

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

## Л И Т Е Р А Т У Р А

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, интерфейс: 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. **Столлинс, В.** Беспроводные линии связи и сети / В. Столлинс. – 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 (прибор 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:

• IbV Informatik GmbH, производит компьютерные модули CARAT (Computer Assisted Rekonstruction 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 – Слибара (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 позволяют 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.

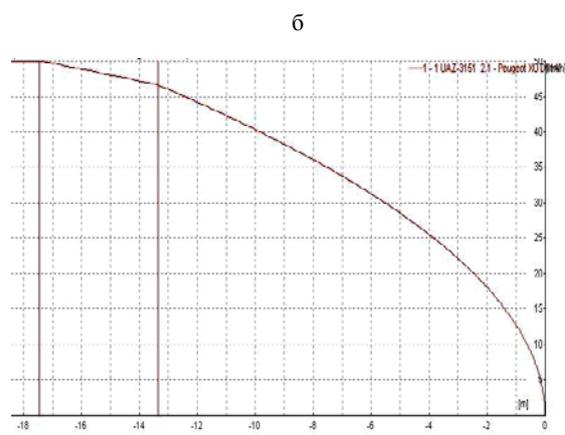
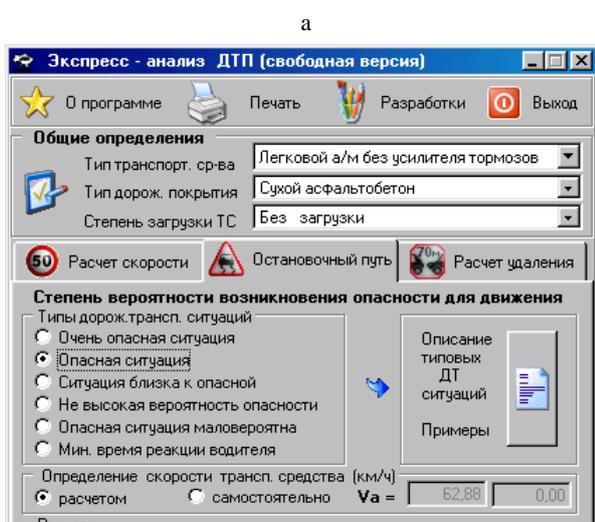


Рис. 1. Пример расчета движения ТС по длине следа торможения в программах: а – «Экспресс-анализ ДТП»; б – PC-Crash

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

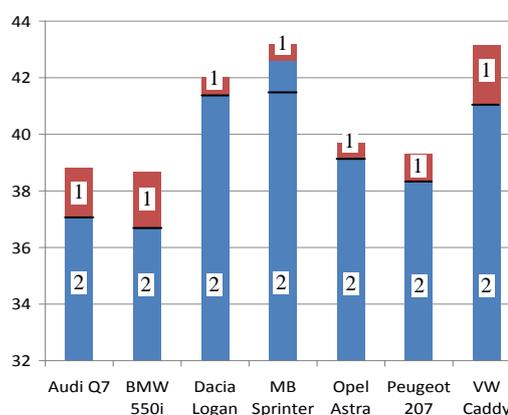


Рис. 2. Пример результатов испытаний и моделирования тормозного пути в PC-Crash: 1 – моделирование; 2 – тест

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.

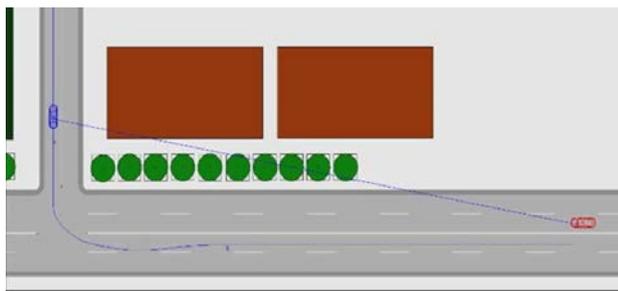


Рис. 3. Пример визуализации ДТП

## ВЫВОДЫ

1. С помощью динамического моделирования реализован 3D-просмотр с перемещением видеокamеры, 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 фак-та / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский. – 3-е изд., дораб. – 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](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. **Iparionov, 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*. 3<sup>rd</sup> 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. 10<sup>th</sup> 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. 10<sup>th</sup> 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://avtotra.solog.ru/component/option,com\\_frontpage/Itemid,1](http://avtotra.solog.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 исполнительной 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-