. Karpovich // Proceedings of 56th Int. Scientific Colloquium, Ilmenau, Germany, September 12–16, 2011 / Technical University of Ilmenau. – Ilmenau, 2011. – P. 90–91.
9. **Дайняк, И. В.** Реконфигурируемые исполнительные механизмы параллельной кинематики / И. В. Дайняк, С. Е. Карпович, В. В. Жарский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А. А. Дюжев [и др.]. – Минск: Промпечать, 2013. – Вып. 2. – С. 145–149.
10. **Моделирование** механизмов параллельной кинематики в среде MatLab/Simulink / С. Е. Карпович [и др.]. – Минск: Бестпринт, 2013. – 153 с.
11. **Карпович, С. Е.** Построение математических моделей автоматизированного проектирования прецизионного оптико-механического оборудования для электронного машиностроения / С. Е. Карпович, В. Е. Матюшков, С. М. Аваков; под ред. С. Е. Карповича. – Минск: НПО «Интеграл», 2000. – 123 с.

REFERENCES

1. **Avakov, S. M., & Karpovich, S. E.** (2007) *Automation Control of Planar Structure Topology*. Minsk, FUAinform. 168 p. (in Russian).

2. **Avakov, S. M.**, Ovchinnikov, V., Karpovich, S., Titko, E., & Trapashko, G. (2007) Optico-Mechanical Complexes for Defect-Free Manufacturing of 0.35 mkm and 90 nm Photomasks. *Fotonika* [Photonics], 6, 35–39 (in Russian).

3. **Avakov, S. M.**, & Shkolyk, S. B. (2006) Modern Equipment for Production of Electronics Items. *Peterburgsky Zhurnal Elektroniki* [Saint-Petersburg Journal of Electronics], 1 (46) – 2 (47), 204–209 (in Russian).

4. **Zharsky, V. V.**, Karpovich, S. E., Dainiak, I. V., Lanin, V. L., Petukhov, I. B., Litvinov, E. A., & Poliakovskii, V. V. (2013) *Systems of Multi-Coordinate Motions and Actuation Mechanisms for Precision Technological Equipment*. Minsk, Bestprint. 208 p. (in Russian).

5. **Karpovich, S. E.**, Mezinsky, Yu. S., & Zharsky, V. V. (2004) Precision Motion Systems. *Doklady BGUIR* [Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics], 3 (7), 50–61 (in Russian).

6. **Karpovich, S. E.**, Zharsky, V. V., & Dainiak, I. V. (2014) Precision Motion Systems for Equipment Used for Manufacturing of Electronics Items. *Doklady BGUIR* [Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics], 2 (80), 60–72 (in Russian).

7. **Karpovich, S. E.**, Zharsky, V. V., Dainiak, I. V., & Arebi, M. A. (2013) Structure of Mechanical System on the Basis of Parallel Manipulator with 6 Degrees of Freedom.

Aktual'nye Voprosy Mashinovedeniia. Sbornik Nauchnykh Trudov [Important Issues of Engineering Science: Collection of Research Papers] Minsk, Prompechat', 2, 150–153 (in Russian).

8. **Litvinau, Y.**, & Karpovich, S. (2011) On-the-Fly Reconfigurable Parallel Manipulators. *Proceedings of 56th Int. Scientific Colloquium, Ilmenau, Germany, September 12–16, 2011*. Ilmenau, Technical University of Ilmenau, 90–91.

9. **Dainiak, I. V.**, Karpovich, S. E., & Zharsky, V. V. (2013) Reconfiguration Actuation Mechanisms of Parallel Kinematics. *Aktual'nye Voprosy Mashinovedeniia. Sbornik Nauchnykh Trudov* [Important Issues of Engineering Science: Collection of Research Papers] Minsk, Prompechat', 2, 145–149 (in Russian).

10. **Karpovich, S. E.**, Zharsky, V. V., Dainiak, I. V., & Litvinov, E. A. (2013) *Simulation of Parallel Kinematics Mechanisms in MatLab/Simulink Environment*. Minsk, Bestprint. 153 p. (in Russian).

11. **Karpovich, S. E.**, Matiushkov, V. E., & Avakov, S. M. (2000) *Development of Mathematical Models for Computer-Aided Designing of Precision Optico-Mechanical Equipment for Electronic Engineering*. Minsk, JSC "Integral". 123 p. (in Russian).

Поступила 09.04.2014

УДК 535.317

КОМПОЗИЦИИ АТЕРМАЛИЗОВАННЫХ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ОБЪЕКТИВОВ

Асп. МУРАВЬЁВ А. В., канд. техн. наук, доц. КУЧЕРЕНКО О. К.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

E-mail: oleg.k.kucherenko@gmail.com

Приборы инфракрасной техники часто эксплуатируются в сложных условиях окружающей среды. В первую очередь это относится к температурному диапазону, который согласно требованиям может достигать $\pm 60^\circ\text{C}$. Исходя из этого одной из важных задач при проектировании объективов инфракрасных приборов является сохранение их основных характеристик при температурных колебаниях. Изменение температуры внутри объектива приводит к изменению конструктивных параметров оптической системы и как следствие к терморасфокусировке и появлению термоаббераций в изображении, что повлечет за собой резкое снижение частотных и энергетических характеристик системы. В статье рассмотрен вопрос компенсации влияния температурных полей на качество изображения фокусирующих узлов, работающих в инфракрасном спектральном диапазоне, для случая однородного распределения температуры в системе.

Устранение зависимости характеристик ИК-объективов от температуры целесообразно проводить на этапе проектирования фокусирующего узла путем использования методов атермализации. Рассмотрены результаты применения разработанной авторами методики пассивной оптической атермализации для проектирования инфракрасных объективов-триплетов и отмечены их преимущества по сравнению с неатермализованными аналогами. Предложены схемы термонеинвариантных трехкомпонентных объективов, работающих в дальнем инфракрасном диапазоне спектра 8–14 мкм, с матричными фотоприемниками. Приведены результаты анализа влияния изменения температурного поля на качество изображения как неатермализованных, так и атермализованных ИК-объективов. Рекомендуются комбинации оптических материалов и характеристики оптических систем для создания атермализованных объективов дальней инфракрасной области спектра. Приведена оптическая система триплета, рассчитанного на основе методики атермализации.

Ключевые слова: инфракрасная техника, пассивная атермализация, атермализованный объектив.

Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 10 назв.

COMPOSITIONS OF ATHERMALIZED THREE-COMPONENT INFRARED OBJECTIVES

MURAVIOV A. V., KUCHERENKO O. K.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Devices of infrared equipment are often operating under complicated environmental conditions. First of all it concerns temperature range which can reach ± 60 °C in accordance with the requirements. Proceeding from this condition one of the most important tasks for designing objectives if the infrared devices is to preserve their main characteristics during temperature fluctuations. Temperature changes in internal part of the objective leads to changes in design values of the optical system and it leads consequently to thermal defocusing and appearance of aberrations in image that entails sharp decrease in frequency and energy characteristics of the system. The paper considers a problem on compensation of temperature field influence on image quality of focusing units operating in infrared spectral range when there is uniform temperature distribution in the system.

It is expedient to remove dependences of infrared objective characteristics on temperature at the designing stage of focusing unit while using an athermalization method. The paper examines application results of the developed methodology for passive optical athermalization for designing infrared triplet objectives and reveals their advantages in comparison with non-athermalized analogues. Schemes of thermal-independent three-component objectives operating in the long-distance infrared range of the spectrum 8–14 mkm with matrix photo-receivers have been proposed in the paper. The paper provides results of the analysis on influence of temperature field changes on image quality as non-athermalized so athermalized infrared objectives as well. Combinations of optical materials and characteristics of optical systems for creation of athermalized objectives with long-distance infrared spectrum range have been recommended in the paper. The paper presents an optical system of the triplet which is calculated on the basis of the developed athermalization methodology.

Keywords: infrared technology, passive athermalization, athermalized objective.

Fig. 4. Tab. 3. Ref.: 10 titles.

Введение. Эксплуатация объективов в широком температурном диапазоне влечет за собой изменение конструктивных параметров оптической системы и как следствие терморасфокусировку и появление термоаббераций в изображении, что приводит к невыполнению указанных требований. Вопросам проектирования термонеиндивидуальных объективов инфракрасной (ИК) области спектра посвящен ряд научных работ [1–9]. Анализ этих публикаций дает представление о преимуществах применения по сравнению с другими известными методами пассивной оптической атермализации, среди которых наиболее существенными являются: простота конструкции, высокая точность и надежность, снижение массогабаритных характеристик фокусирующего узла. В [6–8] содержатся общие рекомендации по проектированию атермализованных ИК-объективов, однако в них отсутствует обобщенная методика, основанная на математическом алгоритме целенаправленного расчета атермализованного фокусирующего узла с учетом свойств применяемых материалов, требований к конструктивным параметрам этого узла и диапазону действующих температур. В связи с этим разработка композиций атермализованных ИК-объективов про-

водится путем синтеза с пошаговой оптимизацией конструктивных параметров системы и как следствие занимает длительное время.

Постановка задачи. При проектировании ИК-объективов, работающих в диапазоне спектра 8–14 мкм и предназначенных для эксплуатации в широком диапазоне температур, возникает задача сохранения их расчетных характеристик качества изображения в этом температурном диапазоне. Целью исследований авторов являлись разработка композиций атермализованных ИК-объективов, анализ их характеристик и преимуществ по сравнению с неатермализованными аналогами.

Результаты работы и их обсуждение. При проектировании объективов ИК-техники в спектральном диапазоне 8–14 мкм широко применяются трехкомпонентные оптические системы, которые позволяют получить качество изображения, близкое к дифракционному, без применения асферических поверхностей. Анализ известных неатермализованных схем объективов-триплетов для ИК-области спектра, приведенных, например, в [10], показал, что при повышении температуры в оптической системе с фокусным расстоянием 57,55 мм на 40 °C (предполагается однородное температур-

ное распределение) изменение заднего фокального отрезка составляет более 200 мкм. Максимальная величина терморасфокусировки наблюдается у объективов, все компоненты которых изготовлены из германия, характеризующего высоким значением термооптической постоянной. В результате терморасфокусировки в плоскости фотоприемного устройства (ФПУ) диаметр кружка рассеяния увеличивается в восемь раз. Как следствие нарушаются требования к контрасту изображения и концентрации энергии в размере пикселя. Контраст изображения характеризуется модуляционной передаточной функцией (МПФ). Ее значения для объектива, параметры которого содержатся в [10], в зависимости от коэффициента передачи модуляции (КПМ) и пространственной частоты Найквиста μ_H приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что на частоте $\mu_H = 20 \text{ мм}^{-1}$ для приемника излучения с размером пикселя $25 \times 25 \text{ мкм}$ на краю поля зрения объектива КПМ уменьшается на 40 % для сагиттальной и на 25 % для меридиональной плоскостей при изменении температуры на 40°C .

Разработанная авторами методика пассивной оптической атермализации [9] позволила получить ряд комбинаций атермализованных триплетов инфракрасного диапазона спектра 8–14 мкм. Характеристики материалов, использованных в системах, приведены в табл. 1. Характеристики комбинаций атермализованных ИК-триплетов с оптическими силами Φ_{1-3} компонентов и оптической силой системы Φ содержит табл. 2.

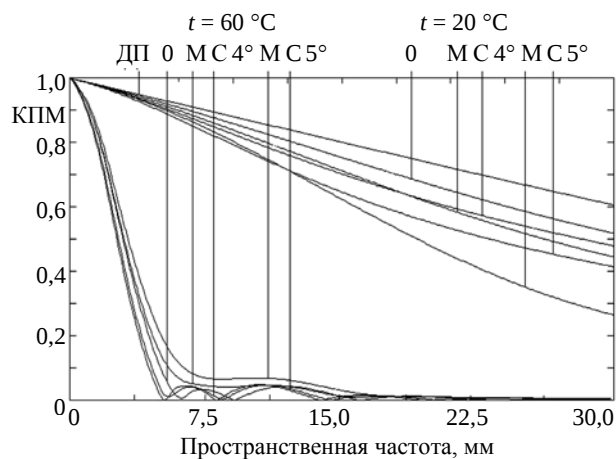


Рис. 1. МПФ неатермализованного объектива при температуре 20 и 60°C : ДП – дифракционный предел; М, С – меридиональное и сагиттальное сечения; 0, 4° , 5° – углы поля зрения системы

На основе одной из полученных комбинаций (табл. 2) была синтезирована схема атермализованного трехкомпонентного ИК-объектива, окончательную оптимизацию которого проводили в программной среде ZEMAX. Объектив имел фокусное расстояние 60 мм, относительное отверстие 1:1, угол поля зрения 10° . Задний фокальный отрезок данного триплета изменяли в пределах $\pm 6 \text{ мкм}$ в температурном диапазоне от минус 20 до 60°C ($\Delta t = \pm 40^\circ\text{C}$). Конструктивные параметры системы приведены в табл. 3.

МПФ и функция концентрации энергии (ФКЭ) синтезированного атермализованного объектива в температурном диапазоне от минус 20 до 60°C показаны на рис. 2, 3.

Таблица 1

Оптические и термооптические характеристики материалов

Материал	Показатель преломления n_λ			Коэффициент дисперсии Аббе v_{8-14}	Температурное линейное расширение, град^{-1} , $\alpha \cdot 10^{-6}$	Термооптическая постоянная, град^{-1} , $V_t \cdot 10^{-6}$
	$\lambda_1 = 8 \text{ мкм}$	$\lambda_2 = 11 \text{ мкм}$	$\lambda_3 = 14 \text{ мкм}$			
Ge	4,0068	4,0036	4,0018	633,70	6,1	125,0
ИКC25	2,7729	2,7645	2,7542	94,75	20,0	6,4
ИКC29	2,6065	2,5970	2,5850	74,17	18,0	9,40
ИКC34	2,5996	2,5909	2,5788	76,62	11,0	49,0
ZnS	2,2227	2,1860	2,1304	12,86	6,6	30,0
ZnSe	2,4173	2,4000	2,3759	33,86	7,1	36,0

Таблица 2

Комбинации и характеристики атермализованных ИК-триплетов

Материалы 1, 2 и 3 компонентов	Φ_1/Φ	Φ_2/Φ	Φ_3/Φ	Φ	Изменение заднего фокального отрезка, $\times 10^{-3}$, мм
ИКС25, ZnSe, Ge	1,19	0,68	1,18	0,84	5
ИКС25, ZnSe, ИКС25	1,15	0,72	1,23	0,80	3
ИКС25, ZnSe, ИКС29	1,24	0,99	1,43	0,72	3
ИКС29, ZnSe, Ge	1,41	1,01	1,28	0,86	5
ИКС29, ZnSe, ИКС34	1,60	1,60	1,30	0,68	5
ИКС25, ZnS, Ge	0,72	0,12	1,08	0,91	5

Таблица 3

Конструктивные параметры атермализованного триплета

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Материал компонента	Световой диаметр, мм
66,33	7,13	ИКС25	60,00
196,12	6,42	—	59,84
682,56	4,52	ZnSe	54,86
120,65	51,24	—	51,61
24,45	4,98	Ge	23,95
24,46	10,27	—	20,08

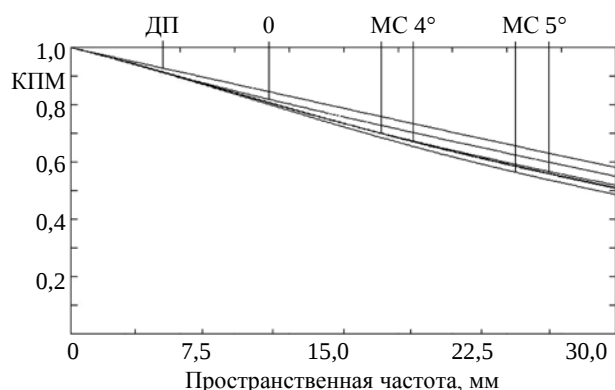


Рис. 2. МПФ синтезированного атермализованного объектива

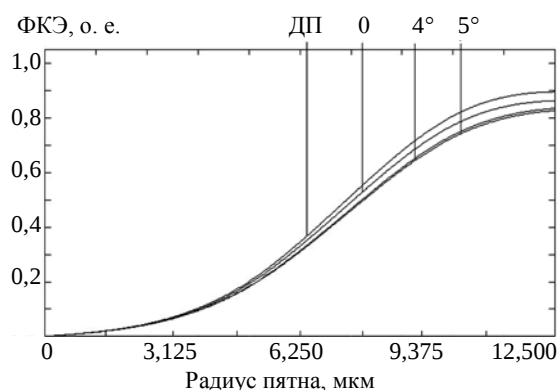


Рис. 3. ФКЭ синтезированного атермализованного объектива

Фотоприемные устройства (ФПУ) современных тепловизионных камер разрабатываются с применением неохлаждаемых микроболометрических матриц с размером пикселя $q = 17\text{--}25$ мкм. Для приборов ИК-техники обязательным условием является, чтобы концентрация энергии η в размере пикселя составляла не менее 75 %. Для тепловизоров, формирующих изображение объектов конечных размеров, необходимо, чтобы значение КПМ на частоте Найквиста $\mu_H = 1/2q = 20\text{--}30$ мм⁻¹ было не менее 0,6. При этом на объективы накладываются требования по минимизации габаритов, увеличению светосилы и угла поля зрения системы, а также сохранению их характеристик и качества изображения в необходимом диапазоне рабочих температур, который может достигать ± 60 °С и выше.

КПМ синтезированного триплета на пространственной частоте Найквиста для приемника излучения с размером пикселя 25×25 мкм составляет на краю поля зрения 0,66 и изменяется в пределах ± 1 % в диапазоне температур $\Delta t = \pm 40$ °С. Концентрация энергии в кружке рассеяния диаметром 25 мкм на краю поля зрения объектива, как видно из рис. 3, близка к дифракционному пределу и составляет 83 %, а ее изменение в диапазоне температур $\Delta t = \pm 40$ °С не превышает $\pm 0,8$ %. Это дает возможность использовать объектив в тепловизионных камерах с современными микроболометрическими матричными приемниками излучения.

Как следует из табл. 2, существует возможность создания атермализованных объективов-триплетов, два оптических компонента которых состоят из одного материала. Примером такой комбинации является схема объектива, пока-

званная на рис. 4, где первый и третий оптические компоненты системы выполнены из ИКС25, материалом второго компонента является ZnSe. Фокусное расстояние объектива 80 мм, угол поля зрения 10° , относительное отверстие 1:1. Изменение заднего фокального отрезка объектива в диапазоне температур $\Delta t = \pm 40^\circ\text{C}$ не превышает 5 мкм, а диаметр кружка рассеяния в плоскости ФПУ изменяется в пределах ± 1 мкм. Концентрация падающей энергии в пятне рассеяния размером 25 мкм составляет 82 % на всем поле зрения объектива.

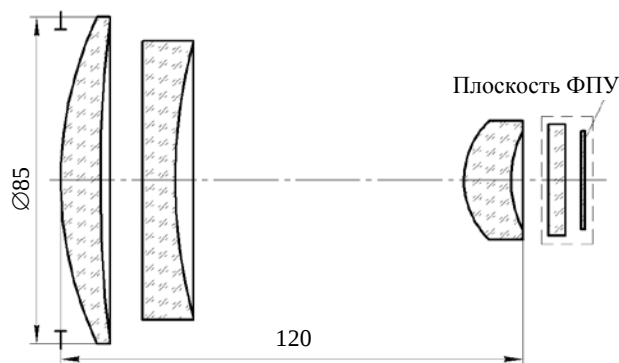


Рис. 4. Атермализованный триплет, состоящий из двух оптических материалов

ВЫВОДЫ

1. В ходе проведенного исследования установлено, что для неатермализованного объектива на пространственной частоте Найквиста для приемника излучения с размером пикселя 25×25 мкм коэффициент передачи модуляции на краю поля зрения уменьшается на 40 % для сагиттальной и на 25 % для меридиональной плоскостей при изменении температуры в диапазоне $\Delta t = \pm 40^\circ\text{C}$.

2. На основе ранее разработанной авторами методики пассивной оптической атермализации получены комбинации ИК-атермализованных триплетов. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных фокусирующих узлов обладают высоким качеством изображения, близким к дифракционному пределу, и сохраняют свои характеристики в диапазоне температур от минус 20 до 60°C . Выбор той или иной композиции материалов для синтеза атермализованного ИК-объектива определяется технологическими возможностями разработчика. Большинство вариантов композиций объек-

тивов содержат три разных материала, но возможны варианты и с двумя оптическими материалами.

3. Синтезированный ИК-триплет с фокусным расстоянием 60 мм, относительным отверстием 1:1, углом поля зрения 10° характеризуется в температурном диапазоне $\Delta t = \pm 40^\circ\text{C}$ изменением заднего фокального отрезка 6 мкм, что на 1–2 порядка меньше, чем для неатермализованных объективов с аналогичными характеристиками. Установлено, что коэффициент передачи модуляции синтезированного атермализованного ИК-объектива на пространственной частоте Найквиста для матричного микроболометрического приемника с размером пикселя 25×25 мкм характеризуется значением 0,66 и изменением в пределах $\pm 1\%$ в диапазоне температур от минус 20 до 60°C .

ЛИТЕРАТУРА

1. Jamison, T. H. Athermalization of Optical Instruments from the Optomechanical Viewpoint / T. H. Jamison // Optical Design. – 1992. – Vol. CR43. – P. 131–159.
2. Jamison, T. H. Thermal Effects in Optical Systems / T. H. Jamison // Optical Engineering. – 1981. – Vol. 20, No 2 – P. 156–160.
3. Tejada, J. Passive Athermalization: Maintaining Uniform Temperature Fluctuations / J. Tejada // Photonics Handbook, May 2006. Optical Design. – 2006. – P. 341–345.
4. Латыев, С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах / С. М. Латыев. – Л.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
5. Слюсарев, Г. Г. Методы расчета оптических систем / Г. Г. Слюсарев. – Л.: Машиностроение, 1969. – С. 273–285.
6. Кучеренко, О. К. Атермализация объективов тепловизоров в артиллерийских и танковых системах наблюдения и прицеливания / О. К. Кучеренко, А. В. Муравьев // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2011. – № 3. – С. 28–33.
7. Кучеренко, О. К. Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Тягур // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – № 5. – С. 114–117.
8. Кучеренко, О. К. Вплив температури на абераційні властивості об'єктивів / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, Д. О. Остапенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1. – С. 99–105.
9. Тягур, В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В. М. Тягур, О. К. Кучеренко, А. В. Муравьев // Оптический журнал. – 2014. – № 4. – С. 42–47.
10. Светосильный объектив для инфракрасной области спектра: пат. № 2449327 РФ: МПК G02B9/34 / М. Н. Сокольский, И. Е. Совз; дата публ.: 27.04.2012.

REFERENCES

1. **Jamison, T. H.** (1992) Athermalization of Optical Instruments from the Optomechanical Viewpoint. *Optical Design*, Vol. CR43, 131–159.
2. **Jamison, T. H.** (1981) Thermal Effects in Optical Systems. *Optical Engineering*, 20 (2), 156–160.
3. **Tejada J.** (2006) Passive Athermalization: Maintaining Uniform Temperature Fluctuations. *Photonics Handbook*, May 2006. *Optical Design*, 341–345.
4. **Latyev, S. M.** (1985) *Error Compensation in Optical Devices*. Leningrad, Mashinostroenie. 248 p. (in Russian).
5. **Slyusarev, G. G.** (1969) *Calculation Methods for Optical Systems*. Leningrad, Mashinostroenie, 273–285 (in Russian).
6. **Kucherenko, O. K., & Muraviov, A. V.** (2011) Athermalization of Thermal Imagery Device Objective in Artillery and Tank Sighting Systems. *Artilleriyskoye i Strelkovoye Vooruzhenie* [Artillery Armament and Small Arms], 3, 28–33 (in Russian).
7. **Kucherenko, O. K., Muraviov, O. V., & Tiagur, V. M.** (2012) Achromatization and Athermazation of Objectives in Infrared Equipment. *Naukovi Visti Natsional'nogo Tekhnichnogo Universitetu Ukraini "Kiivs'kii Politekhichniy Institut"* [Science News National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"], 5, 114–117 (in Ukrainian).
8. **Kucherenko, O. K., Muraviov, O. V., Ostapenko, D. O.** (2013) Influence of Temperature on Operational Characteristics of Objectives. *Naukovi Visti Natsional'nogo Tekhnichnogo Universitetu Ukraini "Kiivs'kii Politekhichniy Institut"* [Science News National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"], 1, 99–105 (in Ukrainian).
9. **Tiagur, V. M., Kucherenko, O. K., & Muraviov, A. V.** (2014) Passive Optical Athermalization of Infrared Three-Lens Achromat. *Optichesky Zhurnal* [Optical Journal], 4, 42–47 (in Russian).
10. **Sokolsky, M. N., & Sovz, I. E.** (2012) High-Aperture Objective for Infrared Spectral Region. Patent RF No 2449327 (in Russian).

Поступила 24.01.2014

УДК 681.515

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ С ЦИФРОВЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Канд. техн. наук, доц. **СТРИЖНЕВ А. Г.¹⁾**, асп. **РУСАКОВИЧ А. Н.²⁾**

¹⁾Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «ОКБ ТСП»,

²⁾Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

E-mail: skb@tspb.com

В статье рассматривается проблема синтеза систем автоматического управления, работающих в различных режимах, например обработки скачкообразных воздействий и слежения за медленно изменяющимися входными сигналами. В большинстве случаев один регулятор не позволяет достичь требуемых показателей качества работы во всех режимах. Одним из способов решения данной задачи может служить создание системы переменной структуры. Предложена система автоматического управления переменной структуры, содержащая два цифровых регулятора, один из которых включен в прямую цепь последовательно, а второй – параллельно объекту управления, имеющему дополнительный усилитель и единичную обратную связь. Такая схема построения отличается простотой и обладает хорошим качеством при обработке ступенчатых и синусоидальных входных сигналов различной амплитуды.

Представлена разработанная структурная схема системы переменной структуры и описан принцип ее действия. Для проверки работы системы выбраны три различных объекта управления. С учетом требований, предъявляемых к качеству функционирования системы, выбраны цифровые регуляторы и определены их параметры. Для проверки работы предложенной системы с различными объектами управления и цифровыми регуляторами проведено математическое моделирование. Подтверждены хорошее быстродействие системы автоматического управления при обработке ступенчатых сигналов, обеспечение минимальной для данных регуляторов динамической ошибки и времени запаздывания при обработке гармонических воздействий различной амплитуды. Полученные результаты доведены до инженерного уровня и могут быть использованы при создании систем автоматического управления, содержащих другие объекты управления и цифровые регуляторы, к качеству работы которых предъявляются различные, порой противоречивые требования.

Ключевые слова: цифровая система автоматического управления переменной структуры, прямая цепь, обратная связь, цифровой регулятор, объект управления.

Ил. 4. Табл. 4. Библиогр.: 10 назв.

RECONFIGURABLE CONTROL SYSTEM WITH DISCRETE-TIME CONTROLLERS

STRIZHNEV A. G.¹⁾, RUSAKOVICH A. N.²⁾

¹⁾Research and Development Limited Liability Company "OKB TSP",

²⁾Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

The paper considers a synthesis problem for automatic control systems, which operate in various modes, for example, tracking step-wise effects and slowly changing input signals. Generally, one controller cannot ensure the required qualitative characteristics in all operational modes. One of the methods to solve this problem is to create a reconfigurable control system. The authors propose a reconfigurable control system with two discrete-time controllers. The first one is placed in series with the forward path and the second one is connected in parallel with the reverse path having additional gain and unity feedback. Such system structure is characterized by its simplicity and qualitative operational ability to track step-wise and sinusoidal inputs with different amplitudes.

The paper presents a developed block diagram of the reconfigurable system and describes its operational principle. Three various plants have been chosen with the purpose to check the operation of the system. Digital controllers have been selected and their parameters have been determined in accordance with the requirements to qualitative operational characteristics of the system. Mathematical modeling has been executed in order to check the operation of the proposed system with various plants and digital controllers. The modeling confirms good –speed performance of the automatic control system while tracking step-wise signals, provision of minimum dynamic error for the given controllers and time delay while tracking harmonic signals with various amplitudes. The obtained results have been successfully tested and can be used for development of automatic control systems that contain other plants and digital controllers, if there are various and occasionally contradictory requirements to their operational quality.

Keywords: reconfigurable control system, forward path, feedback, discrete-time controller, plant.

Fig. 4. Tab. 4. Ref.: 10 titles.

Введение. Синтез регуляторов (корректирующих устройств) систем автоматического управления (САУ) – одна из важнейших задач, изучаемых теорией автоматического управления, которая является весьма сложной, неоднозначной, требующей творческого подхода. При решении указанной задачи необходимо учитывать особенности работы конкретных систем управления, их конструкцию, технические характеристики, вид входного воздействия. Проблема синтеза корректирующих устройств в большинстве случаев точно не решается [1].

Система, оптимальная с точки зрения одного критерия, обычно не имеет оптимальных характеристик по другому критерию. Кроме того, многие САУ работают в нескольких режимах, например обработки больших скачкообразных воздействий и слежения за медленно изменяющимися входными сигналами. Один из способов решения данной задачи – создание системы переменной структуры (СПС) [2–5], которую можно выполнить оптимальной по нескольким критериям. Под СПС следует понимать систему, содержащую несколько законов управления, которые переключаются в процессе функционирования и тем самым обеспечивают более высокие показатели качества работы. В зависимости от того, какие коор-

динаты системы и внешние воздействия доступны для измерения, переключение может происходить по величине ошибки, выходной координаты исполнительного устройства, задающего или возмущающего воздействия, регулируемого параметра [2]. Примером такой системы может служить САУ, содержащая ПИД-регулятор, параметры которого переключаются в зависимости от состояния элементов САУ [4], или САУ, содержащая в прямой цепи два цифровых корректирующих устройства, переключаемых в зависимости от величины ошибки рассогласования [6].

СПС можно реализовать и иначе. В статье предлагается вариант реализации СПС с применением двух переключаемых по выходу цифровых регуляторов (ЦР), один из которых включен в прямую цепь последовательно, а второй – в обратную связь, параллельно объекту управления (ОУ), имеющему дополнительный усилитель и единичную обратную связь. Коммутация выходов ЦР осуществляется в момент достижения величины ошибки определенного порога с некоторым гистерезисом [7]. Такая схема построения отличается простотой и обладает хорошим качеством при обработке ступенчатых и синусоидальных сигналов различной амплитуды.

Разработка схемы цифровой системы переменной структуры. Для отработки ступенчатых и синусоидальных сигналов различной амплитуды разработана схема цифровой СПС, которая приведена на рис. 1.

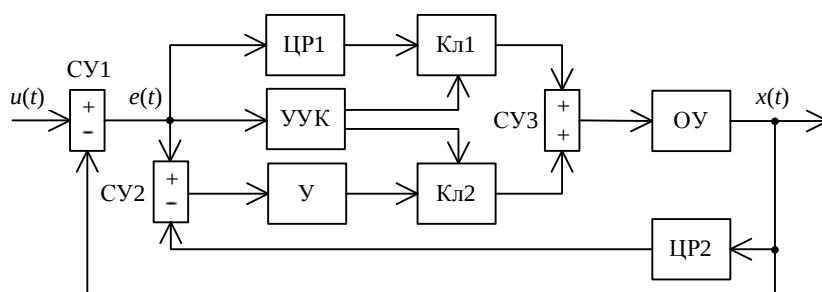


Рис. 1. Схема цифровой СПС

Первая структура содержит сравнивающее устройство СУ1, цифровой регулятор ЦР1, коммутатор (ключ Кл1), ОУ и служит для отработки ошибки рассогласования не больше заданной e_1 . Вторая структура, кроме СУ1 и ОУ, включает блоки ЦР2, Кл2, СУ2 и дополнительный усилитель У. Эта структура служит для отработки ошибки рассогласования, превышающей e_1 . Переключение структур осуществляется при помощи устройства управления ключами УУК с некоторым гистерезисом, исключающим частое переключение вперед и назад. Когда ошибка рассогласования не превышает по модулю значения e_1 , ключ Кл1 замкнут, ключ Кл2 разомкнут, и работает первая структура. Когда ошибка рассогласования превышает величину e_1 , УУК срабатывает, ключ Кл1 размыкается, ключ Кл2 замыкается, и работает вторая структура. Возвратное включение в работу первой структуры происходит при уменьшении ошибки рассогласования ниже порога e_2 , причем $e_2 \leq e_1$. Пороги переключения e_1 и e_2 в дальнейшем будут определены исходя из качества работы каждой из структур САУ.

Выбор цифрового регулятора для СПС, содержащей различные объекты управления. Для СПС (рис. 1), содержащей различные ОУ, выбраны следующие регуляторы. Для первой структуры использован оптимальный цифровой регулятор ЦР1, синтез которого

осуществлен с применением известной методики [6]. Такой регулятор имеет предельный коэффициент усиления и способен в линейной зоне регулирования обеспечить максимальное быстродействие при детерминированных входных воздействиях. Для второй структуры выбран ЦР2, ранее синтезированный по новой методике [8]. Данный ЦР хорошо работает при наличии различных нелинейностей (в том числе люфт, насыщение, неустойчивость нагрузки и др.) и способен с достаточным быстродействием обрабатывать разные входные воздействия,

в том числе и произвольные. Примеры некоторых часто встречающихся ОУ и рассчитанных для них ЦР приведены в табл. 1.

Моделирование работы САУ с различными объектами управления. Для проверки работы СПС в среде Simulink пакета MatLab были составлены две схемы моделирования [9, 10], которые для ОУ $G_2(s)$ и ЦР $W_{2.1}(z)$, $W_{2.2}(z)$ приведены на рис. 2. Схема рис. 2а состоит из двух независимых цифровых САУ, первая из которых содержит ОУ $G_2(s)$ и ЦР $W_{2.1}(z)$, а вторая – ОУ $G_2(s)$ и ЦР $W_{2.2}(z)$. САУ1 выполнена по одноконтурной схеме и содержит в прямой цепи оптимальный цифровой регулятор $W_{2.1}(z)$. САУ2 выполнена по двухконтурной схеме. Внутренний контур состоит из регулятора $W_{2.2}(z)$, включенного параллельно ОУ $G_2(s)$, и дополнительного усилителя K_y в прямой цепи, а внешний контур содержит единичную обратную связь. Следует заметить, что ЦР $W_{2.1}(z)$ рассчитан для линейного ОУ $G_2(s)$, и для лучшей работы САУ при отработке ступенчатых сигналов большой амплитуды на входе ЦР установлен блок ограничения (Saturation) с порогом ограничения на уровне $u_2 \leq u_1/K_0 = 255/4,44 \approx 57$ дел, где u_1 – уровень насыщения ОУ; K_0 – коэффициент усиления ЦР $W_{2.1}(z)$.

Таблица 1

Объекты управления и цифровые регуляторы

Объект управления	Регулятор ЦР1	Регулятор ЦР2
$G_1(s) = \frac{\alpha}{s(s+a)}$, $\alpha = 102,413 \text{ c}^{-3}$; $a = 1,415 \text{ c}^{-1}$	$W_{1.1}(z) = K_0 \frac{1+b_1 z^{-1}}{1+a_1 z^{-1}}$, $a_1 = 0,4941 \text{ c}^{-1}$; $b_1 = -0,9317 \text{ c}^{-1}$; $K_0 = 4,05 \text{ c}^{-1}$; $h = 0,05 \text{ c}$	$W_{1.2}(z) = K_0 \frac{1+b_1 z^{-1}}{1+a_1 z^{-1}}$, $a_1 = 0,5444 \text{ c}^{-1}$; $b_1 = -1 \text{ c}^{-1}$; $K_0 = 3,1 \text{ c}^{-1}$; $h = 0,01 \text{ c}$; $K_y = 3,4$
$G_2(s) = \frac{\alpha}{s(s+a)(s+b)}$, $\alpha = 4971,15 \text{ c}^{-3}$; $a = 1,415 \text{ c}^{-1}$; $b = 48,54 \text{ c}^{-1}$	$W_{2.1}(z) = K_0 \frac{1+b_1 z^{-1}+b_2 z^{-2}}{1+a_1 z^{-1}+a_2 z^{-2}}$, $a_1 = 0,7295 \text{ c}^{-1}$; $a_2 = 0,0798 \text{ c}^{-1}$; $b_1 = -1,0200 \text{ c}^{-1}$; $b_2 = 0,0823 \text{ c}^{-1}$; $K_0 = 4,44 \text{ c}^{-1}$; $h = 0,05 \text{ c}$	$W_{2.2}(z) = K_0 \frac{1+b_1 z^{-1}}{1+a_1 z^{-1}}$, $a_1 = -0,4925 \text{ c}^{-1}$; $b_1 = -1 \text{ c}^{-1}$; $K_0 = 6,42 \text{ c}^{-1}$; $h = 0,01 \text{ c}$; $K_y = 1$
$G_3(s) = \frac{\alpha}{s(s^2+bs+a)}$, $\alpha = 492,48 \text{ c}^{-3}$; $a = 1296 \text{ c}^{-1}$; $b = 10,8 \text{ c}^{-1}$	$W_{3.1}(z) = K_0 \frac{1+b_1 z^{-1}+b_2 z^{-2}}{1+a_1 z^{-1}+a_2 z^{-2}}$, $a_1 = 0,8121 \text{ c}^{-1}$; $a_2 = 0,1593 \text{ c}^{-1}$; $b_1 = -0,8199 \text{ c}^{-1}$; $b_2 = 0,7233 \text{ c}^{-1}$; $K_0 = 97,11 \text{ c}^{-1}$; $h = 0,03 \text{ c}$	$W_{3.2}(z) = K_0 \frac{1+b_1 z^{-1}+b_2 z^{-2}}{1+a_1 z^{-1}+a_2 z^{-2}}$, $a_1 = 0,2222 \text{ c}^{-1}$; $a_2 = 0,0123 \text{ c}^{-1}$; $b_1 = -1,9027 \text{ c}^{-1}$; $b_2 = 0,9027 \text{ c}^{-1}$; $K_0 = 22,0884 \text{ c}^{-1}$; $h = 0,01 \text{ c}$; $K_y = 50$

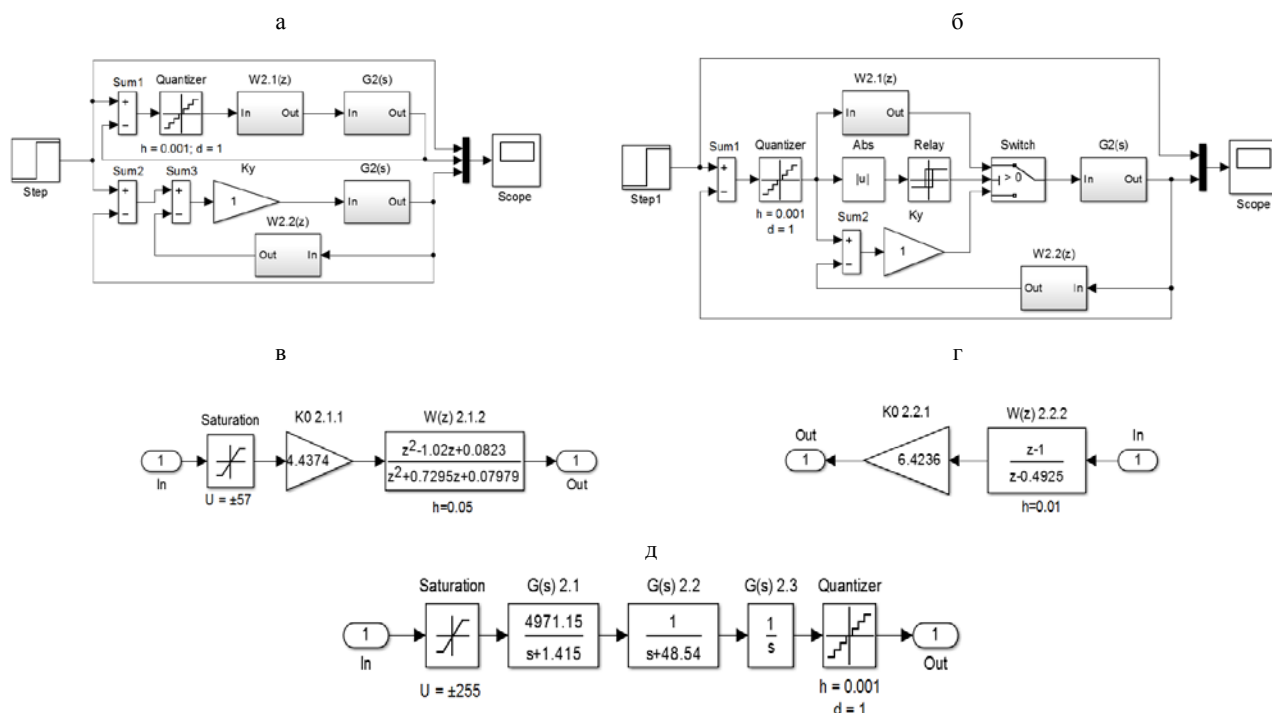


Рис. 2. Схемы моделирования работы САУ: а – САУ с обычной структурой; б – САУ переменной структуры; в – ЦР в прямой цепи; г – ЦР в обратной цепи; д – объект управления

На рис. 2б представлена схема цифровой СПС, первая структура которой содержит ЦР $W_{2.1}(z)$, включенный последовательно ОУ $G_2(s)$, а вторая – ЦР $W_{2.2}(z)$, включенный параллельно ОУ $G_2(s)$ и реализующий гибкую обратную связь. Единичная обрат-

ная связь является общей для двух структур. Для переключения структур используется коммутирующее устройство, содержащее блок вычисления модуля (Abs), релейный блок с гистерезисом (Relay) и двухканальный переключатель (Switch).

Коммутирующее устройство работает следующим образом. На выходе блока Sum1 образуется ошибка рассогласования $\pm e$, из которой блок Abs выделяет модуль $|e|$. Сигнал $|e|$ поступает на вход блока Relay, имеющего два порога переключения e_1 и e_2 . При работе САУ и выполнении условия $|e| < e_1$ блок Relay формирует сигнал логической «1», которая воздействует на управляющий вход переключателя Switch. В этом случае переключатель Switch подключает выход ЦР $W_{2.1}(z)$ к входу ОУ $G_2(s)$ и тем самым реализует работу первой структуры. Если выполняется условие $|e| \geq e_1$, то блок Relay формирует сигнал логического «0», который, воздействуя на управляющий вход переключателя Switch, обеспечивает отключение выхода ЦР $W_{2.1}(z)$ от входа ОУ $G_2(s)$ и подключение к нему выхода дополнительного усилителя K_y . В этом случае реализуется работа второй структуры. Порог переключения $e_1 = 150$ дел выбран из условия примерной длительности переходного процесса двух систем (рис. 2а) при отработке ступенчатого воздействия данной амплитуды.

При дальнейшей работе САУ и выполнении условия $|e| < e_2$ происходит обратное срабатывание блока Relay и формирование им сигнала логической «1». В этом случае переключатель Switch отключает выход дополнительного усилителя K_y , подключает выход ЦР $W_{2.1}(z)$ к входу ОУ $G_2(s)$ и тем самым возвращает к работе первую структуру. Порог переключения

$e_2 = 35$ дел выбран из условия $e_2 \leq u_2$ обеспечения работы первой структуры САУ в линейной зоне регулирования и исключения длительных переходных процессов при переключении структур.

В процессе моделирования использовали различные ОУ и рассчитанные для них ЦР (табл. 1). Объекты управления имеют цифровые (квантованные по времени $h = 0,001$ с и уровню $d = 1$ дел) входы-выходы и обладают нелинейностью типа «насыщение», величина которого для объектов $G_1(s)$, $G_2(s)$ составляет $u_1 = \pm 255$ дел, а для объекта $G_3(s)$ она равна $u_1 = \pm 12900$ дел. Цифровые регуляторы $W_{1.1}(z)$, $W_{2.1}(z)$ имеют шаг квантования $h = 0,05$ с; у $W_{3.1}(z)$ этот показатель $h = 0,03$ с; у $W_{1.2}(z)$ – $W_{3.2}(z)$ он составляет $h = 0,01$ с. Для блоков Relay и Saturation определены параметры: $e_1 = 100$ дел, $e_2 = 0$, $u_2 = \pm 62$ дела – для объекта $G_1(s)$; $e_1 = 200$ дел, $e_2 = 0$, $u_2 = \pm 132$ дела – для объекта $G_3(s)$.

Результаты работы САУ (рис. 2) при отработке ступенчатых ($x = A$) и гармонических ($x = A \sin \omega t$; $\omega = 3,14$ с⁻¹) воздействий различной амплитуды ($A = 0,28$ град. = 50 дел; $A = 0,82$ град. = 150 дел; $A = 2,75$ град. = 500 дел) приведены на рис. 3, 4 и в табл. 2.

На рис. 3, 4 нанесены линии: верхняя горизонтальная соответствует +5 % от сигнала задания; средняя горизонтальная – сигналу задания; нижняя горизонтальная –5 % от сигнала задания. Длительность переходного процесса при отработке ступенчатых воздействий зафиксирована по уровню 95 %.

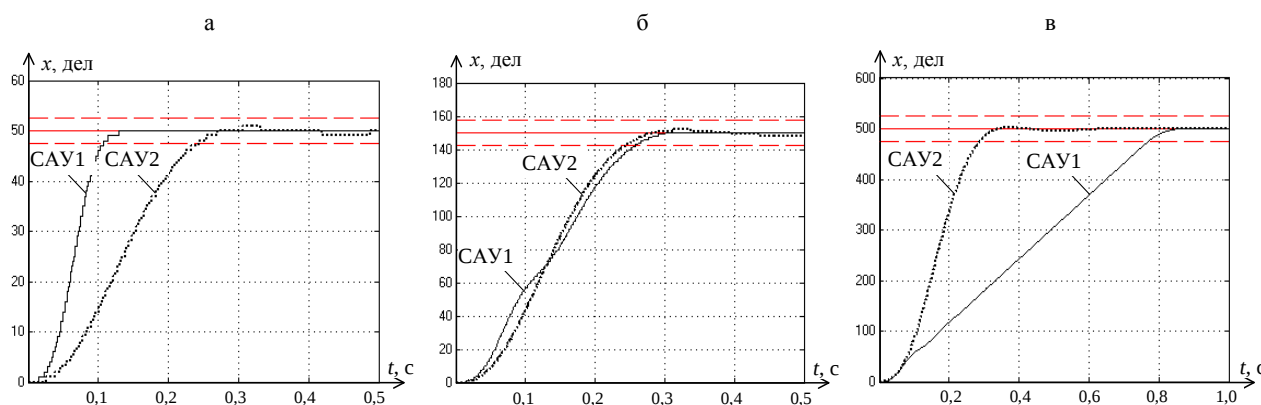


Рис. 3. Переходные процессы в САУ (рис. 2а) при отработке ступенчатых воздействий:

а – $A = 50$ дел; б – 150; в – 500 дел

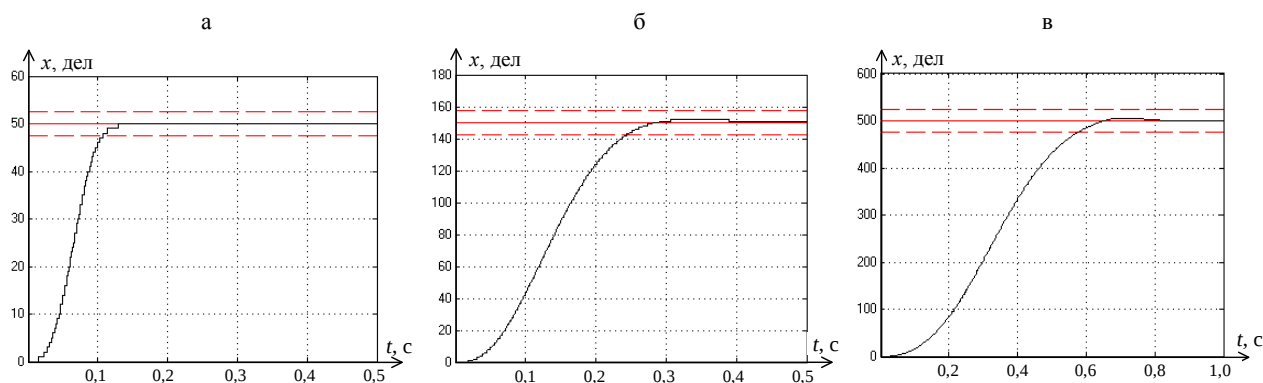


Рис. 4. Переходные процессы в САУ (рис. 2б) при отработке ступенчатых воздействий:
а – $A = 50$ дел; б – 150; в – 500 дел

Таблица 2

Результаты работы САУ с ОУ $G_2(s)$ и ЦР $W_{2.1}(z)$, $W_{2.2}(z)$

САУ с ЦР	Длительность переходного процесса, с, при отработке ступенчатых воздействий различной амплитуды		
	$A = 50$ дел	$A = 150$ дел	$A = 500$ дел
$W_{2.1}(z)$	0,106	0,258	0,770
$W_{2.2}(z)$	0,245	0,245	0,289
$W_{2.1}(z) + W_{2.2}(z)$	0,106	0,245	0,289
САУ с ЦР	Максимальная ошибка (е/запаздывание) при отработке синусоидальных воздействий различной амплитуды		
	$A = 50$ дел	$A = 150$ дел	$A = 500$ дел
$W_{2.1}(z)$	14,1 дела / 0,091 с	42,4 дела / 0,091 с	Срыв
$W_{2.2}(z)$	21,5 дела / 0,140 с	64,5 дела / 0,140 с	215 дел / 0,140 с
$W_{2.1}(z) + W_{2.2}(z)$	14,1 дела / 0,091 с	42,4 дела / 0,091 с	215 дел / 0,140 с

Анализируя результаты моделирования (табл. 2), можно сделать вывод о том, что САУ с регулятором $W_{2.1}(z)$ отрабатывает ступенчатый сигнал амплитудой $A = 50$ дел значительно быстрее (0,106 с против 0,245 с), чем с регулятором $W_{2.2}(z)$. При отработке ступенчатого сигнала амплитудой $A = 150$ дел САУ с регуляторами $W_{2.1}(z)$ и $W_{2.2}(z)$ обеспечивает примерно одинаковое быстродействие (0,258 с и 0,245 с). При отработке ступенчатого сигнала амплитудой $A = 500$ дел САУ с регулятором $W_{2.2}(z)$ обеспечивает значительно лучшее, чем с регулятором $W_{2.1}(z)$, быстродействие (0,289 с против 0,770 с). В любом случае при отработке ступенчатых сигналов вид переходного процесса является близким к апериодическому. При отработке гармонических воздействий

($x = A \sin \omega t$; $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$) малой амплитуды ($A \leq 150$ дел) САУ с регулятором $W_{2.1}(z)$ обеспечивает значительно меньшую максимальную ошибку и запаздывание, чем с регулятором $W_{2.2}(z)$. При отработке гармонических воздействий большой амплитуды ($A = 500$ дел) в САУ с регулятором $W_{2.1}(z)$ наблюдается срыв слежения, а регулятор $W_{2.2}(z)$ обеспечивает отработку без срыва.

САУ переменной структуры хорошо отрабатывает ступенчатые сигналы различной амплитуды ($A = 50; 150; 505$ дел), обеспечивает близко апериодический переходной процесс и быстродействие (0,106; 0,245; 0,245 с). При отработке гармонических воздействий амплитудой, меньшей 150 дел, показатели качества работы САУ такие же, как и с регулято-

ром $W_{2.1}(z)$. При обработке гармонических воздействий с амплитудой, большей 150 дел, показатели качества работы САУ такие же, как и с регулятором $W_{2.2}(z)$.

Для сравнения в табл. 3 приведены результаты работы САУ с ОУ $G_1(s)$ и ЦР $W_{1.1}(z)$, $W_{1.2}(z)$, а в табл. 4 – с ОУ $G_3(s)$ и ЦР $W_{3.1}(z)$,

$W_{3.2}(z)$ при обработке ступенчатых ($x = A$) и гармонических ($x = A \sin \omega t$; $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$) воздействий различной амплитуды.

Анализ результатов моделирования (табл. 3, 4) подтверждает хорошую работу систем, содержащих различные ОУ и ЦР, что согласуется с выбранной стратегией создания СПС.

Таблица 3

Результаты работы САУ с ОУ $G_1(s)$ и ЦР $W_{1.1}(z)$, $W_{1.2}(z)$

САУ с ЦР	Длительность переходного процесса, с, при обработке ступенчатых воздействий различной амплитуды		
	$A = 50$ дел	$A = 100$ дел	$A = 500$ дел
$W_{1.1}(z)$	0,084	0,140	0,583
$W_{1.2}(z)$	0,124	0,130	0,229
$W_{1.1}(z) + W_{1.2}(z)$	0,084	0,140	0,229
САУ с ЦР	Максимальная ошибка (q /запаздывание) при обработке гармонических воздействий различной амплитуды		
	$A = 50$ дел	$A = 100$ дел	$A = 500$ дел
$W_{1.1}(z)$	11,7 дела / 0,075 с	23,4 дела / 0,075 с	423 дела / 0,262 с
$W_{1.2}(z)$	11,1 дела / 0,072 с	22,3 дела / 0,072 с	111 дел / 0,072 с
$W_{1.1}(z) + W_{1.2}(z)$	11,7 дела / 0,075 с	23,4 дела / 0,075 с	111 дел / 0,072 с

Таблица 4

Результаты работы САУ с ОУ $G_3(s)$ и ЦР $W_{3.1}(z)$, $W_{3.2}(z)$

САУ с ЦР	Длительность переходного процесса, с, при обработке ступенчатых воздействий различной амплитуды		
	$A = 50$ дел	$A = 200$ дел	$A = 500$ дел
$W_{3.1}(z)$	0,070	0,127	0,238
$W_{3.2}(z)$	0,138	0,138	0,151
$W_{3.1}(z) + W_{3.2}(z)$	0,070	0,138	0,151
САУ с ЦР	Максимальная ошибка (q /запаздывание) при обработке гармонических воздействий различной амплитуды		
	$A = 50$ дел	$A = 200$ дел	$A = 500$ дел
$W_{3.1}(z)$	9,3 дела / 0,059 с	37,1 дела / 0,059 с	92,6 дела / 0,059 с
$W_{3.2}(z)$	10,9 дела / 0,071 с	43,8 дела / 0,071 с	109,5 дела / 0,071 с
$W_{3.1}(z) + W_{3.2}(z)$	9,3 дела / 0,059 с	37,1 дела / 0,059 с	92,6 дела / 0,059 с

ВЫВОДЫ

1. Разработана структурная схема системы переменной структуры, содержащая две структуры. Первая в прямой цепи содержит оптимальный цифровой регулятор [6], включенный последовательно с объектом управления, а вторая – цифровой регулятор [8], реализующий

гибкую обратную связь и включенный параллельно объекту управления с дополнительным усилителем и единичной обратной связью. Для улучшения работы первой структуры системы автоматического управления при обработке ступенчатых сигналов большой амплитуды на входе цифрового регулятора установлен ограничитель с порогом u_2 . Переключение

структур осуществляется при помощи специального коммутирующего устройства с некоторым гистерезисом, исключающим частое переключение вперед и назад. С учетом качества работы отдельных структур системы автоматического управления определены их пороги переключения e_1 и e_2 . Такое построение системы автоматического управления позволяет реализовать преимущества оптимального цифрового регулятора при отработке малых сигналов, не превышающих величины $2u_2$, и хорошую работу цифрового регулятора в цепи гибкой обратной связи при отработке входных сигналов большой амплитуды, превышающей значения $2u_2$.

2. С помощью математического моделирования осуществлена проверка работы системы переменной структуры с различными объектами управления и цифровыми регуляторами. Подтверждены хорошее быстродействие системы автоматического управления при отработке ступенчатых сигналов, обеспечение минимальной для данных регуляторов динамической ошибки и времени запаздывания при отработке гармонических воздействий различной амплитуды.

3. Схема системы автоматического управления переменной структуры является новой, отличается простотой и хорошим качеством работы. Полученные результаты доведены до инженерного уровня и могут быть успешно использованы при создании систем автоматического управления, содержащих другие объекты управления и цифровые регуляторы, к качеству работы которых предъявляются различные, порой противоречивые требования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пупков, К. А. Методы классической и современной теории автоматического управления: учеб.: в 5 т. / К. А. Пупков, Н. Д. Егупов. – М.: Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2004. – Т. 3: Синтез регуляторов систем автоматического управления. – 614 с.
2. Шидловский, С. В. Автоматическое управление. Перестраиваемые структуры / С. В. Шидловский. – Томск: Томский гос. ин-т, 2006. – 288 с.
3. Rihтер, J. H. Reconfigurable Control of Nonlinear Dynamical Systems / J. H. Rihтер. – Berlin: Springer, 2011. – 312 p.
4. Kovacs hazy, T. Transient Reduction in Reconfigurable Control Systems Utilizing Structure Dependence / T. Kovacs hazy, G. Peceli, G. Simon // 18th IEEE Instru-

mentation and Measurement of Informatics-Rediscovering Measurement in the Age of Informatics. – Hungary: Budapest, 2001. – Vol. 2. – P. 1143–1147.

5. Konstantopoulos, I. K. A New Strategy for Reconfigurable Control Systems / I. K. Konstantopoulos, P. J. Antsaklis // Proc. of the 3rd Annual Conf. on Communications, Control and Computing. – Monticello, 1995. – P. 69–78.

6. Гостев, В. И. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами: справочник / В. И. Гостев. – Киев: Техника, 1990. – 279 с.

7. Лурье, Б. Я. Классические методы автоматического управления / Б. Я. Лурье, П. Дж. Энрайт. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.

8. Стрижнев, А. Г. Синтез цифрового регулятора, включенного параллельно единичной обратной связи / А. Г. Стрижнев, М. К. Хаджинов, А. Н. Русакович // Доклады БГУИР. – 2014. – № 4 (82). – С. 80–86.

9. Tewari, A. Modern Control Design with MatLab and Simulink / A. Tewari. – Weinheim: John Wiley & Sons Ltd., 2002. – 518 p.

10. Nuruzzaman, M. Modeling and Simulation in Simulink for Engineers and Scientists / M. Nuruzzaman. – Bloomington: AuthorHouse, 2005.

REFERENCES

1. Pupkov, K. A., & Egupov, N. D. (2004) *Methods of Classical and Modern Theory for Automation Control*. Vol. 3. *Synthesis of Controllers for Automation Control Systems*. Moscow, Publisher Bauman. 614 p. (in Russian).
2. Shidlovsky, S. V. (2006) *Automation Control. Reconfigurable Structures*. Tomsk: Tomsk State Institute. 288 p. (in Russian).
3. Rihтер, J. H. (2011) *Reconfigurable Control of Nonlinear Dynamical Systems*. Berlin, Springer. 312 p. (in Russian).
4. Kovacs hazy, T., Peceli, G., & Simon, G. (2001) *Transient Reduction in Reconfigurable Control Systems Utilizing Structure Dependence*. 18th *IEEE Instrumentation and Measurement of Informatics-Rediscovering Measurement in the Age of Informatics*. Budapest, Hungary. Vol. 2, 1143–1147.
5. Konstantopoulos, I. K., & Antsaklis, P. J. (1995) *A New Strategy for Reconfigurable Control Systems*. *Proc. of the 3rd Annual Conf. on Communications, Control and Computing*. Monticello, 69–78.
6. Gostev, V. I. (1990) *Automation Control Systems with Digital Controllers*. Kiev, Tekhnika. 279 p. (in Russian).
7. Lurie, B. Ya., & Enright, P. J. (2004) *Classical Automation Control Methods*. Saint-Petersburg, BHV-Petersburg. 624 p. (in Russian).
8. Strizhnev, A. G., Khadzhinov, M. K., & Rusakovich, A. N. (2014) *Synthesis of the Digital Controller in the Reverse Path with Additional Unity Feedback*. *Doklady BGUIR* [Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics], 4 (82), 80–86 (in Russian).
9. Tewari, A. (2002) *Modern Control Design with MatLab and Simulink*. Weinheim, John Wiley & Sons Ltd. 518 p.
10. Nuruzzaman, M. (2005) *Modeling and Simulation in Simulink for Engineers and Scientists*. Bloomington, Author-House.

Поступила 21.08.2014

О КОМПЛЕКСНОМ ПОДХОДЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Инж. ГОНЧАРОВ А. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: algon2550@mail.ru

В процессе проектирования, производства и исследования сложной технологической машины возникают задачи, которые относятся не только к свойствам отдельных видов оборудования, но и к закономерностям функционирования объекта управления в целом. Под технологической машиной понимается такой технологический комплекс, в котором можно выделить систему управления (или управляющее устройство) и управляемый объект. Проанализирован ряд существующих подходов к построению моделей управляющих устройств и их функционированию. Предложена комплексная модель функционирования технологической машины, т. е. функционирования управляющего устройства и управляемого объекта технологической машины. При этом модели управляющего устройства и управляемого объекта технологической машины можно представлять как совокупность агрегатов (элементов) этих моделей. Описывается концепция реализации комплексной модели технологической машины как модели взаимодействия агрегатов (элементов) управляющего устройства и управляемого объекта. При подаче на управляющее устройство технологической машины управляющего воздействия выполняется его моделирование на алгоритмическом или логическом уровне, а полученные выходные сигналы интерпретируются как события, сообщения о которых передаются соответствующим исполнительным механизмам.

В предложенной схеме сопряжения агрегатов рассматриваются модели элементов как классы объектов, а схема сопряжения представляется как совокупность значений свойств объектов (совокупность множеств входных и выходных контактов) и их взаимодействий (в виде оператора сопряжения). Порождение потомков родительских объектов модели технологической машины и создание их экземпляров в различных частях проекта – одно из наиболее важных средств распределенного моделирования технологической машины, позволяющее создавать модели сложных технических устройств еще на уровне проектов.

Ключевые слова: технологические машины, модели управляющих устройств, модели управляемых объектов, комплексные модели, агрегатные модели.

Ил. 3. Библиогр.: 11 назв.

ABOUT COMPLEX APPROACH TO MODELLING OF TECHNOLOGICAL MACHINES FUNCTIONING

HONCHAROV A. A.

Belarusian National Technical University

Problems arise in the process of designing, production and investigation of a complicated technological machine. These problems concern not only properties of some types of equipment but they have respect to regularities of control object functioning as a whole. A technological machine is thought of as such technological complex where it is possible to lay emphasis on a control system (or controlling device) and a controlled object. The paper analyzes a number of existing approaches to construction of models for controlling devices and their functioning. A complex model for a technological machine operation has been proposed in the paper; in other words it means functioning of a controlling device and a controlled object of the technological machine. In this case models of the controlling device and the controlled object of the technological machine can be represented as aggregate combination (elements) of these models. The paper describes a conception on realization of a complex model for a technological machine as a model for interaction of units (elements) in the controlling device and the controlled object. When a control activation is given to the controlling device of the technological machine its modelling is executed at an algorithmic or logic level and the obtained output signals are interpreted as events and information about them is transferred to executive mechanisms.

The proposed scheme of aggregate integration considers element models as object classes and the integration scheme is presented as a combination of object property values (combination of a great many input and output contacts) and combination of object interactions (in the form of an integration operator). Spawn of parent object descendants of the technological machine model and creation of their copies in various project parts is one of the most important means of the distributed technological machine modelling that makes it possible to develop complicated models of technical devices still at the project stage.

Keywords: technological machines, models of control devices, models of managed objects, complex models, aggregation models.

Fig. 3. Ref.: 11 titles.

В процессе проектирования, производства и исследования сложной технологической машины (ТМ) возникают задачи, которые относятся не только к свойствам отдельных видов оборудования, но и к закономерностям функционирования объекта управления в целом. Под ТМ, как и в [1, 2], понимается такой технологический комплекс, в котором можно выделить систему управления (или управляющее устройство) и управляемый объект (УО). Будем считать, что в структурном контексте УО представляет собой совокупность составляющих его исполнительных механизмов (ИМ). Исходя из такого подхода, функционирование ТМ [3] рассматривается как функционирование комплекса «управляющее устройство – управляемый объект (УУ-УО)», и в ряде случаев только такой подход позволяет построить функциональную модель ТМ, в значительной степени адекватную функционированию ТМ.

Для создания комплексной модели ТМ принимали агрегативную модель [4, 5]. Она является базовой отправной позицией для построения моделей следующих иерархических уровней и моделирующих алгоритмов. Рассмотрим средства системного комплексного моделирования различных проектных сред на базе единой агрегативной модели и метода распределенного моделирования [6]. Базовыми структурными элементами такой комплексной модели ТМ, существенными для решения задач функционально-логического моделирования, будем считать [7, 8]:

- органы управления (кнопки, тумблеры, переключатели и т. д.);
- датчики (фотоэлементы, путевые и концевые переключатели и выключатели, реле давления, тепловые реле, датчики уровня и пр.);
- реле (запоминания, задержек, счета, дублирования и т. д.);
- магнитные пускатели (контакторы);
- электромагниты;
- элементы сигнализации;
- программируемые логические контроллеры (ПЛК);
- электродвигатели;
- исполнительные механизмы (рабочие органы).

Разработка УУ сложных ТМ, как правило, состоит из таких основных этапов, как:

- формулирование требований в виде технического задания;
- разработка технического проекта;
- разработка опытного образца;
- испытания;
- изготовление головного образца;
- опытные эксперименты и доводка;
- выпуск, монтаж, наладка, ввод в эксплуатацию;
- модернизация системы.

Практически на каждом из этих этапов выполняются исследования и моделирование [9]. Для создания формализованной модели УУ в настоящее время используются два фундаментальных подхода:

- построение автоматной модели в виде граф-схем или графов переходов [10, 11];
- построение агрегативной модели.

Автоматная модель ориентирована на отдельную часть в концептуальной модели ТМ – на УУ. Для создания модели УО автоматная модель малоприменима. Для построения агрегативной комплексной модели ТМ используем три типа моделей: модели агрегатов – элементов УУ, модели агрегатов – исполнительных механизмов и модель взаимодействия агрегатов.

Модели агрегатов – элементов управляющих устройств. Пусть сложное УУ есть система S , которая содержит элементы $C_1, C_2, \dots, C_j$. Всякий элемент C_j имеет входы и выходы.

Входной сигнал $X(t)$ с компонентами $X_1, X_2, \dots, X_m$ можно рассматривать как совокупность сигналов $X_1(t), X_2(t), \dots, X_m(t)$. Элементарные сигналы передаются по элементарным каналам. Каждый некоторый l -й элементарный канал, подключенный к выходу элемента C_j , способен передавать только элементарные сигналы $y_l^{(j)}(t)$, имеющие фиксированный индекс l . Вход элемента C_j состоит из m_j входных контактов. Контакт $X_i^{(j)}$ принимает элементарные сигналы $X_i^{(j)}(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m_j; j = 1, 2, \dots, N$). Аналогично выход элемента C_j состоит из r_j выходных контактов. Контакт $Y_l^{(j)}$ выдает элементарные сигналы $Y_l^{(j)}(t)$ ($l = 1, 2, \dots, r_j$).

Элементарные сигналы, выдаваемые данным выходным контактом, передаются некоторому входному контакту другого или того же элемента или во внешнюю среду. Внешнюю среду можно представить в виде фиктивного

элемента C_0 системы S , вход которого содержит m_0 входных контактов $X_j^{(0)}$, а выход – r_0 выходных контактов $Y_l^{(0)}$. Каждый элемент C_j (включая C_0) системы S характеризуется множеством входных контактов $X_1^{(j)}, X_2^{(j)}, \dots, X_m^{(j)}$, которые обозначены $[Y_i^{(j)}]_1^m$, и множеством выходных контактов $Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}, \dots, Y_r^{(j)}$, обозначенных $[Y_r^{(j)}]_1^r$, где $m = m_j; r = r_j; j = 0, 1, \dots, N$.

Математической моделью элемента C_j , используемой для формального описания его сопряжения с другими элементами и внешней средой, является пара множеств: $[Y_i^{(j)}]_1^m$ и $[Y_r^{(j)}]_1^r$.

Модели агрегатов – исполнительных механизмов. Модель ИМ [6] состоит из трех разнородных компонент:

- Вид_ИМ;
- Траектория_процесса_ИМ;
- Сценарий функционирования_ИМ.

Вид_ИМ определяет его визуальное представление в образе одного базового графического объекта или иерархической структуры из групп базовых объектов. Внутри этой структуры поддерживаются отношения старшинства (родители-потомки) и глубины вложенности (последнее расположение на каждом иерархическом уровне). Базовые объекты и иерархические структуры из них обеспечивают возможность визуализации ИМ самой сложной структуры.

Траектория_процесса_ИМ отображает его перемещение в различных пространствах параметров (механические движения, деформации, изменение видимости и характеристик и т. д.). Эта компонента модели ИМ состоит из сегментов, определенных вершинами. После ввода Траекторию_процесса_ИМ можно корректировать, перемещая сегменты, преобразуя (конвертируя) их в кривые, добавляя новую вершину или удаляя уже существующую. При выполнении анимации объект перемещается от вершины к вершине. По умолчанию объект движется равномерно. Можно также создавать анимации объектов, движение которых может ускоряться или замедляться.

Сценарий функционирования_ИМ определяет поведение ИМ и организацию объектно-событийного взаимодействия между УУ и исполнительными механизмами УО ТМ (или не-

которого моделируемого технологического процесса).

При подаче на УУ управляющего воздействия выполняется его моделирование на алгоритмическом и логическом уровнях [10], а полученные выходные сигналы интерпретируются как события, сообщения о которых передаются соответствующим ИМ. Каждый ИМ имеет сценарий, в соответствии с которым выполняется обработка полученного сообщения.

Модель взаимодействия агрегатов. Рассмотрим множество входных контактов всех элементов системы и внешней среды X , а также всех выходных контактов, где каждому X_i соответствует Y_j . С учетом изложенного ограничения можно ввести однозначный оператор $Y_j = R$, сопоставляющий входному контакту X_i выходной контакт Y_j , связанный с ним элементарным каналом. Если к данному контакту X_i не подключен элементарный канал, то этот оператор не определен на множестве X .

Оператор R назван оператором сопряжения, а совокупность множеств X и Y , а также оператора R – схемой сопряжения. Оператор сопряжения можно задать в виде таблицы, в которой на пересечении строк с номерами элементов системы j и столбцов с номерами контактов l располагаются пары чисел (k, l) , указывающие номера элемента k и контакта l , с которыми соединен контакт X_i . Однако следует отметить, что такая простая структура данных не приемлема для представления схемы сопряжения агрегатов в модели ТМ. В предложенной схеме сопряжения рассматриваются модели элементов – классы объектов. Схема сопряжения представляется как совокупность значений свойств объектов (совокупность множеств X и Y) и их взаимодействий (оператор сопряжения $Y_j = R$).

В зависимости от класса объекта совокупность значений свойств объекта определяется на своем множестве свойств. Так, для классов *Вход*, *Формула*, *Таймер*, *Счетчик*, *Сумматор*, *Компаратор*, *Супервизор*, *Инициализация* характерны свойства:

- ^имя_объекта;
- ^событийный_список.

У класса объектов *Потомок* имеются следующие свойства:

- ^команды_движения; ^номер_траектории;

^сенсоры_старт; ^команды_состояние;
^команды_модификация; ^сенсоры_стоп.

Для потомков в среде алгоритма управления дополнительно используется текущий шаг процесса. При этом часть схемы сопряжения, соответствующая резидентной модели – системе предикатных формул (СПФ), формируется автоматически, а другие части – в диалоговом режиме на базе механизма Drag and Drop. Множества входных X и Y контактов агрегатов определяются в зависимости от классов объектов.

Очень важно учитывать, что здесь входными и выходными контактами агрегатов являются функциональные (события), а не структурные категории.

Реализация комплексной модели технологической машины. Концептуальная схема порождения приведена на рис. 1.

У одного родительского объекта может быть сколько угодно потомков в разных проектных средах. Концептуальная схема построения распределенной модели ТМ представлена на рис. 2.

Порождение потомков родительских объектов и создание их экземпляров в различных проектных средах – одно из наиболее важных оригинальных средств распределенного моделирования ТМ. Концептуальная схема процесса распределенного комплексного моделирования ТМ представлена на рис. 3.

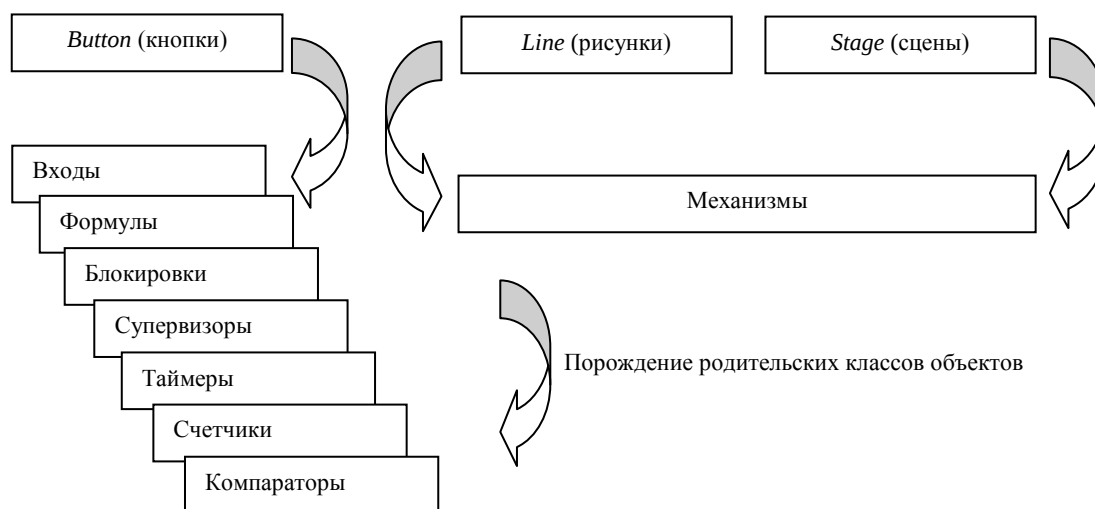


Рис. 1. Концептуальная схема порождения родительских объектов

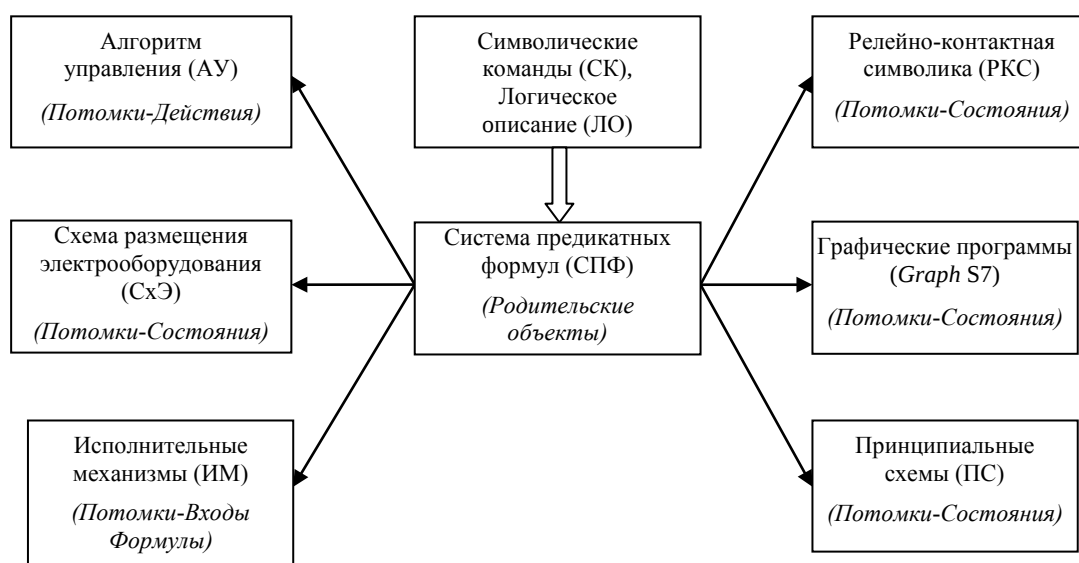


Рис. 2. Концептуальная схема построения распределенной модели ТМ: $\Downarrow$ – создание СПФ программами на языке Open Script; $\downarrow$ – порождение потомков объектов на базе механизма Drag and Drop

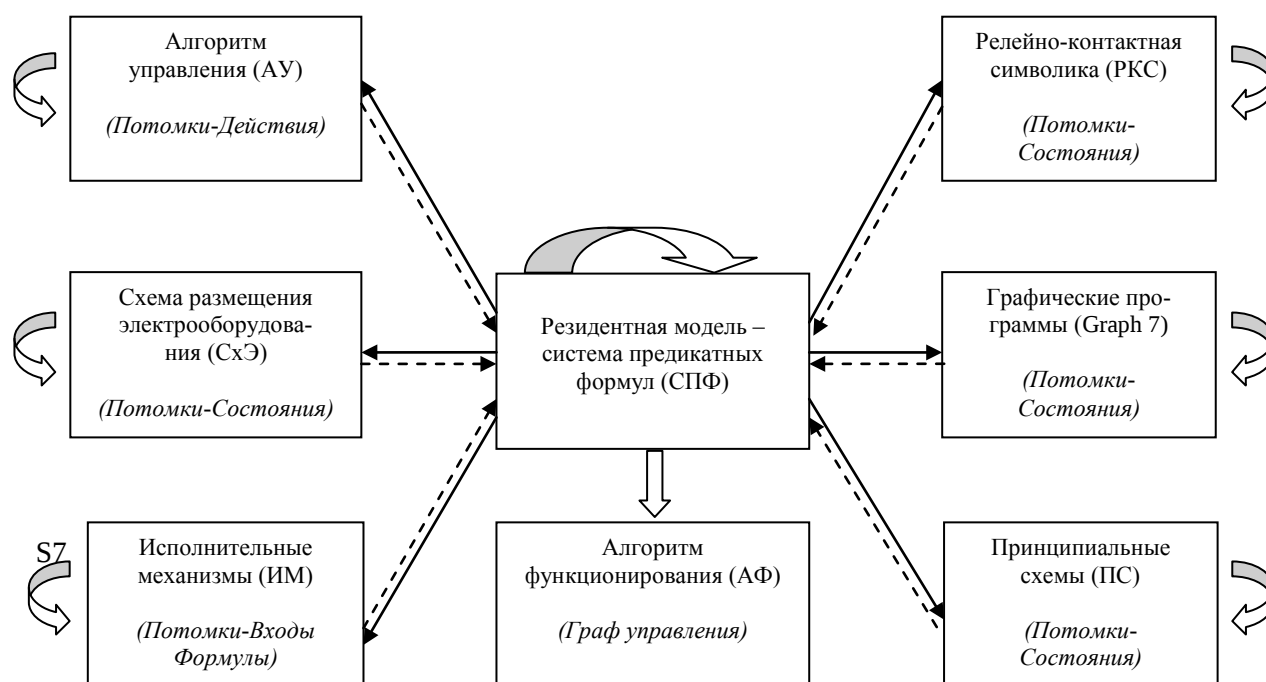


Рис. 3. Концептуальная схема процесса распределенного комплексного моделирования ТМ:
 ↻ – резидентное моделирование СПФ (объекты-родители); ↔ – распределенное моделирование (потомки);
 ⇓ – отображение причинно-следственных отношений объектов; ↓ – отображение действий и состояний объектов-родителей на потомках; ↑ – передача воздействий через потомки объектам-родителям

Порожденные родительские классы объектов размещаются в различных проектных средах модели ТМ. Из них создаются экземпляры, соответствующие реальным объектам ТМ, а также порождаются новые классы – потомки. Комплексная модель функционирования ТМ реализована в виде распределенной объектно-событийной модели. Эта модель строится на базе объектов, которые представляют базовые структурные элементы модели ТМ, описанные выше. Такие объекты порождаются из классов базовой инструментальной системы.

Основной задачей потомков является отображение родительских объектов, изменяющих свои свойства в процессе выполнения резидентной модели, в том числе при нахождении их в различных проектных средах. Потомки могут также взаимодействовать с внешней средой и другими объектами, передавая эти взаимодействия родительским объектам.

ВЫВОДЫ

1. Агрегативная модель эффективно использована для решения задач комплексного моде-

лирования технологической машины в структурном и функциональном аспектах.

2. Модели агрегатов – элементов управляющих устройств и модели агрегатов – исполнительных механизмов являются базовыми структурными элементами комплексной модели технологической машины.

3. Функциональный аспект моделирования технологической машины представлен моделью взаимодействия агрегатов. В предложенной схеме сопряжения агрегатов рассматриваются модели элементов как классы объектов, а схема сопряжения представляется как совокупность значений свойств объектов (совокупность множеств входных и выходных контактов) и их взаимодействий (в виде оператора сопряжения).

4. Порождение потомков родительских объектов модели технологической машины и создание их экземпляров в различных частях проекта – одно из наиболее важных средств распределенного моделирования технологической машины, позволяющее создавать модели сложных технических устройств еще на уровне проектов.

5. При подаче на управляющее устройство технологической машины управляющего воздействия выполняется его моделирование на алгоритмическом или логическом уровне [11], а полученные выходные сигналы интерпретируются как события, сообщения о которых передаются соответствующим исполнительным механизмам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добролюбов, А. И. Автоматизация проектирования систем управления технологических машин / А. И. Добролюбов, С. И. Акунович. – М.: Машиностроение, 1974. – 224 с.
2. Акунович, С. И. Дискретные системы логического управления технологических машин / С. И. Акунович, А. А. Гончаров, Ю. Н. Петренко. – Минск: ЗАО «Юнипак», 2006. – 336 с.
3. Гончаров, А. А. Функциональная агрегативная модель системы логического управления электроприводами технологического комплекса / А. А. Гончаров // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 3. – С. 54–61.
4. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Энергия, 1978. – 328 с.
5. Советов, Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Бусленко. – М.: Высш. шк., 2001. – 376 с.
6. Гончаров, А. А. Резидентная и распределенная модели систем управления технологических машин / А. А. Гончаров // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 2. – С. 49–52.
7. Петренко, Ю. Н. Системы управления промышленными комплексами: учеб. пособие / Ю. Н. Петренко. – Минск: Пион, 2002. – 300 с.
8. Гончаров, А. А. Об одном подходе к моделированию логической структуры управляющих устройств / А. А. Гончаров // Информатизация образовательных процессов: автоматизация управления, технологии, дистанционное обучение: Междунар. науч.-практ. конф., 19–20 апр. 2001 г., Минск: сб. науч. ст.: в 2 ч. / под ред. Н. А. Цырельчука. – Минск: МГВРК, 2001. – Ч. 1. – С. 229–241.
9. Зайцев, Д. А. Математические модели дискретных систем: учеб. пособие / Д. А. Зайцев; пер. с укр. – Одесса: ОНАС имени А. С. Попова, 2004. – 40 с.
10. Shalyto, A. A. Logic Control and “Reactive” Systems: Algorithmisation and Programming / A. A. Shalyto // Automation and Remote Control. – 2001. – Vol. 62, No 1. – P. 1–29.
11. Акунович, С. И. Объектно-событийное моделирование алгоритмов управления и исполнительных механизмов технологического оборудования / С. И. Акунович, А. А. Гончаров, В. С. Поплавский // Образовательные тех-

нологии в подготовке специалистов: Междунар. науч.-практ. конф., 20–21 марта 2003 г.: сб. науч. ст.: в 5 ч. / под ред. Н. А. Цырельчука. – Минск: МГВРК, 2003. – Ч. 4. – С. 9–15.

REFERENCES

1. Dobrolyubov, A. I., & Akunovich, S. I. (1974) *Designing Automation of Technological Machine Control Systems*. Moscow, Mashinostroeniye. 224 p. (in Russian)
2. Akunovich, S. I., Goncharov, A. A., & Petrenko, Yu. N. (2006) *Discrete Logic Control Systems of Technological Machines*. Minsk, Unipak. 336 p. (in Russian).
3. Goncharov, A. A. (2006) Functional Aggregative Model of Logical Control System for Electric Drives of Technological Complex. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG – Energetika* [Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Energetika], 3, 54–61 (in Russian).
4. Buslenko, N. P. (1978) *Modeling of Complex Systems*. Moscow, Energia. 328 p. (in Russian).
5. Sovetov, B. Ya., & Buslenko, S. A. (2001) *Modeling of Systems*. Moscow, Vysshaya Shkola. 376 p. (in Russian).
6. Goncharov, A. A. (2006) Resident and Distributed Models of Technological Machine Control Systems. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG – Energetika* [Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Energetika], 2, 49–52 (in Russian).
7. Petrenko, Yu. N. (2002) *Control Systems for Industrial Complexes*. Minsk: Publishing House Pion. 300 p. (in Russian).
8. Goncharov, A. A. (2001) About one Approach to Modeling of Control Device Logical Structure. *Informization of Educational Processes: Automation of Control, Technology, Distance Education. Intern. Scientific and Practical. Conf. Collected Articles. Part 1*. Minsk, MGVRK [Minsk State Higher Radio Technical College], 229–241 (in Russian).
9. Zaytsev, D. A. (2004) *Mathematical Models of Discrete Systems*. Odessa: ONAS [Odessa National Academy of Telecommunications Named After A. S. Popov]. 40 p. (in Russian).
10. Shalyto, A. A. (2001) Logic Control and “Reactive” Systems: Algorithmisation and Programming. *Automation and Remote Control*, 62 (1), 1–29.
11. Akunovich, S. I., Goncharov, A. A., & Poplavsky, V. S. (2003) Object-Event Modeling of Control Algorithms and Executive Mechanisms for technological Machines. *Educational Technologies in Specialist Training. Intern. Scientific and Practical. Conf. Collected Articles. Part. 4*. Minsk, MGVRK [Minsk State Higher Radio Technical College], 9–15 (in Russian).

Поступила 31.03.2014

УРОВЕНЬ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА ОТ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОРШНЯ ГИДРОПОДЖИМНОЙ МУФТЫ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕПЕНИ ЕЕ ИЗНОСА И ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Докт. техн. наук, доц. КАРПИЕВИЧ Ю. Д.¹⁾, инж. БОНДАРЕНКО И. И.²⁾

¹⁾ *Белорусский национальный технический университет,*

²⁾ *Белорусский государственный аграрный технический университет*

E-mail: irinabondarenko1980@mail.ru

В условиях рыночных отношений одной из основных задач, стоящих перед промышленностью Республики Беларусь, является повышение технического уровня, надежности и конкурентоспособности колесных и гусеничных машин. Бортовое диагностирование улучшает качество колесных и гусеничных машин, повышает надежность их агрегатов и узлов. Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта, а также эпизодический характер контрольно-диагностических работ не могут обеспечить требуемого уровня технического состояния колесных и гусеничных машин, так как не учитывают индивидуальные особенности каждой машины, условия ее эксплуатации и проведенные ранее ремонтные воздействия. Один из путей решения проблемы – разработка методов бортового диагностирования технического состояния силовых агрегатов колесных и гусеничных машин, позволяющих перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности и за счет этого исключить, с одной стороны, возможность эксплуатации неисправной машины, а с другой – необоснованные материальные и трудовые затраты при преждевременном обслуживании.

Бортовое диагностирование силовых агрегатов и, в частности, гидроподжимных муфт коробок передач должно обеспечить высокую безопасность движения. Использование уровня информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня гидроподжимной муфты коробки передач позволит оперативно в любой период эксплуатации тракторов «Беларус» определять остаточный ресурс фрикционных дисков, а также прогнозировать время их замены.

Ключевые слова: бортовое диагностирование, информационный сигнал, датчик линейного перемещения поршня, гидроподжимная муфта коробки передач.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

LEVEL OF INFORMATION SIGNAL FROM LINEAR DISPLACEMENT TRANSDUCER FOR PISTON OF GEARBOX HYDRO-PRESSING CLUTCH AS COEFFICIENT OF WEAR AND VALUE OF RESIDUAL OPERATING TIME

KARPIEVICH Yu. D.¹⁾, BONDARENKO I. I.²⁾

¹⁾ *Belarusian National Technical University,*

²⁾ *Belarusian State Agrarian Technical University*

In the context of market relations one of the main challenges facing the industry of the Republic of Belarus is to raise a technical level, reliability and competitiveness of wheeled and tracked vehicles. On-board diagnostics improves quality of wheeled and tracked vehicles, increases reliability of their aggregates and units. Scheduled preventive maintenance and repair system as well as sporadic control and diagnostic works can not provide the required level of technical state of wheeled and tracked vehicles because the procedures do not take into account individual peculiarities of each machine, its operational conditions and previously conducted repair measures. One of the ways to solve the problem is to develop onboard diagnostic methods for technical state of powertrain wheeled and tracked vehicles that permit to carry out maintenance at actual requirements. Following this approach it will be possible, firstly, to exclude failed machine operation and, secondly, unjustified material and labour costs in case of untimely maintenance.

On-board diagnostics of power units and, in particular, gearbox hydro-pressing clutches must ensure high rate of road traffic safety. Usage of an information signal from linear displacement transducer for a piston of gearbox hydro-pressing clutch will make it possible timely to determine residual operation time of friction disks at any operational period of "Belarus" tractor and also forecast time when it is necessary to substitute them.

Keywords: on-board diagnostics, information signal, linear displacement transducer for piston, gearbox hydro-pressing clutch.

Fig. 3. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

Введение. Предлагаемая методика устанавливает объем и методы бортового диагностирования технического состояния гидроподжимных муфт коробок передач тракторов марки «Беларус» в части оценки степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков. Для этого используется информационный сигнал от датчика линейного перемещения поршня с целью определения степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач, что позволяет оперативно в любой период эксплуатации трактора определить остаточный ресурс дисков, а также прогнозировать время их замены.

Целью испытаний являлось экспериментальное определение на стенде уровня информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня, соответствующего предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач, и применение его в дальнейшем в качестве показателя степени износа фрикционных дисков при бортовом диагностировании технического состояния гидроподжимных муфт коробок передач тракторов [1–10]. Объем испытаний изложен в табл. 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта методики
Износные испытания фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач на стенде	4
Экспериментальная проверка бортового диагностирования степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач на тракторе	5

Износные испытания фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач на стенде. Испытания по определению уровня информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня, соответствующего предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, проводили на инерционном стенде С146, схема которого показана на рис. 1, по оговоренной заданием на испытания от 11.01.2010 (№ 7221) методике.

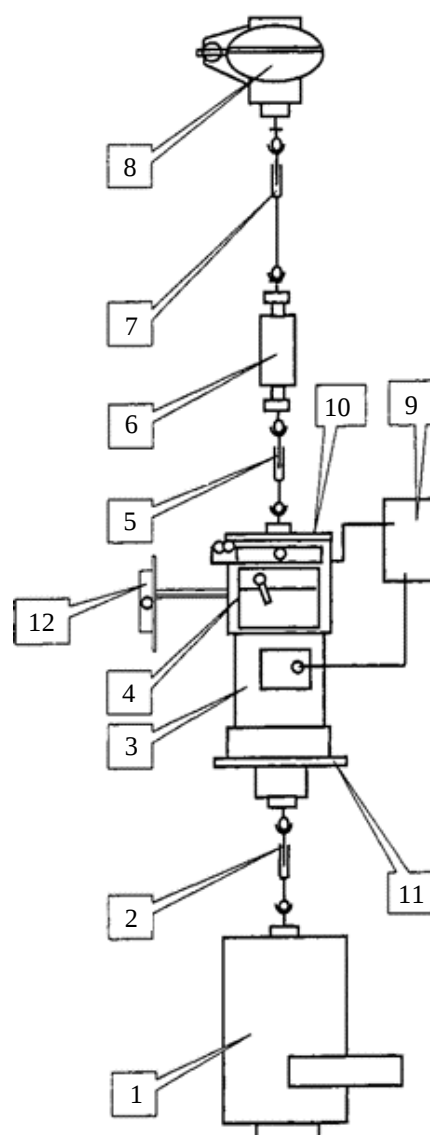


Рис. 1. Схема стенда для испытаний коробки передач 2103-1700010: 1 – балансирующая машина; 2, 5, 7 – карданные валы; 3 – корпус муфты сцепления; 4 – коробка передач; 6 – датчик вращающего момента; 8 – нагрузочный механизм (гидравлический тормоз); 9 – бак системы охлаждения; 10, 11 – задняя и передняя стойки; 12 – пульт управления

Коробка передач 2103-1700010 гусеничного трактора «Беларус-2103» приведена на рис. 2.

В качестве фрикционных дисков гидроподжимных муфт переключения передач использовали диски 696392АОс с фрикционным материалом MF721 фирмы MIBA FRICTEC (Австрия). Качество дисков определяли по фрикционным свойствам и линейному износу. Коробку передач заправляли маслом М10Г₂ по ГОСТ 8581–78.

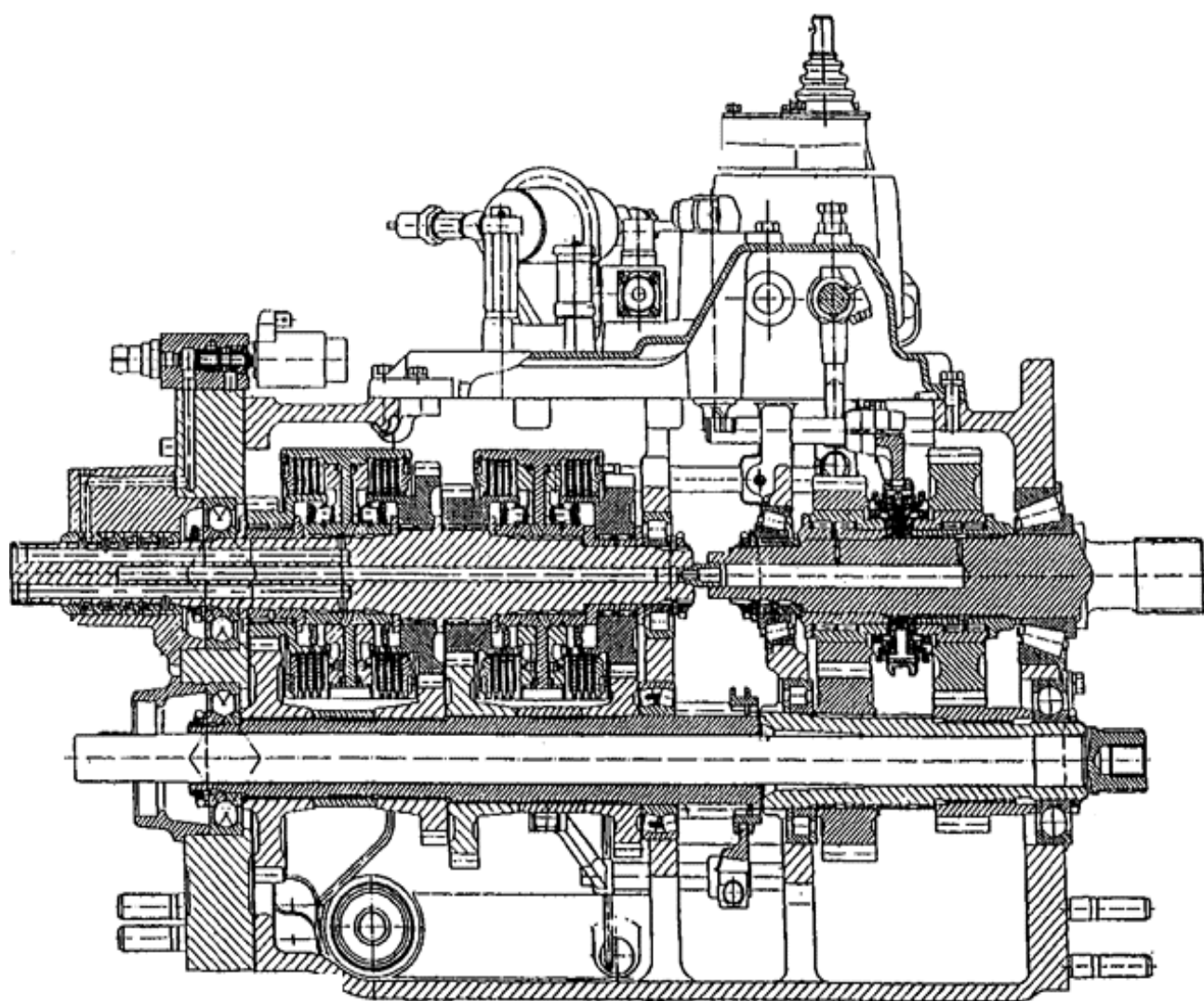


Рис. 2. Коробка передач 2103-1700010

Балансирную машину IDS 1036 мощностью 236 кВт использовали в качестве привода, гидротормоз HS-250 с поглощаемой мощностью 250 кВт – как нагружающее. В испытаниях с помощью измерительной аппаратуры определяли следующие показатели:

- крутящий момент на валу балансирной машины регистрировали с помощью весовой головки ZDI (диапазон измерения от 0 до 1000 Н·м; погрешность измерения ± 25 Н·м);
- частоту вращения вала балансирной машины регистрировали с помощью цифрового прибора ХР 1206 А (диапазон измерения от 0 до 4000 об/мин; погрешность измерения ± 20 об/мин);
- давление масла в системе управления фрикционами КП замеряли манометром МТП-100 по ГОСТ 2405–80 (класс точности 2,5; пределы измерения от 0 до 2,5 МПа);
- давление масла в системе смазки замеряли манометром МТП-160 по ГОСТ 2405–80 (класс точности 1,5; пределы измерения от 0 до 1,6 МПа);
- температуры рабочих жидкостей в испытуемой и стендовых трансмиссиях замеряли по ГОСТ 9736–91 при помощи дистанционного термометра, состоящего из милливольтметра Ш 4501 (пределы измерения от 0 до 300 °С, класс точности 1,5) и хромель-копелевой термопары;

- давление в каналах управления муфтами фрикционов регистрировали с помощью датчиков давления Р9-НВМ (диапазон измерения 0–5 МПа; класс точности 0,5);

- частоты вращения ведущих и ведомых частей стенда измеряли датчиками импульсов ДКП-11;

- крутящий момент на выходном валу КП регистрировали с помощью датчика Т2-5 (номинальный измеряемый крутящий момент 5 кН·м; класс точности 0,2); крутящий момент на валу балансирной машины – с помощью весовой головки ZDI (диапазон измерения от 0 до 1000 Н·м; погрешность измерения ± 25 Н·м);

- толщину ведомого диска (при определении линейного износа материала накладок) измеряли микрометром МК-25-1 по ГОСТ 6507–90 (погрешность измерения ± 2 мкм).

При записи параметров использовали усилитель KWS 521A и контроллер-регистратор в комплекте с персональным компьютером. Управление работой стенда, сбор и обработку информации, построение графиков осуществляли с автоматизированного рабочего места испытателя программируемым контроллером С12 фирмы OMRON (Япония). Эксперименты проводили методом многократных циклов включений гидроподжимных муфт коробки передач. Испытания фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач на стенде закончили их предельно допустимым износом с фиксацией уровня информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня L_0 для каждой муфты.

Экспериментальная проверка бортового диагностирования. Трактор, предназначенный для испытаний, выбирали исправным, укомплектованным, заправленным горюче-смазочными материалами в соответствии с нормативной технической документацией. Состояние трактора, его агрегатов и узлов соответствовало технической документации завода-изготовителя, а техническое обслуживание и эксплуатационные материалы – инструкции по эксплуатации, давление в шинах – требованиям эксплуатационной документации.

Испытания проводили на тракторе без нагрузки и с полной нагрузкой в реальных условиях его эксплуатации. Трактор, предназначенный для испытаний, оборудовали бортовой системой контроля степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, структурная схема которой показана на рис. 3. Система контроля при бортовом диагностировании степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач начинала свою работу при включении бортовой сети трактора. При этом производили контроль информационных сигналов от датчиков линейного перемещения поршня гидроподжимных муфт коробки передач по определенному алгоритму. Выполняли контрольные включение и выключение гидроподжимных муфт, чтобы убедиться в исправности системы контроля степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач. Температура окружающего воздуха была в пределах от минус 20 до плюс 30 °С.

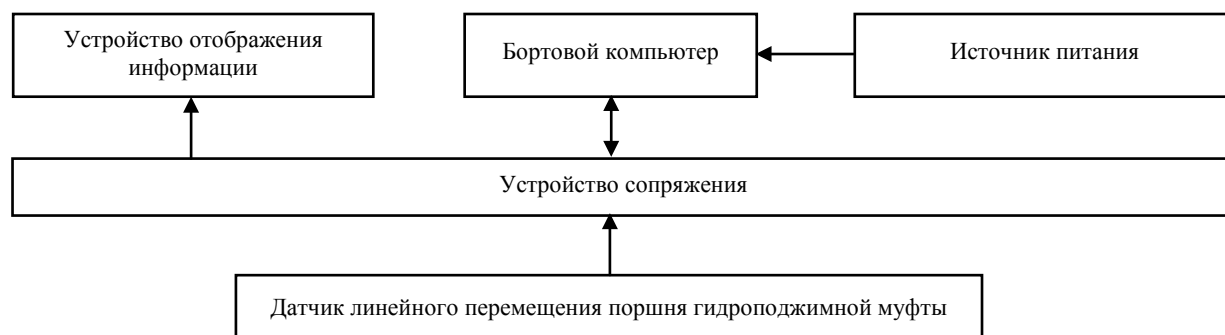


Рис. 3. Структурная схема бортовой системы контроля степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач

Бортовой компьютер определял степень износа и величину остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт и выдавал сообщение на устройство отображения информации после каждого включения и выключения муфт путем обработки следующей математической зависимости:

$$\Delta = \frac{L}{L_0} \cdot 100 \%,$$

где L – текущий уровень информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня гидроподжимной муфты; L_0 – уровень информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня, соответствующий предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимной муфты.

После достижения на борту трактора гидроподжимной муфтой уровня информационного сигнала, соответствующего предельно допустимому износу фрикционных дисков, на устройстве отображения информации появлялся сигнал о замене данной муфты.

ВЫВОД

Использование уровня информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня гидроподжимной муфты коробки передач позволит оперативно в любой период эксплуатации тракторов «Беларус» определять остаточный ресурс фрикционных дисков, а также прогнозировать время их замены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпиевич, Ю. Д. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач / Ю. Д. Карпиевич, В. Б. Ловкис, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 32–35.
2. Метод диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостроению Д. А. Чудакову и В. А. Скотникову. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 66–70.
3. Устройство прогнозирования степени износа и величины остаточного ресурса тормозных накладок каждого

колеса транспортных и тяговых машин: пат. Респ. Беларусь 9122: МПК В60 Т17/22, G01М17/00 / Ю. Д. Карпиевич, В. Е. Тарасенко, Н. Н. Романюк; дата публ.: 2013.01.03.

4. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич [и др.] // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Минск: БГАТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 125–128.

5. Опанович, В. А. Технология диагностирования машин / В. А. Опанович, Ю. Д. Карпиевич // Наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 42–52.

6. Опанович, В. А. Роль и место диагностирования машин при их технической эксплуатации / В. А. Опанович, Ю. Д. Карпиевич // Вестник БНТУ. – 2011. – № 2. – С. 51–54.

7. Опанович, В. А. Диагностирование технического состояния автомобилей / В. А. Опанович, Ю. Д. Карпиевич, Г. П. Грибко // Вестник БНТУ. – 2010. – № 5. – С. 49–53.

8. Карпиевич, Ю. Д. Метод определения численного значения работы трения как интегрального показателя при бортовом диагностировании степени износа тормозных накладок / Ю. Д. Карпиевич // Вестник БНТУ. – 2009. – № 6. – С. 88–90.

9. Карпиевич, Ю. Д. Микропроцессорная система бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления / Ю. Д. Карпиевич // Вестник БНТУ. – 2007. – № 6. – С. 76–78.

10. Карпиевич, Ю. Д. Развитие систем бортового диагностирования автомобилей / Ю. Д. Карпиевич, А. И. Гришкевич. – Минск, 1994. – 17 с.

REFERENCES

1. Karpievich, Yu. D., Lovkis, V. B., & Bondarenko, I. I. (2014) Friction as an Integral Indicator of Wear-Out Rate for Frictional Disks of Gearbox Hydro-Pressing Clutches. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 2, 32–35 (in Russian).
2. Karpievich, Yu. D., Zhukovskii, Iu. M., Bondarenko, I. I., & Mal'tsev, N. G. (2013) Method for Diagnosis of Wear-Out Rate for Frictional Disks Hydroporini Clutch Gearboxes Wheeled and Tracked Vehicles. *Scientific and Technical Progress in Agricultural Industry. Proceedings of International Scientific and Practical Conference Dedicated to Prof. D. A. Tchudakov and Prof. V. A. Skotnikov, Leading Scientists of the Belarusian State Agrarian Technical University, who Have Created a Scientific School on Automotive and Tractor Construction*. Minsk: Belarusian State Agrarian Technical University, 66–70 (in Russian).
3. Karpievich, Yu. D., Tarasenko, V. E., Romaniuk, N. N. (2013) Device for Prediction of Wear-Out Rate and Value of Residual Operation Life for Brake Pads of Every Wheel of Transport and Traction Machines. Patent of the Republic of Belarus 9122 (in Russian).
4. Karpievich, Yu. D., Zhukovskii, Iu. M., Zakharov, A. V., & Mal'tsev, N. G. (2013) Friction as an Integral Indicator of Wear-Out Rate for Friction Pads of Clutch Driven Disk

of Wheeled and Tracked Vehicles. *Prospective Technologies and Technical Facilities in Agricultural Industry. Proceedings of International Scientific and Practical Conference. Part 2.* Minsk: Belarusian State Agrarian Technical University, 125–128 (in Russian).

5. **Opanovich, V. A., & Karpievich, Yu. D.** (2012) Technology for Machine Diagnosis. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 2, 42–52 (in Russian).

6. **Opanovich, V. A., & Karpievich, Yu. D.** (2011) Role and Place of Machine Diagnosis During Their Technical Operation. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 2, 51–54 (in Russian).

7. **Opanovich, V. A., Karpievich, Yu. D., & Gribko, G. P.** (2010) Diagnostics of Vehicle Technical States. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 5, 49–53 (in Russian).

8. **Karpievich, Yu. D.** (2009) Method for Numerical Value Determination of Friction as an Integral Indicator During On-Board Diagnostics of Brake Pad Wear-Out Rate. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 6, 88–90 (in Russian).

9. **Karpievich, Yu. D.** (2007) Microprocessor System for On-Board Diagnostics of Friction Pad Wear-Out Rate of Clutch Driven Disk. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 6, 76–78 (in Russian).

10. **Karpievich, Yu. D., & Grishkevich, A. I.** (1994) Development of Vehicle On-Board Diagnostic Systems. Minsk. 17 p. (in Russian).

Поступила 20.05.2015

УДК 656.1

БЕЛАРУСЬ НА ПОРОГЕ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Докт. техн. наук, проф. ГРАБАУРОВ В. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: vgrabaurov@yandex.ru

В статье расшифровано понятие интеллектуальных транспортных систем, показана их выгода в решении различных задач: безопасности движения, увеличения скорости, улучшения экологии, разгрузки городских территорий, повышения комфорта и др. Интеллектуальные транспортные системы охватывают все виды транспорта и элементы системы транспортировки: транспортные средства, инфраструктуру, динамически взаимодействующих водителей или пользователей. Информация составляет основу интеллектуальных транспортных систем, будь то статические или оперативные транспортные данные или цифровые карты. Такие системы могут предоставить информацию в реальном времени о текущих положениях в сети или онлайн-информацию для планирования поездки. Кроме перечисленных возможностей интеллектуальных транспортных систем в решении современных транспортных проблем, рассмотрены факторы комфорта, а также их технологии, логическая и физическая архитектура, производительность и эксплуатационная эффективность.

Проведен анализ развития интеллектуальных транспортных систем в мире: в США, Европейском союзе и России. Охарактеризован начальный этап создания интеллектуальных транспортных систем по опыту различных государств, описаны мифы и реалии формирования таких систем в странах с переходной экономикой. Проанализированы особенности развития интеллектуальных транспортных систем в Беларуси, даны рекомендации о практических шагах по созданию белорусской интеллектуальной транспортной системы. Для Беларуси при создании интеллектуальных транспортных систем основной является не техническая, а институциональная проблема. Необходимо объединить усилия государственных, научных, производственных, коммерческих и академических структур в единую команду для ее решения.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, логическая архитектура, физическая архитектура, технологии интеллектуальных транспортных систем.

Ил. 2. Библиогр.: 10 назв.

BELARUS ON A THRESHOLD FOR CREATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

GRABAUROV V. A.

Belarusian National Technical University

The paper describes a conception of intelligent transport systems and reveals their benefit in solution of various tasks: road traffic safety, speed increase, ecology improvement, relief of urban territories, comfort improvement and others. The intelligent transport systems cover all types of transport and consider all the elements of transportation system: transport facilities, infrastructure, dynamically interactive drivers or users. The information is considered as a basis of the intelligent transport systems, whether we have statistic or operational transportation data or a digital map. Data obtained with the help of such systems can provide real-time information on current situation in the network or on-line information in order to plan a road trip. In addition to the mentioned capabilities of the intelligent transport systems in respect of solution of modern transport problems the paper considers comfort factors and also their technologies, logical and physical architecture, productivity and operational efficiency.

The paper provides an analysis on the development of the intelligent transport systems in the world: the USA, European Union and Russia. The initial stage for creation of the intelligent transport systems has been characterized with due account of the experience of various countries. The paper describes myths and realities pertaining to formation of such systems in the countries with transition economy. Peculiar features concerning development of the intelligent transport systems in Belarus have been analyzed in the paper. The paper presents recommendations on practical steps for establishing the Belarusian intelligent transport system. The main problem in creation of the intelligent transport systems is not technical issue but an institutional one. It is necessary to combine efforts of state, research, industrial, commercial, academic structures in the united team.

Keywords: intelligent transport system, logical architecture, physical architecture, technologies of intellectual transport systems.

Fig. 2. Ref.: 10 titles.

Введение. В процессе технологического развития человечество большое внимание уделило созданию и совершенствованию автомобилей как реализации мечты о самодвижущихся повозках для перемещения людей и грузов. Этот процесс длился более 200 лет. Промышленная революция дала мощный толчок развитию автомобилей. Вначале использовались паровые двигатели, а с изобретением двигателей внутреннего сгорания их начали устанавливать на автомобили. Собственно понятие «автомобиль» стали применять именно с появлением последних с двигателями внутреннего сгорания. В конце XIX – начале XX в. автомобиль даже был основным двигателем прогресса [1, 2]. Автомобили становились все мощнее, скорости их возрастали [3]. Пришлось строить специальные дороги в городах и автобаны между ними. Автомобили запрудили улицы городов, и их уже стало некуда ставить: ресурсы городских территорий оказались исчерпаны. Резко возросли проблемы безопасности движения и экологии. Постепенно пришло понимание, что нужно стремиться к «умным автомобилям на умных дорогах».

Помощь в решении этих проблем пришла со стороны высоких технологий, в первую очередь информационно-коммуникационных. С конца XX в. началась информационная эпоха. В результате использования информационно-коммуникационных и других высоких технологий на транспорте появились интеллектуальные транспортные системы (ИТС; Intelligent Transport Systems (ITS)). В высокоразвитых странах с хорошо развитыми информационными технологиями ИТС насчитывают несколько десятилетий. Уже созданы национальные, региональные, европейские и всемирные ассоциации ИТС. С целью решения проблемы транспорта Беларусь приступила к созданию национальной ИТС.

Что такое интеллектуальные транспортные системы? Совсем небольшой и не очень удачный опыт создания ИТС в Беларуси уже есть, поэтому подходить к решению проблем ее создания нужно системно и с полной ответственностью [4]. ИТС – общий термин для интегрированного применения коммуникаций, технологий контроля и обработки информации в системах транспортировки [5]. Проистекающая выгода – это сохранение жизней, време-

ни, денег, энергии и окружающей среды. ИТС охватывают все виды транспорта и все элементы системы транспортировки: транспортные средства, инфраструктуру, а также совместно динамически взаимодействующих водителей или пользователей. Информация составляет основу ИТС, будь то статические или оперативные транспортные данные или цифровые карты. Произведенные ИТС данные могут предоставить информацию в реальном времени о текущих положениях в сети или онлайн-информацию для планирования поездки, позволяя управлению дорог, общественным и коммерческим поставщикам транспорта и отдельным путешественникам принимать безопасные и скоординированные решения.

Большая часть современных ИТС первоначально использовалась на дорогах с городскими транспортными системами для управления сигналами. Но теперь ИТС покрывает целый диапазон транспортной сферы, включая системы общественного транспорта. Данные, собираемые через системы мониторинга и инфраструктуру, могут использоваться для информации о путешествиях, например показать время прохождения, а также в планах организации дорожного движения или системах управления скоростью потока.

Какова польза от ИТС? Важнейшая причина развития ИТС состоит в том, чтобы улучшить системные операции по транспортировке, повышая производительность, спасая жизни, сокращая время, затраты и энергию. Выгода возможна в каждом секторе транспортной сферы [5].

Помощь в уменьшении заторов. Заторы – большая проблема для всех транспортных сетей, и увеличение эффективности существующих транспортных систем является главной целью ИТС-программ во всем мире. Релевантные ИТС-услуги включают: регулирование движением во всей области, предварительную организацию дорожного движения, управление изменением маршрута, средства управления переменной скоростью, измерение уклонов, обнаружение инцидента и реакции, информацию о водителе.

Инструменты организации дорожного движения для обеспечения максимальной производительности дорожной сети включают: кон-

троль текущих транспортных условий и предсказание ожидаемой ситуации; координацию движения, сигнализируя о минимизации задержки и очереди в динамическом движении; предоставление «зеленой волны» посредством сигнализации движению для приоритета автобуса/трамвая и чрезвычайных транспортных средств; обнаружение и управление инцидентами на сети шоссе; видеонаблюдение за горячими точками скопления.

Улучшение безопасности. ИТС-услуги могут сделать транспорт более безопасным, максимизируя его способность сдерживать и уменьшать воздействие бедствий, естественных и искусственных, например перспективным планированием, сокращая время отклика аварийной службы и обеспечивая и располагая по приоритетам маршруты эвакуации бедствия. Кроме того, ИТС-услуги способны обеспечить правила техники безопасности, удерживать опасное вождение, контролировать опасные грузы и показывать на экране подозрительные транспортные средства и контейнеры. Помимо этого, они защищают уязвимых дорожных пользователей, делая их более видимыми водителям, дают пешеходам и велосипедистам возможность управлять перекрестками, автоматически уменьшать скорость приближающихся транспортных средств, помогают водителю визуальными пособиями или тревогами. Релевантные ИТС-услуги включают: интеллектуальную адаптацию скорости, помощь для уязвимых дорожных пользователей, информацию о погоде и контроль состояния дороги, обнаружение инцидента, системы оповещения о столкновении, чрезвычайный приоритет особого транспортного средства, системы мониторинга водителя, измерение скорости и сигнализацию при осуществлении движения, контроль опасного груза, показ грузов, системы повышения видения водителя, определение маршрута эвакуации и приоритетов, действия национальной безопасности, выгоду для людей с ограниченными способностями посредством лучшего визуального и аудиопредставления информации.

Экологические преимущества. В последние годы общественное беспокойство по поводу воздействия на окружающую среду транспорт-

ных систем возросло. Дорожное движение продолжает усиливаться, поэтому воздействие на окружающую среду от эмиссии и шума становится все более серьезным. Необходимо экологическое усовершенствование транспортного сектора, особенно сокращение выделения углекислого газа (CO_2) и окиси азота (NO_x). Создание транспортных систем с более эффективным управлением может также принести соответствующую выгоду для окружающей среды. ИТС в этом окажут большую пользу. Например, сокращение пробок на дороге или поощрение людей к поездке на общественном транспорте непосредственно уменьшат уровни выбросов от транспортных средств и, следовательно, загрязнения воздуха.

Создание более привлекательного транспорта, т. е. оказание первостепенного внимания общественному транспорту, чтобы уменьшить время поездки, улучшая надежность и точность; предоставление информации в реальном времени на остановках; электронные платежные системы, позволяющие пассажирам экономить время, включая Smartcard и гибкую покупку билетов.

Производительность и эксплуатационная эффективность. ИТС способны сделать транспортные операции более эффективными. Оперативные системы управления могут уменьшить административные и эксплуатационные затраты и существенно повысить производительность (выполняя точные вычисления времени поездки с использованием коммуникационных технологий), проводить эффективное изменение направления движения транспортных средств. Предварительное электронное уведомление (включая переезд через границы), проверка веса в движении – все это сокращает время поездки.

Релевантные ИТС-услуги включают: оперативное управление, автоматизированную отправку, автоматическое распознавание местоположения транспортного средства, автоматическое грузовое отслеживание, электронное предварительное разрешение, проверку согласия транспортного средства, мониторинг водителя.

Факторы комфорта. Пользователи любой системы транспортировки должны чувствовать

себя комфортно, уверенно и безопасно. Подтверждение маршрута, временные оценки поездки и достоверная информация относительно приближения перегрузки играют важную роль. Регулировка скорости, измерение уклона, предупреждение о скоплении автомобилей и руководство альтернативным маршрутом помогут совершать дорожные поездки комфортнее и менее напряженно. Такие средства, как мультимедийные системы, обеспечивают развлечения и навигацию. Пассажирам общественного транспорта тоже нужны комфорт, удобства и сервисное обслуживание.

Релевантные ИТС-услуги включают: движение в реальном времени и информацию об общественном транспорте, динамическое руководство маршрутом, автоматическое местоположение транспортного средства, платежные системы Smartcard для платной дороги и общественного транспорта.

У правительства есть политический приоритет и возможности организовать жизнеспособный и эффективный транспорт. На региональных уровнях оно может осуществлять управление запросами и интегрированной информацией по различным видам транспорта.

Операторы дороги, поездов, трамваев, сетей водного пути и связанных транспортных обменов (от дороги до поезда и транзита, аэропортов, портов и паромных терминалов) могут управлять своими действиями с лучшей информацией и предоставлять пользователям безопасные и надежные условия путешествия. У людей появится возможность лучше планировать поездки, наслаждаться безопасным путешествием, избегать задержек и сделать выбор между способами путешествия.

В конечном счете, многие ИТС-выгоды, вероятно, будут невидимы до конца. Для обычного пользователя ИТС просто повысят уровень безопасности, эффективность и комфорт транспортной системы и окружающей среды. Поэтому важна роль программ осведомления общественности – показать пользователям транспортных средств, как они могут наслаждаться увеличенной безопасностью, лучшей информацией, большим удобством и умень-

шенным временем поездки, а также более чистой окружающей средой.

Технологии ИТС. ИТС опирается на широкий диапазон технологий и функций, таких как:

коммуникации – микроволновые, радио малой дальности; мобильная связь (используемая для информации о путешествии в реальном времени); оперативное управление; аварийное реагирование; Интернет (используемый для информации о путешествии в реальном времени); планирование поездки; транспортные изображения; оплата;

географическое положение – глобальная навигационная технология, основанная на спутниках обнаружения положения, для автоматического местоположения транспортного средства;

географические информационные системы, основанные на используемых стационарных базах данных сетей транспортировки;

получение, накопление и обмен данными для организации дорожного движения в реальном времени и информации;

системы камер и искусственного наблюдения для осуществления движения и безопасности;

обнаружение и классификация, используемые для организации дорожного движения, управления инцидентом, согласования, безопасности;

системы в транспортном средстве и в системах управления транспортным средством, используемые для информации о путешествии и предотвращения несчастного случая;

цифровая картография – базы данных дороги и сетей транспортировки, использование согласованных словарей данных и стандартизированная ссылка местоположения. Цифровые карты применяются для организации дорожного движения, информации о движении, руководства маршрутом, управления автостоянкой, а также для маршрутизации, контроля маршрута грузовика, руководства местами отдыха.

ИТС-архитектура. В прошлом системы управления дорожным движением создавались для того, чтобы оказать только одну или две услуги с помощью независимо работающих отдельных подсистемам. ИТС представляет со-

бой одновременно сложное управление, контроль и сбор данных. При существующих рисках конфликтов многих подсистем имеются также возможности объединения этих подсистем для совместной работы. Системная архитектура служит логической основой, базирующейся на пользовательских требованиях, с целью планирования и объединения интеллектуальных систем транспортировки.

ИТС-архитектура определяет: функции (сбор информации о движении или просьб по маршрутам), требуемые для ИТС; физические объекты или подсистемы, где эти функции применяются (обочина или транспортное средство); потоки информации и данных, соединяющие эти функции и физические подсистемы вместе в интегрированную систему. То есть архитектура ИТС нужна для того, чтобы определить, что именно необходимо делать и кто это должен делать [6].

Существуют два вида архитектуры ИТС: логическая и физическая.

Логическая архитектура ИТС определяет, что именно нужно делать [7], поэтому она уникальна для каждой страны или региона. Эта архитектура составляется как компромисс мнений всех заинтересованных участников и служит основой для планирования и выполнения ИТС, включая программу развертывания, организационную точку зрения, стоимость/выгоду и исследования анализа степени риска. У каждой заинтересованной группы есть свои собственные стратегические цели в дополнение к более общим целям повышения уровня безопасности, эффективности, экологического качества и т. д.

Упрощенная логическая архитектура высокого уровня США изображена как диаграмма потока данных на рис. 1. Стрелки указывают на направления потока данных, которые необходимы, чтобы выполнить все услуги, выбранные представителями ИТС-сообщества. Круги представляют наборы процессов, разделяемые на детали на последующих более низких уровнях логической архитектуры. На самых нижних уровнях круги определяют обработку данных, которая необходима (например, алгоритм для автоматического обнаружения инцидента).

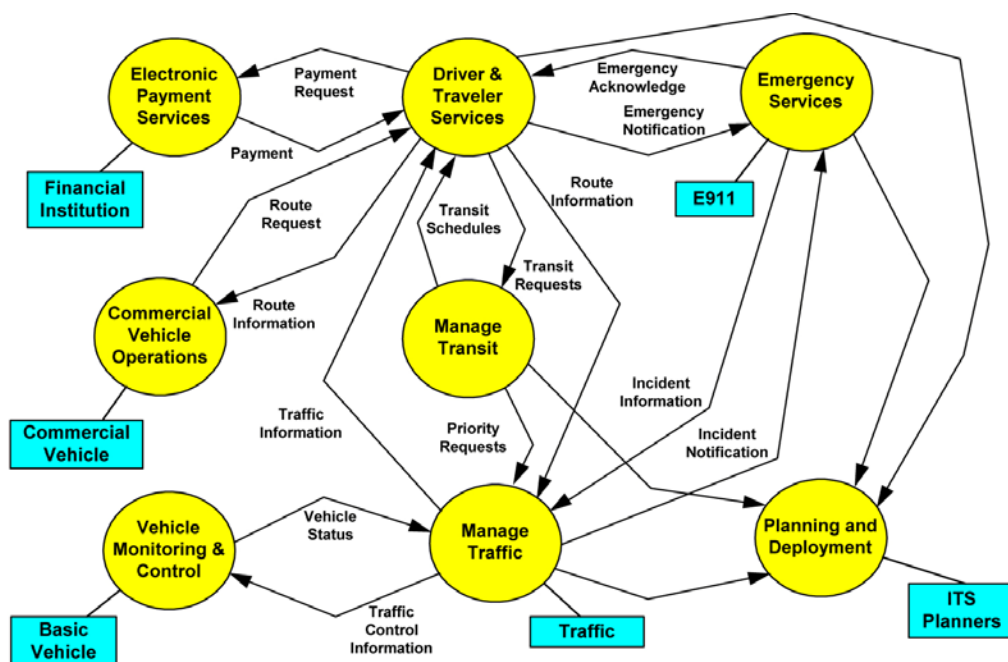


Рис. 1. Упрощенная логическая архитектура ИТС США

Физическая архитектура ИТС характеризует основные процессы и участников ИТС. В первичном представлении физическая архитектура ИТС состоит из трех уровней: сетевого, транспортного и институционального [8] (рис. 2).

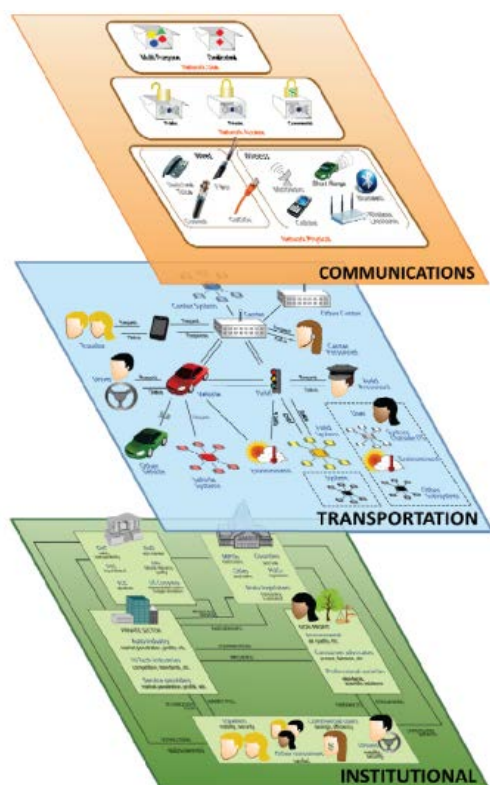


Рис. 2. Физическая архитектура ИТС

1. Сетевой уровень с каналами связи предназначен для сбора и обработки информации. ИТС содержит скоростные каналы связи между диспетчерскими центрами и центром обработки данных (ЦОД), воздушные каналы связи между удаленными контроллерами, каналы связи через провайдеров сотовой связи, выделенные каналы связи с резервированием для обслуживания светофоров, цифровых табло и т. п.

2. Транспортный уровень, ради которого существует интеллектуальная транспортная система. На этом уровне происходит перемещение пассажиров и грузов.

3. Институциональный уровень – организации, политика, механизмы финансирования и бизнес-процессы, необходимые для создания и эксплуатации ИТС. Этот уровень отражает все те структуры, организации и бизнес-процессы, которые осуществляют поддержку ИТС. Сюда входят государственные органы, научные и проектные институты, промышленные предприятия, университеты и образовательные центры, финансовые организации и т. д.

Транспортный уровень существует изначально, так как в нем реализуются перевозки; сетевой уровень создается усилиями инженеров по информационно-коммуникационным технологиям – здесь все достаточно ясно; институциональный уровень требует серьезных

организационных усилий. Главное действующее лицо в формировании институционального уровня ИТС – государство, заинтересованное в повышении скорости перевозок, снижении ДТП и сохранении экологии. В странах с развитой рыночной экономикой побудительным мотивом участия в ИТС частных предприятий совместно с государственными органами власти является стремление к прибыли.

ИТС в мире. Развитие и распространение ИТС за рубежом в последние 15 лет привело к формированию трех центров управления процессом создания индустрии технических средств транспортных информационно-управляющих систем XXI в. [9]:

- в Евросоюзе – под руководством организации ERTICO ITS Europe;
- в Северной Америке – под руководством ассоциации ITS America;
- в Японии – под руководством общества VERTIS.

Эти учреждения объединяют представителей промышленности, науки и правительственных (межправительственных) органов и финансируются как частным сектором экономики, так и госбюджетом. В России в настоящее время ведутся работы по формированию организации некоммерческого партнерства «ITS-Россия» [10].

Возникла новая порода ИТС-профессионалов, и мировые государства создали свои собственные ИТС-организации, чтобы представить промышленность, кооперироваться с правительством. Главной целью ERTICO являются разработка программ, направленных на совершенствование европейских инновационных технологий в области развития дорожной инфраструктуры, на применение ИТС в целях управления дорожным движением и повышения мобильности населения и грузов, а также улучшение качества жизни людей, повышение безопасности на дорогах и снижение вредного воздействия автотранспорта на окружающую среду. За последние годы ERTICO реализовано более 20 программ, что позволяет судить о вкладе этой организации в обеспечение безопасности дорожного движения в странах Евросоюза.

В России при Правительстве Российской Федерации создается консорциум Российские интеллектуальные транспортные системы (РИТС) коммерческих компаний и профес-

сиональных общественных объединений (по аналогии с ERTICO). Потенциальными участниками консорциума являются представители различных сегментов рынка: компании – производители электронного и навигационного оборудования, автопроизводители, операторы сотовой связи, сервис-провайдеры и разработчики программного обеспечения, банки, страховые компании, строительные и дорожные организации, компании, представляющие нефтеперерабатывающий сектор, общественные организации, представляющие профессиональные объединения, средства массовой информации, интернет-провайдеры и пр. Важно подчеркнуть, что между национальными структурами ИТС осуществляется тесный контакт, им оказывается методическая и иная помощь со стороны международных центров.

С чего начинаются ИТС? Ранние научно-исследовательские действия ИТС начинались как изолированные экспериментальные проекты, но фактически все страны, занятые ИТС-развертыванием, теперь имеют формальные ИТС-программы. Это должно гарантировать последовательность и совместные действия среди ИТС-проектов, непрерывность финансирования и систематическое развитие общественной поддержки и новых ресурсов.

Формирование программы национальной ИТС. ИТС-программы в большинстве стран обычно вовлекают многочисленные заинтересованные группы, которые включают общественные, частные и некоммерческие секторы. Это потому что ИТС-программы, с одной стороны, требуют взаимодействия между транспортной инфраструктурой и транспортными средствами (включая операторов автопарка и отдельных водителей), а с другой – новых факторов, таких как телекоммуникационные операторы. В большинстве стран органы государственной власти ответственны за основную часть или за всю транспортную инфраструктуру, а частный сектор берет на себя инициативу в развитии и производстве электроники грузовых перевозок и транспортных средств. Таким образом, и общественные и частные секторы обязательно должны участвовать в национальных ИТС-программах. В некоторых государствах исследовательские, учебные и некоммерческие учреждения также играют ключевую

роль в связи с причастностью к продвижению информации, системным технологиям и уровню координации.

Учреждение и обслуживание ИТС-программ могут быть облегчены национальным законодательством и/или правительственным лидерством высокого уровня, особенно в сфере финансирования. Международное объединение ИТС-услуг (например, ИТС-приложение по переходу грузовиками международной границы) и взаимовыгодный обмен ИТС-опытом также являются важными стимулами.

Как первый шаг в планировании проекта должны быть определены ясные объекты и цели ИТС-услуг, учитывая местные требования, а также проведена проверка совместимости различных систем – сейчас или в будущем. Эти цели должны быть согласованы всеми участниками. Механизмы реализации ИТС включают следующие элементы:

- создание государственного координирующего органа;
- формирование единых унифицированных стандартов;
- государственно-частное партнерство;
- создание сообщества типа ERTICO;
- формирование сильной промышленной базы, включая предприятия информационных технологий (ИТ) и ВТ.

ИТС в переходных странах. Беларусь относится к странам с переходной экономикой, поэтому рассмотрим специфику внедрения ИТС в таких государствах. Главные индустриально развитые страны начали развивать ИТС раньше, чем государства с переходной экономикой. Учитывая эту ситуацию, рассмотрим вопросы о мотивации:

- Какие ИТС-приложения особенно полезны для переходных стран?
- Насколько ИТС-опыт передаваем от главных индустриально развитых стран к этим странам?
- Как ИТС-приложения, технологии и системы могут быть приспособлены к особым требованиям стран с переходной экономикой?
- Как можно проектировать «жизнеспособные ИТС» на национальных и локальных уровнях в пределах специальных ограничений этих стран?

• Какова измеримая выгода, чтобы убедить лиц, принимающих решения, развертывать применение ИТС в этих странах?

• Как ИТС-приложения гарантируют способность к взаимодействию и региональной интеграции национальной дорожной сети таких государств?

У стран с переходной экономикой есть специфические требования, которые отражаются на развитии и применении ИТС. Например, частота поломок транспортного средства значительно больше в таких странах, чем в индустриально развитых, в связи с возрастом автопарков и плохими дорожными условиями. Таким образом, отношение выгоды/стоимости устройств обнаружения инцидента в городских территориях должно быть намного больше в переходных странах. Есть четыре мифа об ИТС в странах с переходной экономикой, которые опровергаются фактами.

Миф 1. «ИТС-технология является слишком сложной и дорогостоящей и, следовательно, не подходящей для переходных стран».

Действительность: уже есть широкий диапазон ИТС-применений в этих странах (ITS Toolkit Всемирного банка привел 70 примеров).

Миф 2. «Переходные и развивающиеся государства нуждаются не более, чем в ИТС-продуктах, купленных в индустриально развитых странах».

Действительность: ИТС-развертывание намного более сложно, чем просто покупка и управление необходимым оборудованием.

Миф 3. «ИТС могут использоваться, чтобы полностью заменить дорожные капиталовложения в инфраструктуру».

Действительность: ИТС поможет использовать существующую дорожную инфраструктуру и уменьшить инвестиции в будущую. Для удовлетворения растущего требования в транспорте и уменьшения его скоплений ИТС должны использоваться наряду с дополнительными дорожными капиталовложениями в инфраструктуру.

Миф 4. «Наша потребность в новых способах решить проблемы транспортировки настолько срочная, что мы готовы предпринять развертывание крупномасштабных ИТС, не тратя время на проведение исследований».

Действительность: жизнеспособные ИТС-развертывания на самом деле требуют тщательного планирования. Полномасштабному ИТС-развертыванию должно предшествовать составление плана структуры, ИТС-архитектуры и других предварительных шагов.

Специфика Беларуси. С точки зрения экономических показателей и системы управления хозяйством, Беларусь относится к странам с переходной экономикой, но в то же время имеет ряд специфических особенностей.

- Беларусь является транспортным коридором между Европейским союзом и Россией и далее – Китаем. Это обстоятельство накладывает обязательства соответствия всей дорожной инфраструктуры, в том числе ИТС, соответствующим европейским и российским требованиям.

- Как отмечалось выше, ИТС представляет собой использование достижений информационно-коммуникационных технологий на транспорте. В этом смысле наблюдается парадоксальная ситуация: с одной стороны, уровень развития ИТ в Беларуси очень высок, с другой – использование ИТ на транспорте носит не системный, а выборочный характер. При этом движение осуществляется только с одной стороны – от специалистов ИТ, так как специалисты-транспортники обладают низким уровнем знаний в области ИТ. На транспортных конгрессах и семинарах IT2TLT (ИТ для транспорта, логистики и торговли) специалисты ИТ предлагают свои разработки транспортникам, но собственных исследований перспективного использования ИТ в транспорте у них нет, т. е. фактически отсутствует полноценное взаимовыгодное сотрудничество.

- Имеются отдельные разработки и использование элементов ИТС, например системы спутникового мониторинга движущихся объектов, геоинформационные системы, GPS-навигаторы, автоматизированные системы оплаты и контроля проезда в пассажирском транспорте, информационные табло на остановках и др. Однако единой белорусской ИТС пока нет. Отсутствует также единый координирующий правительственный орган по ИТС.

- До сих пор головной технический университет страны – БНТУ – не организовал анонсированную подготовку специалистов по интеллектуальным транспортным системам, владеющих знаниями как в транспортной сфере, так и в области ИТ. То есть профессионалов по ИТС в Беларуси никто не готовит, поэтому попытка приобретения у китайцев готовой ИТС для Минска без серьезной всесторонней проработки и подготовки соответствующих специалистов оказалась неудачной.

ВЫВОД

Основной для Беларуси при создании интеллектуальных транспортных систем является не техническая, а институциональная проблема. Необходимо объединить усилия государственных, научных, производственных, коммерческих и академических структур в единую команду для ее решения. Поскольку интеллектуальные транспортные системы нужны транспортникам, органам дорожного движения, ГАИ, МВД, МЧС, скорой помощи, органам городского управления и другим, возглавлять структуру интеллектуальных транспортных систем должен высший орган государственной власти страны, объединяющий головные министерства и структуры. Для успешной реализации программы необходимы политическая поддержка проекта на самом высоком государственном уровне, а также подготовка и принятие ряда законодательных инициатив.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алексеев, Ю. Г.** Люди и автомобили / Ю. Г. Алексеев. – М.: Патриот, 1990. – 190 с.
2. **Исторические** аспекты формирования транспортной системы Беларуси / под ред. В. Д. Чижонка. – Минск: БАМАП, 2012. – 433 с.
3. **Грабауров, В. А.** Парадоксы эволюции автомобилей / В. А. Грабауров // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 77–82.
4. **Грабауров, В. А.** Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта / В. А. Грабауров // Наука и техника. – 2014. – № 1. – С. 63–69.
5. **ITS Handbook** [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://road-network/>. – Date of Access: 12.04.2015.

6. **National ITS Architecture**. Physical Architecture [Electronic resource] // United States Department of Transportation. – Mode of access: www.iteris.com/itsarch/. – Date of Access: 12.04.2015.

7. **Logical Architecture Using the National ITS** [Electronic resource] // Department of Transportation. Coordinated Highways Action Response Team. – Mode of Access: www.chart.state.md.us/downloads/. – Date of access: 12.04.2015.

8. **Systems Engineering for Intelligent Transportation Systems** [Electronic resource] // Department of Transportation, Washington, DC 20590 January 2007. – Mode of Access: <http://ops.fhwa.dot.gov/publications/seitsguide/>. – Date of access: 12.04.2015.

9. **ERTICO Network** [Electronic resource]. – Mode of Access: <http://www.erticonetwork.com/>. – Date of Access: 12.04.2015.

10. **Интеллектуальные транспортные системы** [Электронный ресурс] // Федеральная целевая программа РФ. Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах. – Режим доступа: http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/transport_systems/. – Дата доступа: 12.04.2015.

REFERENCES

1. **Alexeev, Yu. G.** (1990) *People and Cars*. Moscow: Patriot. 190 p. (in Russian).

2. **Borovoi, N. I.**, Zhuk, I. V., Sediukevich, V. N., & Chizhonok, V. D. (2012) *Historical Aspects of Belarusian Transport System Formation*. Minsk, BAMAP. 433 p. (in Russian).

3. **Grabaurov, V. A.** (2014) Paradoxes of Car Evolution. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 2, 77–82 (in Russian).

4. **Grabaurov, V. A.** (2014) Intelligent Transportation System as Innovation Conception for Transport Development. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 1, 63–69 (in Russian).

5. **ITS Handbook**. Available at: <http://road-network/>. (Accessed: 12 April 2015).

6. **National ITS Architecture**. Physical Architecture. *United States Department of Transportation*. Available at: www.iteris.com/itsarch/. (Accessed: 12 April 2015).

7. **Logical Architecture Using the National ITS**. *Department of Transportation. Coordinated Highways Action Response Team*. Available at: www.chart.state.md.us/downloads/. (Accessed: 12 April 2015).

8. **Systems Engineering for Intelligent Transportation Systems**. *Department of Transportation, Washington, DC 20590 January 2007*. Available at: <http://ops.fhwa.dot.gov/publications/seitsguide/>. (Accessed: 12 April 2015).

9. **ERTICO Network**. Available at: <http://www.erticonetwork.com/>. (Accessed: 12 April 2015).

10. **Intelligent Transport Systems**. *Federal Target Program of the Russian Federation. Increase of Road Traffic Safety in 2006–2012*. Available at: http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/transport_systems/. (Accessed: 12 April 2015). (in Russian).

Поступила 28.04.2015

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ
ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ПОТРЕБНОСТИ В ЭНЕРГОРЕСУРСАХ**

Часть 1

Докт. техн. наук, проф. РОМАНИУК В. Н., асп. МУСЛИНА Д. Б.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: Dasha106515@gmail.com

Статья представляет интерес для специалистов, занятых решением проблем эффективности легкой промышленности Беларуси как одной из значимых отраслей, в большой степени формирующих состояние экономики республики, ее экспортный потенциал и социальный климат. Для сохранения и упрочения позиций на рынках для предприятий легкой промышленности чрезвычайно актуально снижение себестоимости продукции. Действующие производства натуральных, синтетических текстильных и трикотажных материалов и их последующая обработка во многом неоправданно энергоемки. Сегодня единственно приемлемым решением задачи снижения себестоимости продукции отрасли является уменьшение ее энергетической составляющей, для чего необходим переход к созданию современных теплоэнергетических систем на теплотехнологических предприятиях. Важнейшей подсистемой последних является собственное комбинированное производство энергопотоков вторичных электрической и тепловой энергии, холода. Среди вопросов, возникающих при проектировании тригенерационных комплексов, один из основных – определение базовой нагрузки и мощностей каждого генерируемого энергопотока энергоисточника. Решение непосредственно связано с выпуском продукции, который определяется спросом на рынках сбыта, в силу разных причин имеющим свою специфику для рассматриваемых предприятий. Поиск спроса предлагается вести с использованием статистических методов. Требуется учитывать как темпы развития отрасли (предопределенные государственными программами, планами, правительственными решениями, в том числе директивными), объемы производства конкурентоспособной продукции, так и фактическое положение продукции на рынках сбыта.

Данная публикация – первая часть комплексных исследований авторов, направленных на разработку научно обоснованных предложений повышения энергоэффективности отрасли в целом на базе полученных результатов при изучении ее энерго- и теплотехнических проблем. Результаты расчетно-аналитического анализа статистических и полученных прогнозных материалов положены в основу разработки научно обоснованных предложений по модернизации энергообеспечения и экономии энергоресурсов отрасли, т. е. цели исследований. Результат проделанной работы – существенное снижение энергетической составляющей себестоимости продукции – будет представлен в последующих публикациях.

Ключевые слова: модель прогноза объемов потребления, метод экспоненциального сглаживания с корректировкой прогноза с учетом тренда, метод проекции тренда.

Ил. 13. Библиогр.: 31 назв.

**FORECASTING OF PRODUCTION OUTPUT
FOR LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES WITH PURPOSE
TO DETERMINE THEIR POWER RESOURCES REQUIREMENTS**

Part 1

ROMANIUK V. N., MUSLINA D. B.

Belarusian National Technical University

The paper presents an interest for those specialists who are involved in solution of efficiency problems in light industry of Belarus as one of the significant industries that forms an economic situation in the Republic, its export potential and social climate. It is extremely relevant for the Belarusian enterprises to reduce production costs in order to preserve and strengthen positions in the light industry market. Operating capacities for production of natural, synthetic textile and knit-wear materials and their subsequent treatment are in many respects unjustifiably energy intensive. Nowadays the only acceptable solution of the problem for reduction of production costs is to decrease its energy component. Such approach requires transition to creation of modern heat and power supply systems at heat technology enterprises.

The most important sub-system of the enterprises is own combined production of energy flows of secondary electrical and heat energy, freeze. There is a complex of problems that arise during designing process of tri-generation unit. One of the most important problems presupposes determination of a base load demand and capacity of every energy flow generated by an energy source. The solution is directly related to production output, which in its turn is determined by the requirements of sales markets. Due to various reasons the markets have their own specificity for the enterprises under consideration. It is proposed to use statistical methods for searching requirements. In this connection it is necessary to take into account industry development rate (pre-determined by State Programs, Plans, Governmental solutions, including directive instructions), production volumes of competitive goods and actual goods situation on the sales market.

The paper presents the first part of the executed complex investigations which are directed on the development of scientifically-substantiated proposals for higher energy efficiency of the industry as a whole. It has become possible on the basis of the results obtained in the process of studying its power and heat engineering problems. The results of an analytical calculation analysis of statistical and obtained forecasting data are considered as a basis for the development of scientifically substantiated proposals for modernization of energy supply systems and power resource saving of the industry that fully corresponds to the investigation objective. The result of the executed investigations, that is a significant reduction of the energy component in the production costs will be presented in the follow-up publications.

Keywords: forecasting model for consumption volumes, exponential smoothing method for forecasting correction with due account of trend, trend projection method.

Fig. 13. Ref.: 31 titles.

Введение. Для проведения модернизации теплоэнергетической системы производств текстильного и трикотажного секторов предприятий легкой промышленности необходимо определить базовую мощность энергопотребления, прежде всего в отношении тепловой энергии, которая доминирует в структуре приходной части энергобаланса рассматриваемых предприятий и потребление которой определяется требованиями теплотехнологий текстильных и трикотажных производств. Очевидно, что ответ на этот определяющий вопрос связан в том числе со спросом на продукцию отрасли. Специфика спроса продукции легкой промышленности общеизвестна и в значительной мере носит квазислучайный характер, зависящий от установок индустрии, так называемой высокой моды. Формируемый ею спрос, с одной стороны, случаен, а с другой – не может не учитывать потребности производителей, спонсирующих высокую моду, что обрекает те же предприятия легпрома на перманентное отставание от тенденций моды. Для обоснованного ответа на вопрос определения сбыта продукции отрасли целесообразно прибегнуть к статистическим методам анализа прошлого для оценки вероятного будущего. В качестве примеров успешного использования такого пути можно упомянуть достаточно известные решения задач прогнозирования: «задача киоскера», «игры с природой» и прочие, решающие проблему соотношения объемов выпуска и сбыта продукции. Далее в статье сделана попытка найти решение поставленной проблемы применительно к объемам производства продукции легкой промышленно-

сти, требуемое для выбора базовой мощности энергообеспечения теплотехнологий.

Ситуация со сбытом, спросом и с производством. Перед руководящим звеном отрасли стоит задача планирования выпуска продукции в экономически оптимальных объемах. Принятые решения не отвечают требованиям экономики, что в итоге приводит к увеличению складских запасов [1]. Запасы готовой продукции в легкой промышленности на 01.11.2006 составили 240,5 млрд руб., или 124,5 % к среднемесячному объему производства – это самые худшие показатели среди всех отраслей хозяйственного комплекса страны [2]. В данный момент ситуация достигла критического положения: складские запасы по текстильной и швейной продукции на 01.05.2014 – 214 % к среднемесячному объему промышленного производства отрасли. Непосредственно для предприятий концерна «Беллегпром» ситуация еще хуже: складские запасы составляют 240 % месячного объема производства при нормативе 175 % [3].

Изложенная ситуация указывает на невозможность прямого использования объемов производства продукции, которое в данном случае при статистическом прогнозировании планирования ведет к некорректным результатам, не отвечающим требованиям экономики. Следует привлекать комплекс показателей, имеющийся в открытом доступе, что позволит рассчитывать на большую достоверность результата. В соответствующий комплекс можно включить объемы выручки по отрасли и объемы экспорта в натуральном и валютном эквивалентах. Необходимо также учитывать тренды товаро-

обмена между странами СНГ, внутренние тенденции, мировую статистику спроса и предложения на разные виды текстильной продукции. Кроме того, использовать программы и постановления правительства [4–14].

Удельный вес экспорта продукции легкой промышленности в объеме производства составляет 46,9 %, из которых на экспорт в страны СНГ приходится 86,1 %, оставшиеся 13,9 % – страны дальнего зарубежья [8, 15]. В 2011 г. экспорт концерна «Беллепром» составил 689,9 млн дол. За I квартал 2014 г. экспорт текстильных и швейных товаров упал на 6 % при положительном сальдо 86,7 млн дол. (рис. 1) [3].

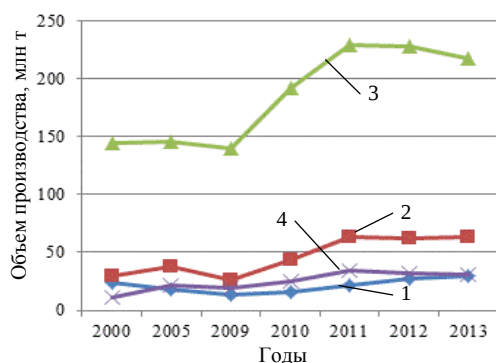


Рис. 1. Экспорт важнейших видов продукции (млн дол.) [15]:
1 – шерсть, пряжа, ткани; 2 – прочие растительные текстильные волокна; 3 – химические нити;
4 – трикотажные полотна машинного и ручного вязания

Тенденции спроса. Важно определиться с тенденциями применения новых материалов в отрасли. Ассортимент текстильных волокон сохраняется неизменным, становится другим соотношение между отдельными видами и группами волокон. В последние годы имеет место устойчивая тенденция резкого увеличения в общем балансе доли синтетических и полиэфирных волокон [16]. По данным статистических анализов, программ развития, планов производства товаров, в ближайшее десятилетие не стоит ожидать применения принципиально новых материалов [3, 4, 17–20].

На основе имеющихся документов и статистических данных, начиная с 1970 г. имеет место рост потребления основных видов сырья и материалов легкой промышленности (хлопок, шерсть, синтетика, целлюлозные материалы) по всем видам в совокупности при-

мерно в 2,5 раза. Текущее годовое потребление волокон в мире составляет порядка 70 млн т (рис. 2, 3).

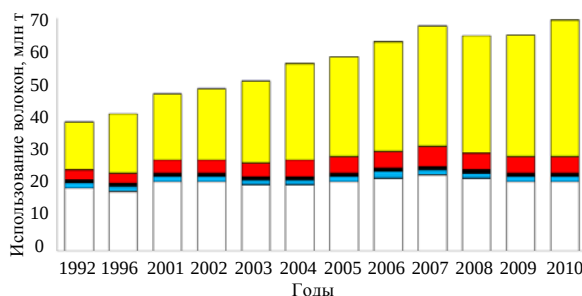


Рис. 2. Изменение мирового потребления волокна в текстильной промышленности с 1992 по 2010 г.:
□ – хлопок; ■ – шерсть; ■ – лен;
■ – целлюлозное волокно; ■ – синтетическое волокно

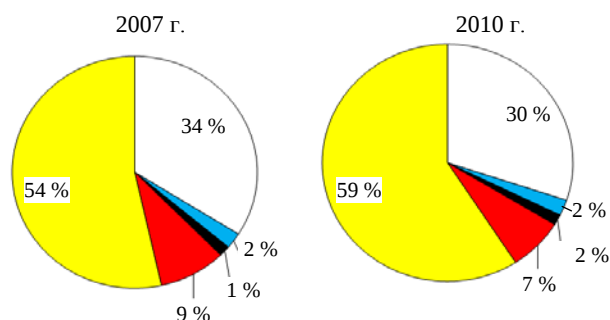


Рис. 3. Изменение мирового потребления волокна в текстильной промышленности с 2007 по 2010 г. [20] (обозначения на рис. 2)

Из рис. 2, 3 можно констатировать стабильность увеличения потребления натуральных волокон, темп роста которых за последние 40 лет колеблется в интервале 4–8 %. Спрос на синтетические волокна постоянно растет и характеризуется трехкратным увеличением за указанный период, что связано с бурным развитием химических и нефтехимических отраслей и удешевлением их продукции [21].

В части достоверности использования статистических данных важна информация в первую очередь в отношении хлопка как одного из основных сырьевых волокон. Интерес к нему, согласно данным Международного консультативного комитета по хлопку, не прекращается уже десятки лет, и в обозримой перспективе спрос на хлопок будет и дальше продолжать расти (рис. 4) [20–23].

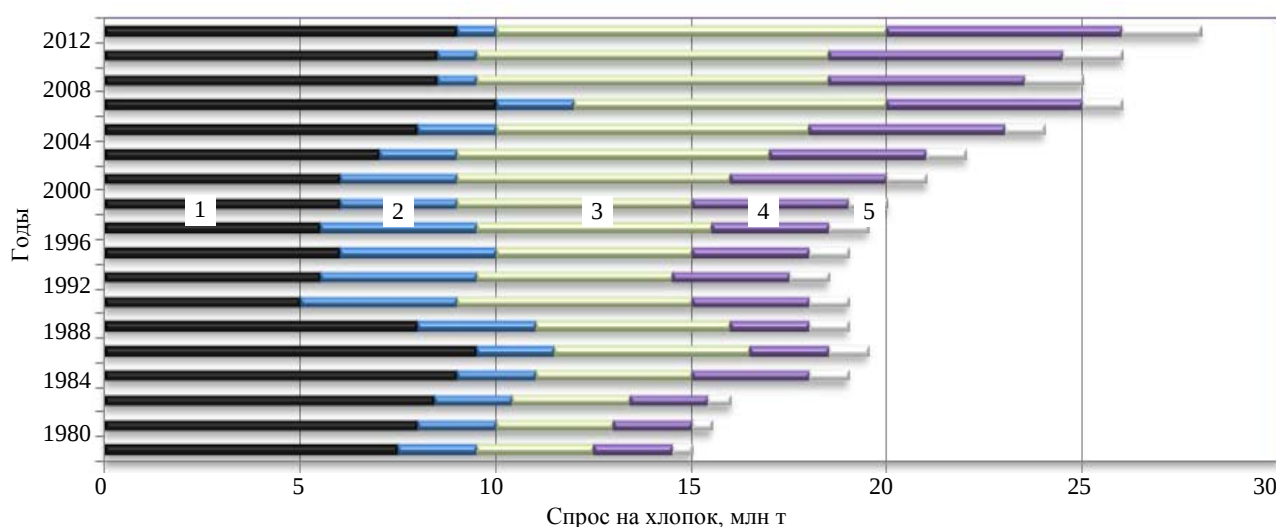


Рис. 4. Изменение мирового спроса на хлопок с 1980 по 2013 г. [22]:
1 – прочие страны; 2 – США; 3 – Китай; 4 – Индия; 5 – Бразилия

Аналогичные статистические данные Всемирной торговой организации (ВТО) и Европейской комиссии использованы также для прогнозирования спроса синтетических волокон (рис. 5) [20, 24, 25].

Приведенные показатели лежат в основе модели прогноза использования перечисленных материалов на ближайшие 5–10 лет, которая разработана на базе статистических методов. Последние при наличии большого объема данных оказываются более эффективными по сравнению с качественными и факторными методами, имеющими в основном субъективный характер. Главной предпосылкой статистических методик является предположение, что будущее – это продолжение прошлого. Одна из модификаций статистического метода – метод экспоненциального

сглаживания с корректировкой прогноза с учетом тренда. Другой, тоже довольно часто применяемой методикой является проекция тренда.

Описание используемых методов. Метод экспоненциального сглаживания с корректировкой прогноза с учетом тренда (в дальнейшем его будем называть первым) является вариантом методики расчета скользящих средних, когда результаты прошлых наблюдений имеют меньший вес, чем результаты новых и более свежих. Для ранжирования различных данных используются весовые коэффициенты, схема распределения которых может быть задана простыми уравнениями, где прогноз на будущий период составляется на основе прогноза предыдущего периода и фактических продаж в текущем периоде с учетом тренда.

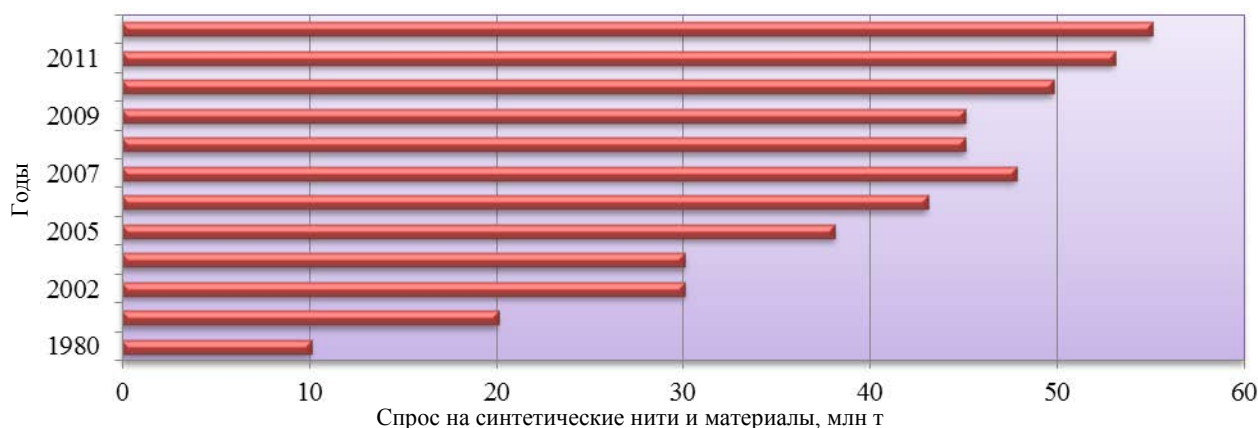


Рис. 5. Изменение мирового спроса на синтетические нити и материалы с 1980 по 2011 г. [20, 21]

Достоинства метода – в использовании минимального количества исходных данных при достижении высокой точности относительно простой адаптации под конкретные прикладные задачи прогнозирования [26–29]. Для описания прогнозируемого спроса метод предлагает соотношения [27]:

$$S_t = \alpha A_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}); \quad (1)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}; \quad (2)$$

$$F_{t+1} = S_t + T_t, \quad (3)$$

где S_t – начальный прогноз в период t ; T_t – тренд в период t ; F_{t+1} – прогноз спроса на период $t + 1$ с учетом тренда; α – константа сглаживания; β – сглаживающая постоянная для тренда; A_t – текущий спрос в период t .

Выбор значения сглаживающей константы α в (1) основывается на оценочных суждениях: чем выше значение α , тем большее влияние на прогноз оказывают последние данные по фактическим продажам. Неоправданно высокий уровень α без учета основной тенденции развития делает модель слишком «нервной», чрезмерно реагирующей на любое случайное колебание спроса. Значения константы α находятся в интервале от 0 до 1. Более высокие значения α используются, если имеют место резкие изменения на рынке, что фиксируется в рассматриваемом случае. Аналогичная методика применяется для подбора сглаживающей постоянной для тренда β . Сглаживающие постоянные подбирались исходя из достижения наименьшей суммы квадратов отклонений.

Метод проекции тренда (в дальнейшем назовем его вторым) позволяет выявить тренд с помощью математического уравнения и затем экстраполировать его в будущее. Аппроксимирующие соотношения могут использовать уравнения полиномиальных, логарифмических, степенных, экспоненциальных, линейных и прочих зависимостей, сплайновую и кусочную аппроксимацию. Выбор вида соотношений определяется опытом и характером текущего спроса. Применение двух методов связано с необходимостью получения более гибкой модели в соответствии с непростым характером прошлого спроса.

Модели прогноза потребления волокон в мире. При разработке моделей спроса хлопка использованы данные существующего спроса с 2004 по 2013 г. В варианте первого метода получения модели в качестве исходных значений принимали: $S_0 = 25,75$ млн т (прогноз предыдущего периода рассчитывали как средний уровень спроса за рассматриваемый период); $T_0 = 0$ (тренд отсутствует). Сглаживающие постоянные: $\alpha = 0,7$; $\beta = 0,5$. Итоги прогноза мирового потребления хлопковых волокон до 2020 г. по зависимостям (1)–(3) с учетом тренда приведены на рис. 6.

По второму методу получена экспоненциальная кривая F_t мирового потребления хлопковых волокон

$$F_t = 24,2te^{0,0112t}, \quad (4)$$

где t – год прогноза: от одного года до семи лет в период 2014–2020 гг.

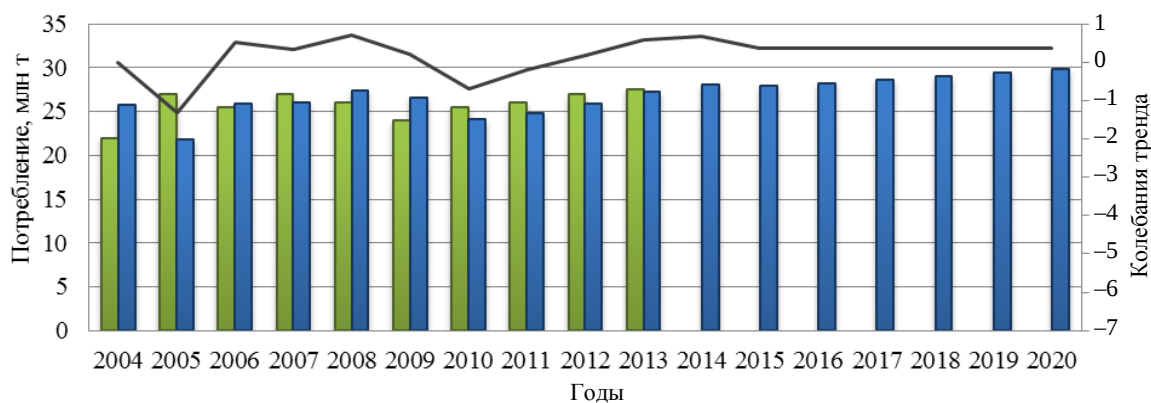


Рис. 6. Прогноз мирового спроса на хлопок (2004–2020 гг., первая модель):

■ – существующий спрос; ■ – прогноз спроса; — – тренд

Результаты расчета по зависимости (4) для модели мирового потребления, полученной методом проекции тренда для хлопковых волокон до 2020 г., приведены на рис. 7.

Обе модели определяют рост потребления: по первой потребление в 2020 г. составит 29,7 млн т, по второй – 29,0 млн т в год. По отношению к 2011 г. рост находится в пределах 10–12 %. Ежегодный прирост составит 1,4–1,7 %.

Среднеквадратичную ошибку прогноза определяли известным соотношением [26]

$$S_E = \sqrt{\frac{\sum (A_i - F_i)^2}{N-1}}, \quad (5)$$

где S_E – средняя ошибка прогнозирования; A_i – фактический спрос в период i ; F_i – прогноз на период i ; N – размер временного ряда.

По первому варианту средняя квадратичная ошибка модели – 1,5 млн т. Для интервала 95%-й вероятности ошибка прогноза на 2020 г. составит: $1,96 \cdot 1,5 = 2,9$ млн т. По второму варианту средняя квадратичная ошибка модели – 1,0 млн т. С 95%-й вероятностью средняя

ошибка прогноза на 2020 г. составит 2,0 млн т. На основании приведенных оценок вторая модель оказывается более приемлемой.

С помощью подобных алгоритмов получены модели прогноза потребления синтетических волокон (рис. 8, 9). Аппроксимирующая зависимость по второй модели имеет вид

$$F_t = -0,00040t^4 + 0,010t^3 + 0,013t^2 + 1,9t + 31. \quad (6)$$

В 2020 г. значение мирового потребления синтетических волокон составит 77–79 млн т. По отношению к 2011 г. – увеличение на 50 %, ежегодный прирост – на 5,6 % по отношению к потреблению 2011 г. Средняя ошибка прогнозирования в границах доверительного интервала (95 %) на 2020 г. составляет 4,9 млн т по обеим моделям.

Полученные модели необходимы для прогнозирования экспортного спроса на продукцию легкой промышленности Беларуси, поскольку мировые тенденции моды с процессом глобализации привели к единым фасонам, моделям, материалам.

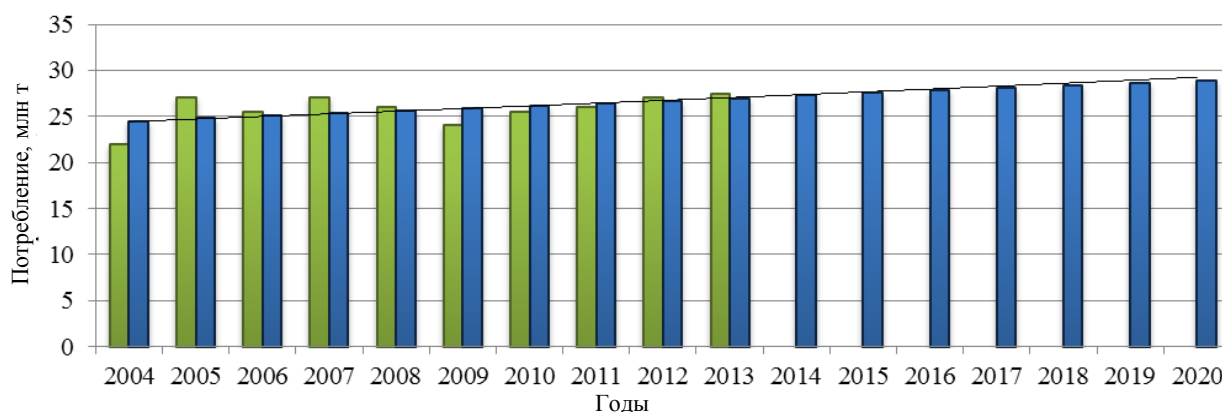


Рис. 7. Прогноз мирового спроса на хлопок (2004–2020 гг., вторая модель, обозначения на рис. 6)

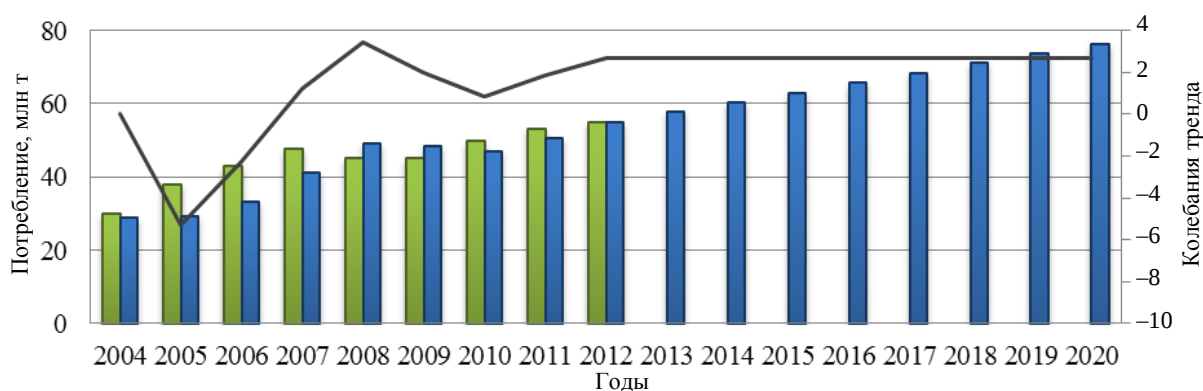


Рис. 8. Прогноз мирового спроса на синтетические волокна (2004–2020 гг., первая модель, обозначения на рис. 6)

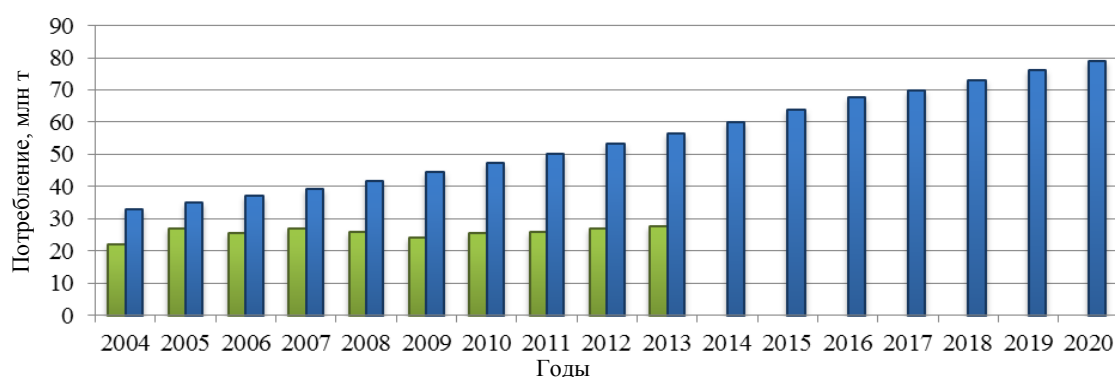


Рис. 9. Прогноз мирового спроса на синтетические волокна (2004–2020 гг., вторая модель):

■ – существующий спрос; ■ – прогноз спроса

Прогноз спроса на продукцию предприятий Беларуси. Разработка модели на первом этапе, проведенная на основании данных объемов производства за период после 2007 г., показала хорошее совпадение ее с моделью прогноза концерна «Беллепром» (рис. 10).

В 2017 г. объем экспорта товаров по прогнозам концерна должен возрасти на 37 %, по прогнозам полученной модели – на 40 %.

Совпадение результатов моделей концерна и прогнозируемой позволяет в дальнейших расчетах использовать данные по структуре объемов производств по видам продукции согласно комплексной программе развития легкой промышленности Республики Беларусь на 2011–2015 гг. с перспективой до 2020 г. (рис. 11, 12) [4].

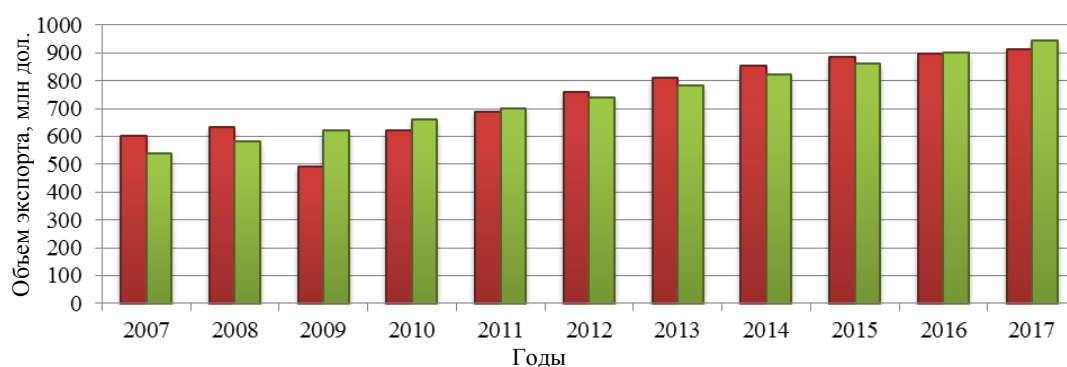


Рис. 10. Прогноз экспорта текстильных материалов и изделий (2007–2017 гг.):

■ – по данным концерна «Беллепром»; ■ – прогноз спроса

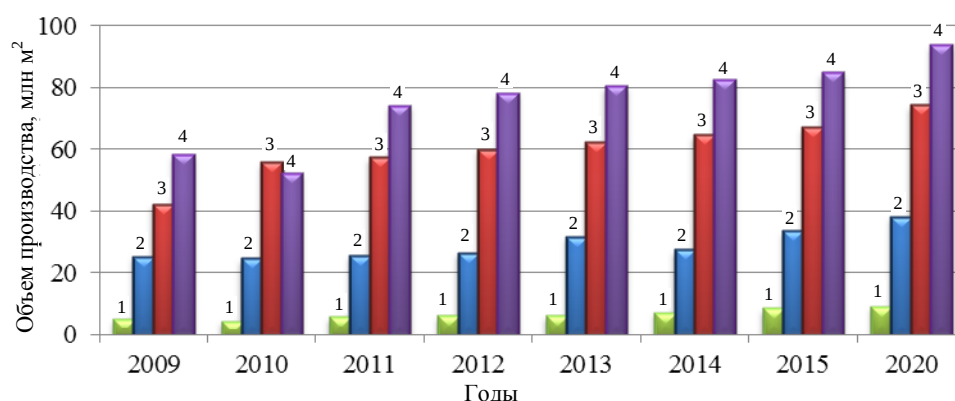


Рис. 11. Прогноз объемов производства концерном «Беллепром» текстильных материалов и изделий по видам волокон с целью экспорта (2009–2020 гг.):

1 – ткани шерстяные; 2 – льняные; 3 – шелковые; 4 – хлопчатобумажные

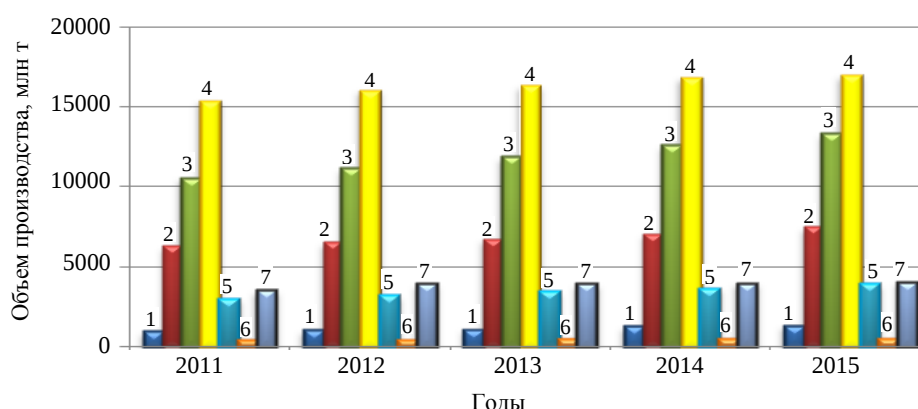


Рис. 12. Объемы производства синтетических волокон и материалов концерном «Беллепром»:
1, 2 – вискозное и полиэфирное волокно; 3 – полиэфирные текстильные нити; 4 – полиакрилонитрильное волокно;
5–7 – полиэфирные технические, вискозные текстильные, полиамидные нити

Сегодня имеет место тот факт, что в условиях Беларуси ориентация на данные по выпуску продукции при разработке модели прогнозирования требует коррекции из-за значительных отличий фактических экспорта и производства. Ориентироваться необходимо по модели, разработанной для прогнозирования экспорта продукции легкой промышленности. Доля продукции концерна в экспорте продукции, получаемой на базе текстильных и трикотажных материалов и изделий (по данным Белстата), не превышает 62 %. Это позволяет оценить прогноз экспорта на базе статистических данных приведенного источника (модель получена вторым методом с использованием кусочной аппроксимации многочленами и степенными зависимостями) по экспорту отрасли легкой промышленности без кожевенно-обувной продукции (рис. 13). Для периода 2009–2016 гг. включительно используется зависимость

$$F_t = 11,6t^3 - 180,6t^2 + 884,3t + 429,6,$$

где t – год прогноза (от одного года до восьми лет в период 2017–2020 гг.).

С 2016 до 2020 г. соотношение будет следующим:

$$F_t = 1587te^{0,10095},$$

где t – год прогноза: от восьми до 11 лет в период 2017–2020 гг.

До 2015 г. имел место спад экспорта до 2 % к уровню 2011-го (на величину до 36 млн дол.). Сейчас ожидается подъем, и к 2020 г. экспорт составит порядка 2,1 млрд дол., рост – до 14 % (270 млн дол.) к 2011 г. Приведенная модель с 95%-й вероятностью имеет среднюю ошибку прогноза на 2020 г.: 51 млн дол., что составляет 2,5 % экспорта 2011 г. Прогноз концерна «Беллепром» по увеличению выпуска на 37 % уменьшен не более чем на 14 %.

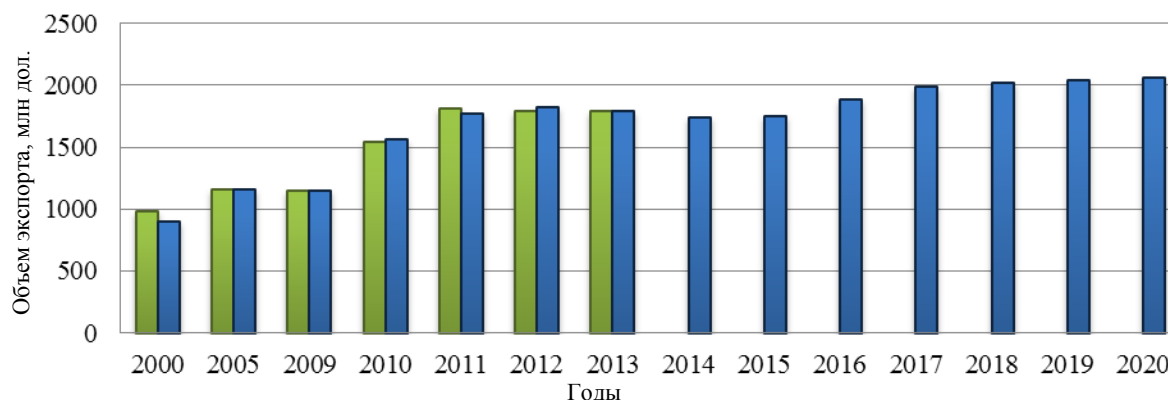


Рис. 13. Прогноз экспорта по текстильным и трикотажным материалам и изделиям и по данным полученной модели до 2020 г.: ■ – существующий спрос; ■ – прогноз спроса

Полученное значение прироста экспорта может быть использовано для оценки возможного прироста продукции и, следовательно, определения энергопотребления с учетом коррекции на снижение энергоемкости технологий и применения энергосберегающих подходов на базе методики интенсивного энергосбережения [30]. Это дает возможность выбора базовой мощности энергогенерирующих собственных источников современных теплоэнергетических систем теплотехнологий, которые в варианте построения энергетически идеального предприятия должны потреблять электроэнергию, произведенную когенерационными установками, использующими тепловое потребление соответствующих предприятий [31].

ВЫВОДЫ

1. Определены методы статистического прогнозирования – метод экспоненциального сглаживания с корректировкой прогноза с учетом тренда и метод проекции тренда – как наиболее адекватные (среднеквадратичная ошибка с 95%-й вероятностью минимальна) и объективные.

2. Выявлено, что модель прогноза объемов производства отрасли экономически целесообразно строить на базе показателей объемов выручки и экспорта продукции. Принятые в отрасли прогнозы, основанные на базе показателей объемов производства продукции, приведут к дальнейшему росту складских запасов.

3. Разработанный прогноз на базе выбранных методов и алгоритмов статистического предсказания спроса, а также анализа данных по экспорту трикотажных и текстильных материалов убедительно показывает целесообразность ограничения роста объемов производства значением в 14 % (вместо запланированных 37 %).

4. Предлагаемые методики, алгоритмы построения моделей и сами модели рекомендуются использовать в дальнейшем для решения задач прогнозирования сбыта и соответственно энергопотребления каждого отдельного предприятия отрасли легкой промышленности Беларуси. Это необходимо при разработке проектов модернизации систем энергообеспечения, в которой отрасль остро нуждается для снижения

энергетической составляющей себестоимости. Данное направление принципиально важное и инновационное на пути повышения конкурентоспособности продукции предприятий отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Отчет** Правительства, Национального банка о работе экономики за 2014 г. и прогнозе на 2015 г. [Электронный ресурс] // Президент Республики Беларусь. Официальный интернет-портал Президента Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: http://www.president.gov.by/ru/news_ru/view/otchet-pravitelstva-natsionalnogo-banka-o-rabote-ekonomiki-za-2014-god-i-prognoze-na-2015-god-10158/. – Дата доступа: 20.03.2015.
2. **Легкая** промышленность работает на склад [Электронный ресурс] // Naviny.by Экономика. – Режим доступа: http://naviny.by/rubrics/economic/2006/11/20/ic_news_113_262386/. – Дата доступа: 12.02.2015.
3. **Легина, П.** Ушла на склад [Электронный ресурс] / П. Легина // Белорусы и рынок. – 2014. – № 23 (1106), 9–15 июня. – Режим доступа: <http://www.belmarket.by/ru/278/70/22443/Ушла-на-склад.htm/>. – Дата доступа: 23.03.2015.
4. **Комплексная** программа развития легкой промышленности Республики Беларусь на 2011–2015 гг. с перспективой до 2020 г. [Электронный ресурс] // Беллегпром. – Режим доступа: <http://www.bellegprom.by/programs>. – Дата доступа: 02.10.2013.
5. **О комплексном** бизнес-плане развития льняной отрасли Республики Беларусь в 2013–2015 гг.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 20 марта 2013 г., № 201 // Национальный правовой интернет-портал Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=12551&p0=C21300201&p1=1>. – Дата доступа: 26.03.2015.
6. **Программа** деятельности Правительства Республики Беларусь на 2011–2015 гг.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 18 февраля 2011 г., № 216 [Электронный ресурс] // Национальный правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=C21100216&p2=%7BNRPA%7D>. – Дата доступа: 06.05.2014.
7. **Программа** развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 г.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 5 июля 2012 г., № 622 [Электронный ресурс] // Министерство экономики Респ. Беларусь. – Режим доступа: http://www.economy.gov.by/nfiles/001146_12850_Programma.pdf. – Дата доступа: 06.05.2014.
8. **О государственном** прогнозировании и программах социально-экономического развития Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 157-3 // Ведомости Нац. сходу Рэсп. Беларусь. – 1998. – № 20. – Ст. 222.
9. **Программа** социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг.: Указ Президента Респ. Беларусь от 11 апреля 2011 г. № 136 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 43. – 1/12462.
10. **Программа** деятельности Правительства Республики Беларусь на 2011–2015 годы: постановление Совета

Министров Респ. Беларусь, 18 февраля 2011 г., № 216 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 29. – 5/33370.

11. **Национальная** программа развития экспорта Республики Беларусь на 2011–2015 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23 мая 2011 г., № 656 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 60. – 5/33840.

12. **Республиканская** программа энергосбережения на 2011–2015 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 декабря 2010 г., № 1882: с изм. и доп. от 23 декабря 2013 г., № 1115 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 1. – 5/33067.

13. **Национальная** стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь; редкол.: Л. М. Александрович. – Минск: Юнипак, 2004. – 202 с.

14. **Отраслевая** стратегия действий концерна «Беллегпром» в условиях ЕЭП на период до 2017 года: разработана в соответствии с поручением Совета Министров Респ. Беларусь, 10 мая 2012 г., № 07/500-197 [Электронный ресурс] // Беллегпром. – Режим доступа: http://www.bellegprom.by/docs/otraslevaya_strategiya.pdf. – Дата доступа: 06.05.2014.

15. **Зиновский, В. И.** Внешняя торговля Республики Беларусь, 2014 [Электронный ресурс] / В. И. Зиновский // Статистический сборник. Национальный статистический комитет Респ. Беларусь. – Режим доступа: http://belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasli-statistiki/torgovlya/vneshnyaya-torgovlya_2/ofitsialnye-publikatsii_12/index_529/. – Дата доступа: 20.03.2015.

16. **Schonberger, H.** Best Available Techniques in Textile Industry [Electronic resource] / H. Schonberger, T. Schaffer // Berlin: Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt). – Mode of Access: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/best-available-techniques-in-textile-industry>. – Date of Access: 05.06.2014.

17. **Textiles and Clothing Industry** [Electronic resource] // European Commission – 2009. – Mode of Access: <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/statistics/indexen.htm>. – Date of Access: 26.10.2013.

18. **Johnson, A.** The Theory of Coloration of Textiles / A. Johnson. – 2nd ed. – Bradford: Society of Dyers and Colourists, 1989. – 552 p.

19. **Кричевский, Г. Е.** Диффузия и сорбция в процессах крашения и печатания / Г. Е. Кричевский. – М.: Легкая индустрия, 1981. – 208 с.

20. **Wang, Jung-Der.** Global Trends in the Textile Industry [Electronic resource] / Jung-Der Wang // ILO Encyclopedia of Occupational Health and Safety. – 2011. – Mode of Access: <http://www.ilo.org/oshenc/part-xiv/textile-goods-industry/item/878-global-trends-in-the-textile-industry>. – Date of Access: 26.02.2014.

21. **World Apparel Fiber Consumption Survey July 2013** [Electronic resource] // International Cotton Advisory Committee. – Mode of Access: https://www.icac.org/cotton_info/publications/statistics/world-apparel-survey/FAO-ICAC-Survey-2013-Update-and-2011-Text.pdf. – Date of Access: 06.01.2014.

22. **Cotton Market** [Electronic resource] // UNCTAD – 2013. – Mode of Access: <http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/cotton/market.htm>. – Date of Access: 26.06.2014.

23. **Обзор** рынка тканей хлопчатобумажных [Электронный ресурс] // Export.by. Портал информационной поддержки экспорта. – Режим доступа: http://export.by/?act=s_docs&mode=view&id=26538&type=&doc=64. – Дата доступа: 06.05.2014.

24. **Hong Kong Wto Ministerial 2005: Briefing Notes.** Textiles and Clothing Statistics [Electronic Resource] // World Trade Organization. – Mode of Access: http://www.wto.org/english/thewto_e/minist_e/min05_e/brief_e/brief23_e.htm. – Date of Access: 20.03.2014.

25. **Statistics on Textiles and Clothing statistics** [Electronic Resource] // European Commission. – Mode of Access: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/files/statistics/textiles_en.pdf. – Date of Access: 06.03.2014.

26. **Прогнозирование** спроса [Электронный ресурс] // Pandiaweb.ru Энциклопедия знания. – Режим доступа: <http://www.pandia.ru/text/77/203/78610.php>. – Дата доступа: 27.03.2015.

27. **Голубков, Е. П.** Маркетинговые исследования: теория, методология и практика / Е. П. Голубков. – М.: Финпресс, 1998. – 416 с.

28. **Hull, J.** Optionen, Futures und Andere Derivate / J. Hull. – 6th ed. – München [u. a.]: Pearson Studium, 2007. – 946 p.

29. **Hull, J.** Einführung in Futures- und Optionsmärkte / J. Hull. – 3th ed. – München, Wien: Oldenbourg, 2001. – 677 p.

30. **Ключников, А. Д.** Интенсивное энергосбережение: предпосылки, методы, следствия / А. Д. Ключников // Теплоэнергетика. – 2000. – № 11. – С. 12–16.

31. **Шински, Ф.** Управление процессами по критерию экономии энергии / Ф. Шински. – М.: Мир, 1981. – 388 с.

REFERENCES

1. **Report** of Government, National Bank on Economic Activity in 2014 and Forecasting for 2015. *President of the Republic of Belarus. Official Internet Portal of President of the Republic of Belarus.* Available at: http://www.president.gov.by/ru/news_ru/view/otchet-pravitelstva-natsionalnogo-banka-o-rabote-ekonomiki-za-2014-god-i-prognoze-na-2015-god10158/. (Accessed: 20 March 2015).

2. **Light Industry is Producing to Stock.** *Naviny.by. Economics.* Available at: http://naviny.by/rubrics/economic/2006/11/20/ic_news_113_262386/. (Accessed: 12 February 2015).

3. **Legina, P.** (2014) Away for Stocking. *Belarusy i Rynok* [Belarusians and Market], 23 (1106), June 9–15, Available at: <http://www.belmarket.by/ru/278/70/22443/Ushla-na-sklad.htm/>. (Accessed: 23 March 2015).

4. **Complex Programme on Development of Light Industry in the Republic of Belarus for 2011–2015 with Prospects Till 2020** *Bellegprom.* Available at: <http://www.bellegprom.by/programs>. (Accessed: 2 October 2013).

5. **On complex Business Plan for Development of Linen Industry in the Republic of Belarus for 2013–2015: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, March 20, 2013, No 201.** *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus.* Available at: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=12551&p0=C21300201&p1=1>. (Accessed: 26 March 2015).

6. **Activity Programme of the Government of the Republic of Belarus for 2011–2015: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, February 18, 2011,**

No 216. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=C21100216&p2=%7BNRPA%7D>. (Accessed: 6 May 2014).

7. **Programme** for Development of Industrial Complex of the Republic of Belarus for the Period up to 2020. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, July 5, 2012, No 622. *Ministry of Economics of the Republic of Belarus*. Available at: http://www.economy.gov.by/nfiles/001146_12850_Programma.pdf. (Accessed: 6 May 2014).

8. **On State** Forecasting and Programmes for Social and Economic Development of the Republic of Belarus: Law of the Republic of Belarus Dated May 5, 1998. No 157-3. *Vedamasti Natsionalnogo Skhodu Respubliki Belarus* [Bulletin of National Assembly of the Republic of Belarus], 1998, 20, Article 222 (in Russian).

9. **Programme** for Social and Economic Development of the Republic of Belarus for 2011–2015: Decree of the President of the Republic of Belarus dated April 11, 2011, No 136. *Natsional'nyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2011, 43, 1/12462 (in Russian).

10. **Activity** Programme of the Government of the Republic of Belarus for 2011–2015: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, February 18, 2011, No 216. *Natsional'nyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2011, 29, 5/33370 (in Russian).

11. **National** Programme for Development of Export in the Republic of Belarus for 2011–2015: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, dated May 23, 2011, No 656. *Natsional'nyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2011, 60, 5/33840 (in Russian).

12. **Republican** Programme on Power Saving for 2011–2015: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated December 24, 2010, No 1882: as Amended and Supplemented dated December 23, 2013, No 1115. *Natsional'nyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2011, 1, 5/33067 (in Russian).

13. **Alexandrovich, L. M.** (2004) *National Strategy for Sustainable Social and Economic Development of the Republic of Belarus for the Period till 2020*. Minsk, Publishing House Unipak. 202 p. (in Russian).

14. **Sectoral** Strategy of “Bellegprom” Concern Activity Under Conditions of Common Free Market Zone (CFMZ) for the Period till 2017: the Strategy Has Been Developed in Accordance with the Assignments of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, May 10, 2012, No 07/500-197. *Bellegprom*. Available at: http://www.bellegprom.by/docs/otraslevaya_strategiya.pdf. (Accessed: 6 May 2014).

15. **Zinovskiy, V. I.** (2014) *Foreign Trade of the Republic of Belarus, 2014. Statistical Book. National Statistical Committee of the Republic of Belarus*. Available at: <http://belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasli-statistiki/torgovlya/vneshnya>

[ya-torgovlya_2/ofitsialnye-publikatsii_12/index_529/](http://belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasli-statistiki/torgovlya/vneshnya). (Accessed: 20 March 2015).

16. **Schonberger, H., & Schafer, T.** Best Available Techniques in Textile Industry. Berlin: Federal Environmental Agency. Available at: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/best-available-techniques-in-textile-industry>. (Accessed: 5 June 2014).

17. **Textiles** and Clothing Industry. *European Commission*. Available at: <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/statistics/indexen.htm>. (Accessed: 26 October 2013).

18. **Johnson, A.** (1989) *The Theory of Coloration of Textiles*. 2nd ed. Bradford, Society of Dyers and Colourists. 552 p.

19. **Krichevsky, G. E.** (1981) *Diffusion and Sorption in the Process of Dyeing and Printing*. Moscow, Liogkaya Industriya. 208 p. (in Russian).

20. **Wang, Jung-Der.** (2011) Global Trends in the Textile Industry. *ILO Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Available at: <http://www.ilo.org/oshenc/part-xiv/textile-goods-industry/item/878-global-trends-in-the-textile-industry>. (Accessed: 26 February 2014).

21. **World** Apparel Fiber Consumption Survey July 2013. *International Cotton Advisory Committee*. Available at: https://www.icac.org/cotton_info/publications/statistics/world-apparel-survey/FAO-ICAC-Survey-2013-Update-and-2011-Text.pdf. (Accessed: 6 January 2014).

22. **Cotton** Market. *UNCTAD*. Available at: <http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/cotton/market.htm>. (Accessed: 26 June 2014).

23. **Review** of Cotton Fabric Market *Export.by Export Information Support Portal*. Available at: http://export.by/?act=s_docs&mode=view&id=26538&type=&doc=64. (Accessed: 6 May 2014).

24. **Hong Kong** Wto Ministerial 2005: Briefing Notes. Textiles and Clothing Statistics. *World Trade Organization*. Available at: http://www.wto.org/english/thewto_e/minist_e/min05_e/brief_e/brief23_e.htm. (Accessed: 20 March 2014).

25. **Statistics** on Textiles and Clothing Statistics. *European Commission*. Available at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/files/statistics/textiles_en.pdf. (Accessed: 6 March 2014).

26. **Forecasting** of Demand. *Pandiaweb.ru Encyclopedia of Knowledge*. Available at: <http://www.pandia.ru/text/77/203/78610.php>. (Accessed: 27 March 2015).

27. **Golubkov, E. P.** (1998) *Marketing Research: Theory, Methodology and Practice*. Moscow, Finpress. 416 p. (in Russian).

28. **Hull, J.** (2007) *Optionen, Futures und Andere Derivate*. 6th ed. München, Pearson Studium. 946 p.

29. **Hull, J.** (2001) *Einführung in Futures- und Optionsmärkte*. 3rd Edition. München, Wien: Oldenbourg. 677 p.

30. **Kliouchnikov, A. D.** (2000) Intensive Power Saving: Prerequisites, Methods, Consequences. *Teploenergetika* [Heat-Power Engineering], 11, 12–16 (in Russian).

31. **Shinsky, F.** (1981) *Control Over Processes on Energy Saving Criterion*. Moscow, Publishing House “Mir”. 388 p.

Поступила 30.03.2015

КОНКУРЕНЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ РЫНКА

Канд. экон. наук, доц. КАЖУРО Н. Я.

Белорусский государственный университет

E-mail: 01nick10@mail.ru

Показана сущность конкуренции как объективной закономерности развития товарного производства, основанного на частной собственности на средства производства, и товарного обмена. Показывается экономическая основа рыночной экономики (частная собственность), которая порождает соответствующую цель производства. Такой целью являются максимизация прибыли и минимизация затрат субъектов рынка. Поэтому борьба за наиболее выгодные условия производства и сбыта товаров в таких условиях неизбежна, она выступает на поверхности общества с развитой рыночной экономикой как конкуренция.

Конкуренция рассматривается не в качестве экзогенного фактора, воздействующего на рыночную экономическую систему извне, а как объективное явление, присущее рыночной системе хозяйствования как таковой, что обусловлено экономической обособленностью отдельных товаропроизводителей. Будучи важным двигателем рыночной экономики, конкуренция не устанавливает ее законы, а выступает лишь в роли «исполнителя» данных, внутренне присущих товарному производству законов и, прежде всего, закона максимизации прибыли, который определяет цель и движущий мотив хозяйствующих субъектов в экономике.

В условиях рыночной экономики конкуренция играет противоречивую роль. С одной стороны, она заставляет производителей постоянно стремиться к снижению затрат ради увеличения прибыли. В результате этого повышается производительность труда, снижаются издержки производства, и компания получает возможность уменьшить розничные цены на свою продукцию. Следовательно, повышая эффективность производства, конкуренция выступает потенциальным фактором понижения цен. С другой стороны, в условиях несовершенной конкуренции продавцы имеют больше свободы в назначении цен, так как продают свою продукцию в условиях монополистической конкуренции или олигополии. В этом главная слабость рыночной системы хозяйства.

Ключевые слова: конкуренция, совершенная конкуренция, несовершенная конкуренция, монополия, монопольная власть, внутриотраслевая конкуренция, межотраслевая конкуренция, недобросовестная конкуренция.

Библиогр. 13 назв.

COMPETITION AS MARKET MECHANISM

KAZHURO N. Ya.

Belarusian State University

The essence of a competition as an objective law for development of the commodities production based on private ownership of the means of production and commodity exchange has been revealed in the paper. The paper presents an economic basis of market economy (private ownership) which generates a corresponding production objective. Such purpose is a maximization of profit and a minimization of market subject expenses. Therefore, a struggle for the most favourable conditions on commodity production and sales is inevitable in such situation. The struggle is considered in the community with developed market economy as a competition.

The competition is regarded not as an exogenic factor exerting its influence on market economic system from the outside, but as an objective phenomenon which is inherent to management market system in itself. Such treatment is substantiated by economic disintegration of individual commodity producers. Being an important engine of market economy, the competition does not establish its laws, and its role is to be an executive of data which are internally inherent in commodity production laws and firstly it concerns a profit maximization law which defines a purpose and guiding motif of economic entities in the given economy.

The competition plays a contradictory role under conditions of market economy. On the one hand, it makes manufacturers constantly to aspire to expense reduction for the sake of profit increase. This has resulted in labour productivity increase, production cost decrease and a company receives an opportunity to reduce retail price for its products. Consequently, the competition acts as a potential factor for lowering of prices while increasing production efficiency. On the other hand, sellers have more freedom in price fixing under conditions of imperfect competition as they sell their products under the conditions of a monopolistic competition or an oligopoly. This is the main weakest point of the market economy system.

Keywords: competition, perfect competition, imperfect competition, monopoly, monopoly power, intra-branch competition, inter-branch competition, unfair competition.

Ref.: 13 titles.

В условиях рыночной экономики каждая фирма стремится к максимизации прибыли и расширению масштабов своей экономической деятельности. Поэтому производители выступают по отношению друг к другу не как заинтересованные в успехе один другого партнеры, а как конкуренты, интересы которых являются противоположными (каждый хотел бы вытеснить с рынка своего соперника).

Конкуренция в переводе с латинского означает «сходиться», «сталкиваться», «состязаться» (лат. *conspicere* – сталкиваться). Это свойственная товарному производству, основанному на частной собственности на средства производства, антагонистическая борьба между частными товаропроизводителями за наиболее выгодные условия производства и сбыта товаров. Конкуренция одновременно выступает в качестве механизма стихийного регулирования пропорций общественного производства. При капитализме она означает борьбу между капиталистами за получение наивысшей прибыли. В силу этого конкуренция выступает как внешняя принудительная сила, заставляющая частных товаропроизводителей повышать производительность труда на своих предприятиях, расширять производство, увеличивать накопления и т. д. Ее результатом является вытеснение мелкого производства крупным, расслоение мелких товаропроизводителей, разорение одних и обогащение других.

Конкуренция – это не что-то привнесенное извне в производственный процесс рыночной экономики, а объективная закономерность капиталистического товарного производства (хотя как экономическое явление возникла раньше формирования рыночной экономики), ибо каждое предприятие экономически обособлено в силу господства частной собственности на средства производства. Частные интересы предпринимателей, их стремление получить максимальную прибыль (что является основным движущим мотивом товарного производства в условиях рынка) неизбежно обуславливают ожесточенную конкурентную борьбу между ними. «...Конкуренция есть не что иное, как такой способ ведения промышленности, когда она управляется отдельными частными собственниками, то частная собственность неотделима от индивидуального ведения про-

мышленности и от конкуренции» [1, с. 330]. Будучи важным двигателем рыночной экономики, конкуренция не устанавливает ее законы, а выступает лишь в роли «исполнителя» (следствия) данных, внутренне присущих товарному производству законов (прежде всего, закона максимизации прибыли). Эти законы проявляются здесь в единственной форме «...общественной связи в обмене и действуют на отдельных производителей, как принудительные законы конкуренции» [2, с. 283].

Конкуренция неразрывно связана с характером товарного производства в условиях частной собственности и является формой действия экономических законов рыночной экономики [3, с. 46]. Наличие острой конкурентной борьбы свидетельствует о противоположности экономических интересов противостоящих друг другу частных предпринимателей и различных групп капиталистов. Кроме того, интересы частных производителей и общества также далеки от совпадения. На это указывал еще А. Смит, хотя он и считал, что общество не всегда страдает от этого, ибо, преследуя свои собственные интересы, производитель, по его мнению, часто более действенным образом служит интересам общества, чем в том случае, когда он сознательно стремится им служить.

Рынок направляет ресурсы на производство лишь пользующихся спросом товаров. В этом смысле рыночная экономика в известной мере есть саморегулирующаяся система, которая способна эффективно функционировать без прямого вмешательства государства, на что и делают акцент идеологи экономического либерализма. «В определенных условиях конкуренция приведет к распределению ресурсов, которое обеспечивает такое по объему и структуре производство товаров, которое обеспечил бы только некий идеализированный Центр, в точности знающий все то, что знают только все люди в своей совокупности, и способный использовать это знание самым эффективным образом» [4, с. 159].

Зарождение и развитие конкуренции исторически относится еще к простому товарному производству. Каждый мелкий производитель стремится в процессе конкуренции создать для себя наиболее выгодные условия производства и сбыта товаров в ущерб остальным участни-

кам рыночного обмена. В генезисе капитализма (гр. genesis – происхождение, возникновение) важны два момента:

а) превращение натурального хозяйства непосредственных производителей в товарное, что обусловлено появлением и развитием общественного разделения труда;

б) превращение товарного хозяйства в капиталистическое, что связано с возникновением и развитием конкурентной борьбы между отдельными товаропроизводителями.

По мере усиления зависимости мелких товаропроизводителей от рыночных колебаний цен на производимые ими товары конкурентная борьба усиливается. Сосредоточение денег в руках немногих (у кого выше производительность труда) и использование их в качестве капитала значительно ускорили развитие буржуазных производственных отношений, а также разделение общества на два противостоящих класса – рабочих и капиталистов.

Конкуренция сопровождается концентрацией и централизацией производства, усилением мощи крупного капитала. В эпоху доминирующего капитализма господствовала относительно свободная конкуренция раздробленных и сравнительно небольших предприятий.

Свободная, или совершенная, конкуренция означает неограниченную конкуренцию, при которой отсутствуют барьеры для вхождения в бизнес, отличия в продуктах и, что самое главное, отсутствует чья бы то ни была власть над рынком, а потребители и производители обладают всей полнотой информации о рынке. Модель совершенной конкуренции основывается на четырех фундаментальных предположениях:

1. Продавцы не могут влиять на цену. Это означает, что на конкурентном рынке каждый продавец действует исходя из того, что он может продать столько продукции, сколько сочтет нужным, не влияя при этом на преобладающую рыночную цену.

2. Поведение продавцов не является стратегическим, т. е. поставщик товара на рынок при принятии решения не учитывает реакцию конкурирующих производителей.

3. Свободный доступ на рынок. Это предполагает, что новые фирмы могут входить на рынок со своей продукцией без каких-либо пре-

пятствий, не понеся при этом никаких особых издержек.

4. Покупатели не влияют на цены, т. е. каждый покупатель (фирма или домашнее хозяйство) может приобрести такое количество товара, какое пожелает, по действующей цене, не оказывая при этом на нее никакого влияния [5, с. 415–416].

Согласно [6, с. 501], «в условиях чистой конкуренции в отрасли одновременно действует очень большое число фирм, производящих стандартизированный продукт (например, пшеницу или арахис). Новые фирмы могут легко войти в отрасль». «Совершенная» конкуренция в целом соответствовала структуре экономики XIX в., для которой был характерен капитализм с мелкими производственными единицами.

В то же время «совершенная» конкуренция не означает, что она лучшая. Из того, что она – один из полюсов всего спектра видов конкуренции, «не следует, что совершенная конкуренция желательна, что... это цель, которую мы хотим достичь» [7, с. 89]. Совершенная конкуренция – идеальное явление в экономике. Ни в одной отрасли с развитой рыночной экономикой совершенной конкуренции не было и нет, т. е. в реальной экономике не было и нет рынков, удовлетворяющих всем условиям этой модели рынка. Лишь в нескольких случаях (на рынке сельскохозяйственной продукции, фондовой бирже, рынке иностранных валют и т. п.) ситуация может быть сравнительно близка к условиям совершенной конкуренции. Буржуазная экономическая теория в этот период отстаивала принцип свободы конкуренции, видя в нем идеал «вечных» общечеловеческих отношений. Так, по мнению А. Смита, государство не должно вмешиваться в экономическую жизнь общества, а создавать наиболее благоприятные условия для развития частной инициативы, конкуренции между производителями и т. д. Он писал: «Каждому человеку, пока он не нарушает законов справедливости, предоставляется совершенная свобода преследовать по собственному разумению свои интересы и конкурировать своим трудом и капиталом с трудом и капиталом другого лица и целого класса. Государь совершенно освобождается от обязанности руководить трудом частных лиц и

направлять их к занятиям, более соответствующим интересам общества» [8, с. 279].

В действительности свобода конкуренции была одним из факторов укрепления господства крупных предпринимателей. На базе развития производительных сил она служила механизмом огромной концентрации производства и капитала. Это привело к тому, что решающую роль в хозяйственной жизни капиталистического общества начали играть крупнейшие объединения. Свободная конкуренция привела в конечном итоге к образованию монополий и установлению их господства в экономической жизни общества. «Монополия как экономическое явление – это обусловленный собственностью и властью тип экономических отношений между субъектами экономической системы, реализующих собственный интерес, по поводу влияния последних на общественное производство или на его отдельные сферы с целью присвоения монополий прибыли» [9, с. 22]. Монополии, однако, не уничтожают конкуренцию, а лишь видоизменяют ее. Вырастая из свободной конкуренции, монополии «не устраняют ее, существуют над ней и рядом с ней, порождая этим ряд особенно острых и крупных противоречий, трений, конфликтов» [10, с. 386].

Монопольная (рыночная, экономическая) власть возникает вовсе не случайно. Ее формирование обусловлено монопольным положением субъекта, который стремится обладать большей мощностью, получать больше прибыли и пользоваться большим престижем. Именно экономическая власть мощных хозяйственных групп позволяет им изменять цены и сознательно регулировать ход рыночных операций в своих интересах. По словам А. Пигу, «само ожидание выгод, связанных с ней, служит фактором, способствующим ее формированию» [11, с. 326].

В условиях рыночной экономики конкуренция играет противоречивую роль. С одной стороны, она заставляет производителей постоянно стремиться к снижению своих затрат на производство товаров, чтобы увеличить прибыль. В результате этого повышается производительность труда, снижаются издержки производства и компания получает возможность уменьшить розничные цены на свою продук-

цию. Следовательно, повышая эффективность производства, конкуренция выступает потенциальным фактором понижения цен.

Кроме того, конкуренция побуждает производителей улучшать качество товаров и постоянно увеличивать разнообразие предлагаемых товаров и услуг. Потребители быстро определяют, какие фирмы производят продукцию более высокого качества, и эти фирмы получают большую прибыль (за счет увеличения продаж). Следовательно, производители на конкурирующих рынках должны постоянно изобретать новые товары и услуги для завоевания большей части рынка. Таким образом, производители должны постоянно бороться с конкурентами за покупателей (т. е. за «доллар потребителя») на рынке сбыта товаров и услуг с целью получения наибольшей прибыли. В условиях развитой экономики такая борьба может вестись только расширением и улучшением ассортимента товаров и услуг, предлагаемых по более низким ценам. В итоге выигрывают потребители и все общество в целом (при условии, что имеет место так называемый рынок покупателя). Об этом и говорил в свое время А. Смит, отмечая, что производители, преследуя лишь свою собственную выгоду, направляются «невидимой рукой» к цели, которая совсем не входила в их намерения. По его мнению, «частные интересы и стремления людей естественно заставляют их делить и распределять капитал любого общества среди различных занятий, существующих в нем, по возможности в точном соответствии с тем, что наиболее совпадает с интересами общества в целом» [8, с. 220].

Если личные интересы дают сильнейшую мотивацию участникам хозяйственных процессов (все, что они делают, делают исключительно для себя, собственной выгоды), то конкуренция направляет их деятельность в благоприятное для общества русло. «В результате конкуренции побеждает тот, кто лучше удовлетворяет интересы потребителей» [12, с. 7].

С другой стороны, в условиях несовершенной конкуренции продавцы имеют больше свободы в назначении цен, потому что продают свою продукцию в условиях монополистической конкуренции или олигополии. В этом главная слабость рыночной системы хозяйства.

«Для монополии, так же как и для совершенной конкуренции, главным принципом является максимизация прибыли фирмы» [13, с. 195].

Поддерживая более высокие цены, чем они могли бы иметь при совершенной конкуренции, компании получают больше прибыли, а потребители при этом теряют. Это, в свою очередь, неизбежно приводит к застойным явлениям в производстве (нет необходимости его совершенствовать, если прибыль и так достаточно высока) и безработице, а в конечном итоге – к политической нестабильности. В это время экономика функционирует, не обеспечивая максимально возможные занятость и производство товаров и услуг. Поэтому вся тяжесть экономического соперничества между предпринимателями (огромные непроизводительные расходы на рекламу, неполный рабочий день, безработица, высокие цены и т. д.) ложится, в конечном счете, на трудящихся и мелких производителей.

Существуют две основные формы конкуренции: внутри- и межотраслевая. Внутриотраслевая конкуренция представляет собой соперничество между отдельными товаропроизводителями, капиталистическими предпринимателями, акционерными компаниями, союзами предпринимателей и т. д., занятыми в одной и той же отрасли народного хозяйства. Как капиталистическая конкуренция вообще внутриотраслевая конкуренция есть борьба отдельных производителей за влияние, за место на рынке и получение большей прибыли. Она порождается частной собственностью на средства производства, когда между производителями не существует иной экономической связи, кроме рынка. Внутриотраслевая конкуренция возникает раньше остальных форм конкуренции. Само превращение простого товарного хозяйства в капиталистическое производство происходит в силу того, что между производителями возникают отношения конкурентной борьбы. Внутриотраслевая конкуренция явилась главным рычагом дифференциации (расслоения) мелких производителей и развития капиталистических производственных отношений.

В условиях простого товарного хозяйства принудительные законы внутриотраслевой конкуренции состоят в том, что отдельные производители имеют индивидуальные затраты ра-

бочего времени выше, чем общественно необходимые, определяющие величину рыночной стоимости товаров. Поэтому они не могут возместить всех своих затрат, так как не в состоянии повлиять на рыночные цены в сторону их повышения с целью покрытия более высоких индивидуальных издержек. В силу этого они обречены на гибель, т. е. разоряются как производители, пополняя затем ряды наемных рабочих. В условиях развитого капитализма внутриотраслевая конкуренция между отдельными предприятиями ставит вопрос только так: или разориться, или разорить других. Бесчисленные банкротства мелких, средних и даже крупных капиталистических фирм являются, прежде всего, результатом ожесточенной конкуренции. Особенно усиливается разорение неконкурентоспособных предприятий в периоды кризисов перепроизводства. Каждый год в условиях рыночной экономики оказываются несостоятельными в среднем 2–6 % зарегистрированных субъектов хозяйствования. Например, средний возраст всех предприятий (крупные компании, мелкие и семейные предприятия) в США составляет около семи лет. Только 54 % всех создаваемых фирм существует более 18 месяцев, и лишь 25 % – свыше шести лет.

Главное средство внутриотраслевой конкуренции – цена. Возможность отклонения цены от рыночной стоимости позволяет наиболее мощным предприятиям снижать цены ниже рыночной стоимости, получая при этом достаточно высокую норму прибыли благодаря более низким индивидуальным издержкам производства. Такое сбивание цен приводит к банкротству тех капиталистических фирм, которые имеют более низкий уровень технической оснащенности производства, а следовательно, более высокие издержки на единицу производимой продукции. В таких условиях выживают наиболее крупные предприятия, имеющие возможность регулярно внедрять новую технику и понижать этим самым затраты на единицу продукции ниже общественно необходимых.

Таким образом, внутриотраслевая конкуренция – антагонистическая форма развития производительных сил рыночной экономики. Каждый предприниматель, стремясь снизить издержки производства, чтобы выжить в кон-

курентной борьбе, вынужден независимо от своей воли использовать современную машинную технику и прогрессивную технологию. Следовательно, внутриотраслевая конкуренция стимулирует технический прогресс в производстве. Вместе с тем она порождает стремление предпринимателей засекретить новые технические изобретения, не давая пользоваться ими другим.

В условиях господства монополий такое средство конкурентной борьбы, как понижение цен, становится еще более действенным. Располагая крупными резервными капиталами для покрытия временных убытков, монополии с целью устранения конкурента могут временно устанавливать цены не только ниже рыночной стоимости, но и ниже издержек производства. Разорив более слабых конкурентов, монополии затем повышают цены на свою продукцию. Хрестоматийным, например, стало описание конкуренции между двумя пароходными компаниями на Волге до Первой мировой войны. В погоне за пассажирами одна из конкурирующих компаний каждому пассажиру, купившему билет, выдавала белую булку. Однако затем, после поражения конкурента, цены были резко повышены.

В условиях ценовых методов конкуренции на величину спроса в процессе реализации товаров соперники влияют путем изменения на них цен. В этом случае происходит движение по кривой спроса, т. е. увеличение или уменьшение величины спроса зависит от снижения или повышения цены на товары и услуги. Кроме ценовых методов, существуют и неценовые методы конкурентной борьбы. К ним можно отнести следующие:

- дифференциацию качества товара при одной и той же цене или при незначительном ее колебании. Применение оттенков качества позволяет успешно реализовывать однотипную продукцию. Так, в США выпускается примерно 10000 сортов муки, около 4000 видов консервированной кукурузы и т. д.;
- продажу товаров в кредит (в рассрочку платежа). Здесь имеет место совершенствование не качества товара, а условий его продажи;
- совершенствование послепродажного обслуживания товара, т. е. продление сроков га-

рантийного обслуживания своей продукции, оказание услуг на дому и т. д.;

- техническое превосходство товара, его качество и надежность. В этом случае цена может быть и выше аналогов, но качество опережает цену;

- рекламу своей продукции с использованием самых различных для этих целей средств, экономический шпионаж и т. д.

В условиях неценовой конкуренции происходит перемещение (сдвиг) кривой спроса на товары и услуги вправо (если спрос увеличивается) или влево (если спрос падает). Увеличение прибыли в этом случае может происходить за счет таких факторов, как:

- а) повышение цен при постоянной доле рынка;
- б) увеличение доли рынка при постоянной цене;
- в) рост как цен, так и доли рынка (что происходит реже).

Если внутриотраслевая конкуренция есть конкуренция между предпринимателями одной и той же отрасли за более выгодные условия производства и сбыта товаров, за получение дополнительной (избыточной) прибыли, то межотраслевая – это борьба между капиталистами различных отраслей за получение наиболее высокой нормы прибыли на свой капитал. Посредством межотраслевой конкуренции осуществляется стихийный перелив капиталов из одних отраслей, имеющих низкую норму прибыли, в другие отрасли, где норма прибыли более высокая.

В каждой стране в определенный период времени отдельные отрасли и сферы народного хозяйства отличаются друг от друга неодинаковыми условиями приложения капитала. Это обусловлено, прежде всего, различиями в органическом строении капиталов (соотношением постоянного и переменного капиталов, т. е. овеществленного и живого труда), неодинаковой скоростью оборота капитала, соотношением спроса и предложения и связанных с этим колебаний рыночных цен и т. п. В этой связи капиталы устремляются в более прибыльные сферы. Это приводит к тому, что в отраслях с высокой нормой прибыли большой прилив капиталов, ищущих более выгодного

применения, усиливает внутриотраслевую конкуренцию. В данных отраслях производство расширяется, а следовательно, увеличивается и предложение товаров. Следствием этого является превышение предложения товаров над платежеспособным спросом на них. Тогда цены на рынке начинают отклоняться от реальной стоимости товаров в сторону понижения. В результате происходит снижение общей выручки и нормы прибыли.

В то же время в результате утечки капиталов из низкоприбыльных отраслей происходит сокращение производства в них, а спрос на выпускаемые в данных отраслях товары начинает превышать предложение. В результате этого рыночная цена на них становится больше стоимости, выручка растет, а вместе с ней – и норма прибыли, которая начинает подниматься до среднего уровня. В таких условиях становится выгодным вкладывать капиталы и в те отрасли, где раньше прибыль была более низкой, так как в отраслях с высокой нормой прибыли она понизилась, а в бывших низкоприбыльных отраслях, напротив, повысилась.

Постоянный перелив капиталов из одной отрасли в другую в условиях свободной конкуренции ведет к выравниванию отраслевых норм прибыли и образованию средней нормы прибыли. В итоге межотраслевая конкуренция объективнее создает определенное динамическое равновесие, которое обеспечивает получение равной прибыли на равный капитал независимо от того, где он вложен. Таким образом, через механизм межотраслевой конкуренции закон стоимости стихийно регулирует распределение капиталов, средств производства и рабочей силы между различными отраслями рыночного хозяйства, а также стимулирует развитие научно-технического прогресса.

В экономической науке выделяется также понятие «недобросовестная конкуренция». Под ней понимается деятельность хозяйствующего субъекта, направленная на получение коммерческой выгоды нечестным путем. Сюда можно отнести:

а) обман потребителей и хозяйственных партнеров о качестве и достоинствах товара, которыми в действительности он не обладает;

б) распространение ложной информации о своих конкурентах, наносящей ущерб их деловой репутации;

в) использование чужого товарного знака и фирменного наименования без разрешения лица, на имя которого они зарегистрированы;

г) экономический и промышленный шпионаж;

д) махинации с деловой отчетностью (неуплата налогов фирмой ставит ее в более выгодное положение по отношению к исправно платящим налоги);

е) коррупция (подкуп), переманивание специалистов и т. д.

Современные нормы международного права запрещают такую конкуренцию и предусматривают ряд штрафных санкций к компаниям, которые ее используют (в ФРГ, например, тюремное заключение до одного года). Тем не менее недобросовестная конкуренция в настоящее время – вовсе не редкое явление. Здесь для противоборствующих сторон все методы хороши, вплоть до физического уничтожения своего соперника.

Если рассматривать конкуренцию на микроуровне экономики, то она выступает как способ жизнедеятельности хозяйствующих субъектов в условиях общественного разделения труда и экономической обособленности товаропроизводителей на основе частной собственности на средства производства. Поэтому стратегия каждой фирмы предусматривает достижение определенных конкурентных преимуществ. Успех или неуспех данной стратегии зависит от той позиции или места, которое компания занимает в отрасли в соответствии с ее преимуществами и недостатками.

ВЫВОДЫ

Чтобы конкуренция способствовала развитию экономики, необходимо наличие ряда условий.

1. На рынке должно присутствовать как можно больше производителей однородного товара с целью исключения их сговора (явного или тайного) против потребителей.

2. Конкуренция должна заинтересовывать товаропроизводителей в увеличении своих до-

ходов не за счет роста цен, а за счет увеличения выпуска товаров.

3. Необходимо превышение предложения над спросом, т. е. создание рынка потребителя, при котором он имеет возможность выбора (в противном случае это будет рынок производителя).

4. Конкуренция должна подвергаться государственному регулированию, чтобы заставить конкурирующих субъектов хозяйствования учитывать не только свои интересы, но и интересы других граждан и общества в целом. Поскольку конкурентная борьба носит стихийный характер, она при отсутствии регулирующей роли государства может привести к тяжелым экономическим, социальным, экологическим и иным последствиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Маркс, К.** Соч.: в 50 т. / К. Маркс, Ф. Энгельс. – 2-е изд. – М.: Госполитиздат, 1955–1981. – Т. 4.: Принципы коммунизма. – 1955. – 615 с.
2. **Маркс, К.** Соч.: в 50 т. / К. Маркс, Ф. Энгельс. – 2-е изд. – М.: Госполитиздат, 1955–1981. – Т. 20: Анти-Дюринг. – 1961. – 827 с.
3. **Маркс, К.** Соч.: в 50 т. / К. Маркс, Ф. Энгельс. – 2-е изд. – М.: Госполитиздат, 1955–1981. – Т. 46, ч. 2: Рукописи 1857–1859 гг. (первоначальный вариант «Капитала»). – 1969. – 618 с.
4. **Хайек, Ф.** Общество свободных / Ф. Хайек; пер. с англ. А. Кустарева; под ред. Ю. Колкера. – Лондон: Overseas Publications Interchange Ltd, 1990. – 309 с.
5. **Кац, М.** Микроэкономика / М. Кац, Х. Роузен. – Минск: Новое знание, 2004. – 828 с.
6. **Макконнелл, К. Р.** Экономикс: принципы, проблемы, политика: в 2 т. / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 2 т.
7. **Сломан, Дж.** Экономикс / Дж. Сломан, М. Сатклифф. – СПб.: Питер; Питер принт, 2005. – 830 с.
8. **Смит, А.** Исследование о природе и причинах богатства народов: в 2 т. / А. Смит; отв. ред. Л. И. Абалкин. – М.: Наука, 1993. – Т. 2. – 570 с.
9. **Санько, Г. Г.** Монополия и конкуренция / Г. Г. Санько. – Минск: Амалфея, 1999. – 125 с.
10. **Ленин, В. И.** Империализм как высшая стадия капитализма / В. И. Ленин. – М.: Книга, 1986. – 502 с.
11. **Пигу, А.** Экономическая теория благосостояния: в 2 т. / А. Пигу. – М.: Прогресс, 1985. – Т. 1. – 512 с.

12. **Кныш, М. И.** Конкурентные стратегии / М. И. Кныш. – СПб., 2000. – 284 с.

13. **Долан, Э. Дж.** Рынок: микроэкономическая модель / Э. Дж. Долан, Д. Е. Линдсей. – Ленинград: Печатный двор, 1992. – 496 с.

REFERENCES

1. **Marx, K., & Engels, F.** (1955) *Collected Works. 2nd Edition. Vol. 4. Principles of Communism.* Moscow, Gospolitizdat. 615 p. (in Russian).
2. **Marx, K. & Engels, F.** (1961) *Collected Works. 2nd Edition. Vol. 20. Anti-Dühring.* Moscow, Gospolitizdat. 827 p. (in Russian).
3. **Marx, K. & Engels, F.** (1969) *Collected Works. 2nd Edition. Vol. 46, Part 2. Manuscripts 1857–1859 (Initial Version of Book “Capital”).* Moscow, Gospolitizdat. 618 p. (in Russian).
4. **Hayek, F.** (1990) *Free Society.* London, Overseas Publications Interchange Ltd. 309 p. (in Russian).
5. **Katz, M., & Rosen, H.** (2004) *Microeconomics.* Minsk, Novoye Znanie. 828 p. (in Russian).
6. **McConnell, C. R., & Brue, S. L.** (2008) *Economics: Principles, Problems, Policy.* 17th ed. New-York, McGraw-Hill/Irwin. 488 p. (Russ. ed.: McConnell, C. R., & Brue, S. L. (1999) *Ekonomiks: Printsipy, Problemy, Politika.* Part 2. Moscow, INFRA-M).
7. **Sloman, J., & Sutcliffe, M.** (2000) *Economics.* Financial Times/Prentice Hall. 772 p. (Russ. ed.: Sloman, J., & Sutcliffe, M. (2005) *Ekonomiks.* Saint-Petersburg, Piter. 830 p.).
8. **Smith, A.** (1776) *An Inquiry Into the Nature and Causes of the Wealth of Nations.* Electric Book Company. 1281 p. (Russ. ed.: Smith, A. (1993) *Issledovanie o Prirode i Prichinakh Bogatstva Narodov.* Vol. 2. Moscow, Nauka. 570 p.).
9. **Sanko, G. G.** (1999) *Monopoly and Competition.* Minsk, Amalfeia. 125 p. (in Russian).
10. **Lenin, V. I.** (1986) *Imperialism as Highest Stage of Capitalism.* Moscow, Kniga. 502 p. (in Russian).
11. **Pigou, A. C.** (1932) *The Economics of Welfare.* 4th ed. London: Macmillan & Co. (Russ. ed.: Pigou, A. (1985) *Ekonomicheskaya Teoriya Blagosostoianiia.* Vol. 1. Moscow, Progress. 512 p.).
12. **Knysh, M. I.** (2000) *Competitive Strategies.* Saint-Petersburg, 284 p. (in Russian).
13. **Dolan, E. G., & Lindsey, D. E.** (1990) *Microeconomics.* Dryden Press (Holt Rinehart & Winston, Inc.). (Russ. ed.: Dolan, E. G., & Lindsey, D. E. (1992) *Rynok: Mikroekonomicheskaya Model'.* Leningrad, Pechatnyi Dvor. 496 p.).

Поступила 14.02.2014