

УДК 629.73.02; 629.73.05/06

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И СИСТЕМАХ ИНДИКАЦИИ НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПИЛОТИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

М.О. Костишин<sup>a, b</sup>, И.О. Жаринов<sup>a, b</sup>, О.О. Жаринов<sup>c</sup>, В.А. Нечаев<sup>a, b</sup>, В.Д. Суслов<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, job.max@me.com

<sup>b</sup> ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, Россия, postmaster@elvat.spb.ru

<sup>c</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия, zharinov73@hotmail.ru

Авторами рассматривается проблема оценки точности отображения местоположения объекта в геоинформационных системах и системах индикации навигационных комплексов пилотируемых летательных аппаратов. Рассматриваются особенности применения различных типов жидкокристаллических экранов с разным числом пикселей по вертикали и горизонтали при отображении геоинформационных данных в различных масштабах. Отображение оценок значений навигационных параметров на борту летательного аппарата осуществляется двумя способами: непосредственно на экране многофункционального цветного индикатора отображается числовое значение параметра; на экране формируется силуэт объекта на фоне подложки, в качестве которой используется графическое изображение карты местности в зоне полета. Авторами рассмотрены различные масштабы отображения цифровой карты местности, используемые в настоящее время в авиационной промышленности. Приведены результаты расчета цены деления одного пикселя в зависимости от технических характеристик жидкокристаллического экрана и масштаба отображения карты местности на многофункциональном цифровом индикаторе. Приводятся результаты экспериментальных расчетов оценки точности отображения на местности положения летательного аппарата по данным от спутниковой навигационной системы и инерциальной навигационной системы, полученным в ходе выполнения программы полетов реального объекта. На основе произведенных расчетов построено семейство графиков ошибки точности отображения положения опорной точки объекта при использовании бортовых индикаторов с жидкокристаллическим экраном и различным разрешением экрана (в дюймах) (6"×8", 7,2"×9,6", 9"×12") для двух масштабов (1:0,25 км, 1:2 км) отображения карты. Приведенные семейства графиков зависимостей могут быть использованы как для оценки величины ошибки отображения положения объекта на местности в существующих навигационных системах, так и для расчета величины ошибки при модернизации объектов.

**Ключевые слова:** геоинформационные данные, отображение информации, цифровая карта местности.

## ACCURACY EVALUATION OF THE OBJECT LOCATION VISUALIZATION FOR GEO-INFORMATION AND DISPLAY SYSTEMS OF MANNED AIRCRAFTS NAVI- GATION COMPLEXES

M. Kostishin<sup>d, e</sup>, I. Zharinov<sup>d, e</sup>, O. Zharinov<sup>f</sup>, V. Nechaev<sup>d, e</sup>, V. Suslov<sup>d, e</sup>

<sup>d</sup> Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, job.max@me.com

<sup>e</sup> Saint Petersburg Scientific Design Bureau "Electroavtomatika" n.a. P. A. Efimov, Saint Petersburg, Russia, postmaster@elvat.spb.ru

<sup>f</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Russia, zharinov73@hotmail.ru

The paper deals with the issue of accuracy estimating for the object location display in the geographic information systems and display systems of manned aircrafts navigation complexes. Application features of liquid crystal screens with a different number of vertical and horizontal pixels are considered at displaying of geographic information data on different scales. Estimation display of navigation parameters values on board the aircraft is done in two ways: a numeric value is directly displayed on the screen of multi-color indicator, and a silhouette of the object is formed on the screen on a substrate background, which is a graphical representation of area map in the flight zone. Various scales of area digital map display currently used in the aviation industry have been considered. Calculation results of one pixel scale interval, depending on the specifications of liquid crystal screen and zoom of the map display area on the multifunction digital display, are given. The paper contains experimental results of the accuracy evaluation for area position display of the aircraft based on the data from the satellite navigation system and inertial navigation system, obtained during the flight program run of the real object. On the basis of these calculations a family of graphs was created for precision error display of the object reference point position using the onboard indicators with liquid crystal screen with different screen resolutions (6 "×8", 7.2 "×9.6", 9"×12") for two map display scales (1:0, 25 km, 1-2 km). These dependency graphs can be used both to assess the error value of object area position display in existing navigation systems and to calculate the error value in upgrading facilities.

**Keywords:** geographic information data, information display, digital area map.

### Введение

В процессе полета летательного аппарата (ЛА) в бортовом навигационном комплексе производится оценивание значений пилотажно-навигационных параметров – широты и долготы позиционирования объекта в заданной системе координат, скорости самолета, относительного и барометрического давлений и др. Для информирования экипажа о местонахождении ЛА значения оценок ряда навигационных пара-

метров отображаются на бортовых средствах индикации. Основным элементом индикации современных навигационных комплексов являются бортовые индикаторы класса МФЦИ (многофункциональные цветные индикаторы), выполненные на базе плоских жидкокристаллических (ЖК) панелей [1, 2].

Отображение оценок значений навигационных параметров на борту ЛА может осуществляться двумя способами:

- непосредственно – на экране МФЦИ индицируется числовое значение параметра;
- мнемонически – на экране МФЦИ отображается силуэт объекта на фоне подложки, в качестве которой используется графическое изображение карты местности в зоне полетов (в проекциях «вид с земли на самолет» или «вид с самолета на землю»).

Непосредственный способ индикации значений оценок навигационных параметров прост в использовании экипажем, однако требует от штурмана выполнения дополнительных операций позиционирования ЛА на местности. Мнемонический способ отображения более нагляден для экипажа, так как в совмещенном режиме одновременно отображаются и карта местности, и местоположение объекта, однако он менее точен и используется сегодня для геоинформационной поддержки и повышения ситуационной осведомленности экипажа о географическом рельефе местности в зоне полетов.

Целью настоящей работы является представление широкому кругу читателей результатов научных исследований авторского коллектива в области получения оценок точности отображения местоположения объекта в геоинформационных системах и системах индикации современных навигационных комплексов пилотируемых ЛА для мнемонического способа.

### Индикация геоинформационных данных на борту ЛА. Погрешность отображения навигационных параметров

Как было показано авторами ранее [3–9], синтез и отображение геоинформационных данных на экране МФЦИ, имеющем дискретную (пиксельную) структуру экрана, осуществляется в совмещенном режиме. Совмещенный режим (рис. 1, а) предполагает одновременное отображение на одном средстве индикации навигационной информации и картографической информации, представляющей собой цифровой массив карты местности в зоне полетов ЛА.

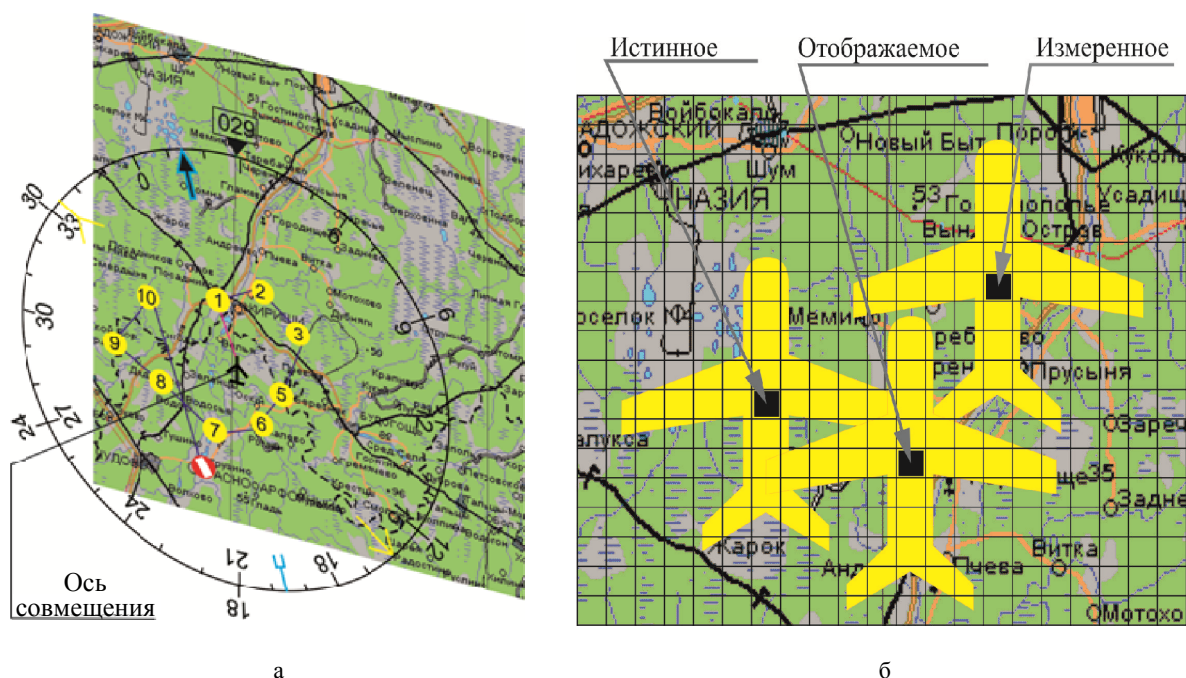


Рис. 1. Режим совмещения навигационной и картографической информации: режим отображения совмещенной навигационной информации и картографической информации (а); различия в оценке истинной, измеренной и отображаемой точек привязки положения летательного аппарата на местности в зоне полетов (б)

Для совмещения двух видов разнородных изображений используется опорная точка, в качестве которой могут выступать точка начала системы координат ЖК-панели, а также географические координаты широты и долготы объекта, измеряемые (оцениваемые) в процессе полета. При этом принято различать (рис. 1, б) истинное положение ЛА в географических координатах, оцениваемое положение ЛА в географических координатах и отображаемое положение ЛА в географических координатах. Истинное положение ЛА определяется проекцией центра масс объекта на физическую карту местности. Оцениваемое по-

ложение ЛА определяется проекцией оцененных значений широты и долготы положения ЛА на карту местности с учетом существующих погрешностей измерений и программно-алгоритмической обработки. Отображаемое положение ЛА определяется проекцией опорной точки мнемонического силуэта объекта на индицируемую карту местности. При отсутствии систематических погрешностей отображаемое и оцениваемое положения ЛА на экране МФЦИ совпадают.

В зависимости от масштаба отображения цифровой карты местности и типа применяемого в системе индикации навигационного комплекса ЖК-экрана, размера сторон ЖК-матрицы и числа пикселей экрана по вертикали и по горизонтали матрицы цена деления одного пикселя будет различной.

В настоящее время в авиационной промышленности получили широкое распространение следующие масштабы отображения цифровой карты местности [10]: 1:0,25 км; 1:2 км; 1:5 км; 1:10 км; 1:15 км. Применяемые сейчас на борту ЖК-экраны имеют размеры сторон (в дюймах): 5"×5"; 6"×6"; 6"×8"; 7,2"×9,6"; 9"×12" со следующим числом пикселей по сторонам матрицы: 480×480; 640×480; 768×576; 800×600; 768×768; 1024×768; 1400×1050; 1600×1200.

Масштаб, ед.:км	Число пикселей по вертикали и горизонтали	Размер экрана (длина, ширина), дюйм				
		5×5	6×6	8×6	9,6×7,2	12×9
		Цена деления одного пикселя ЖК-панели, м				
1:0,25	480×480	6,6	7,9	–	–	–
	640×480	–	–	7,9	9,5	11,9
	768×576	–	–	6,6	7,9	9,9
	800×600	–	–	6,4	7,6	9,5
	768×768	–	4,9	–	–	–
	1024×768	–	–	4,9	6,0	7,4
	1400×1050	–	–	3,6	4,4	5,4
	1600×1200	–	–	3,2	3,8	4,8
1:2	480×480	20,8	63,5	–	–	–
	640×480	–	–	63,5	76,2	95,3
	768×576	–	–	52,9	63,5	79,4
	800×600	–	–	50,8	61,0	76,2
	768×768	–	39,4	–	–	–
	1024×768	–	–	39,4	47,6	59,5
	1400×1050	–	–	29,0	34,8	43,5
	1600×1200	–	–	25,4	30,5	38,1
1:5	480×480	132,3	158,6	–	–	–
	640×480	–	–	158,6	190,5	238,1
	768×576	–	–	132,3	158,8	198,4
	800×600	–	–	127,0	152,4	190,5
	768×768	–	98,6	–	–	–
	1024×768	–	–	98,6	119,1	148,8
	1400×1050	–	–	72,6	87,1	108,9
	1600×1200	–	–	63,5	76,2	95,3

Таблица. Цена деления одного пикселя ЖК-экрана индикатора МФЦИ при отображении на борту ЛА цифровой карты местности

В таблице представлены результаты расчета цены деления одного пикселя (в метрах) в зависимости от технических характеристик ЖК-экрана и масштаба отображения на МФЦИ цифровой карты местности. Нетрудно видеть, что минимальное значение цены деления пикселя составит 3,2 м и достигается в комбинации: экран 6"×8" с числом пикселей по сторонам 1600×1200 и масштаб отображения 1:0,25 км. Аналогично, максимальная цена деления пикселя составит 238,1 м и достигается в комбинации: экран 9"×12" с числом пикселей по сторонам 640×480 и масштаб отображения 1:5 км. Расчет цены деления одного пикселя ЖК-панели производился по формуле

$$m = \frac{M \cdot L}{l \cdot c},$$

где  $m$  – цена деления одного пикселя ЖК-панели,  $m$ ;  $M$  – масштаб отображаемой карты местности,  $m$ ;  $L$  – сторона ЖК-матрицы,  $m$ ;  $l$  – число пикселей в стороне  $L$  ЖК-матрицы;  $c = 0,01$  – размерный коэффициент,  $m$ . Прочерки в таблице соответствуют неиспользуемой комбинации параметров.

### Оценка погрешности отображения положения ЛА на местности

Для оценки погрешности отображения положения ЛА на местности использовались результаты измерений оценочных значений навигационных параметров, зарегистрированные при выполнении программы полетов пилотируемого ЛА [11]. Результаты измерений для широты и долготы положения ЛА, полученные в процессе 3 ч 20 мин полета от спутниковой навигационной системы (СНС) и от инерциальной навигационной системы (ИНС), представлены на рис. 2, а, и рис. 2, б, соответственно.

Расчет значений широты и долготы полета в таблице произведен по формулам

$$\lambda^* = 111,12\lambda \cos \varphi, \quad \varphi^* = 111,12\varphi,$$

где  $\varphi$  – географическая широта в градусах;  $\lambda$  – географическая долгота в градусах;  $\varphi^*$  – географическая широта в километрах;  $\lambda^*$  – географическая долгота в километрах. В предположении, что «истинное» значение местоположения ЛА может с определенной погрешностью оцениваться по результатам измерений СНС, на рис. 2 штриховкой залита область разности результатов оценки значений географической широты и долготы для результатов измерений СНС и ИНС.

Анализ рис. 2 показывает, что в течение 3 ч 20 мин полета максимальное значение разности измерений между СНС и ИНС составило 612 м для широты и 22 км для долготы. При этом существенный рост разницы в результатах измерений СНС и ИНС начинается примерно с 45 мин полета (момент  $t_0$  на графиках рис. 2), что объясняется собственной погрешностью ИНС в процессе инерциального счисления координат местоположения ЛА.

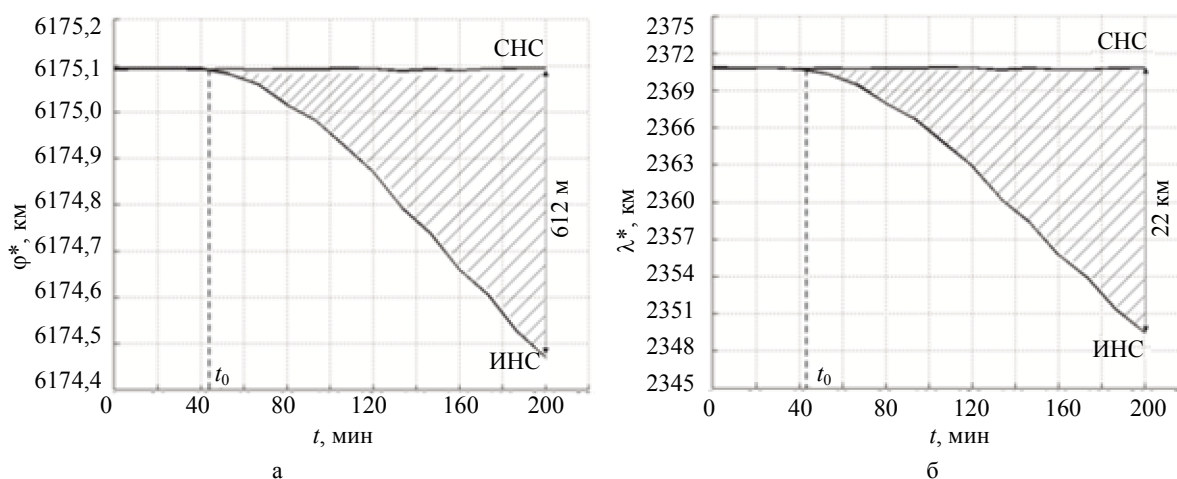


Рис. 2. Результаты измерения (оценки) навигационных параметров для широты (а) и долготы местоположения ЛА в процессе выполнения программы полетов (б), г. Жуковский, 2013 г.

На рис. 3 приведены результаты экспериментальных расчетов оценки точности  $\Delta$  (в пикселях) отображения «измеренного» значения навигационных параметров по СНС,  $\varphi^*_{\text{снс}}$ , по отношению к значениям, оцененным навигационным комплексом по ИНС,  $\varphi^*_{\text{инс}}$  [12–15]:  $\Delta^*\varphi = \varphi^*_{\text{снс}} - \varphi^*_{\text{инс}}$ . Следует заметить, что использование режима СНС на борту ЛА осложняется условиями эксплуатации объекта и не всегда возможно, в связи с чем семейство зависимостей на рис. 3 следует рассматривать как характеристики ошибки визуализации местоположения ЛА на карте местности, возникающие в режиме чистого счисления пути, начиная с момента времени  $t_0$  [16, 17].

### Заключение

В результате проведенного исследования и натурных экспериментов была совершена серия полетов пилотируемого летательного аппарата с использованием спутниковой навигационной системы и инерциальной навигационной системы. В качестве инерциальной навигационной системы использовалась лазерная инерциальная навигационная система ИНС-2000. Как следует из рис. 2, примерно через 45–50 мин полета ошибка измерения широты и долготы полета летательного аппарата начинает монотонно возрастать из-за влияния собственной погрешности инерциальной системы, вследствие чего опорная точка совмещения навигационных и геоинформационных данных смещается. Семейство зависимостей, приведенное на рис. 3, иллюстрирует разницу (в пикселях) между отображаемой и измеренной опорными

точками объекта на цифровой карте местности для многофункциональных цветных индикаторов с различными техническими характеристиками. Величина ошибки позиционирования объекта на карте местности, накопленная за 2,5 ч полета, варьируется от 16 до 190 пикселей жидкокристаллического экрана. Точные значения величины ошибки могут быть оценены по данным, представленным в таблице.

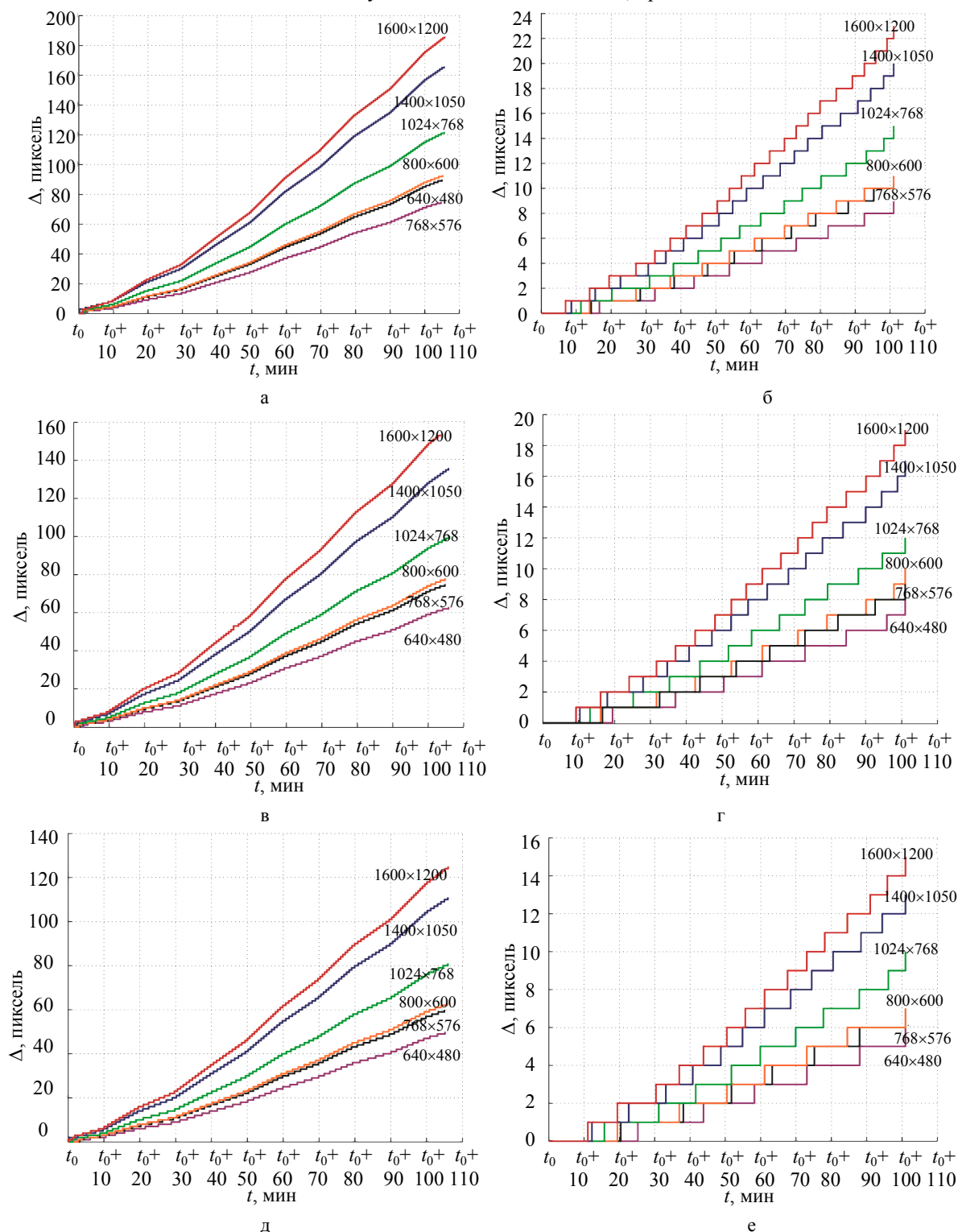


Рис. 3. Семейство зависимостей ошибки визуализации местоположения объекта в геоинформационных системах и системах индикации навигационных комплексов при оценке широты полета для бортовых индикаторов МФЦИ со следующими характеристиками: размер экрана 6"×8", масштаб 1:0,25 км (а); размер экрана 6"×8", масштаб 1:2 км (б); размер экрана 7,2"×9,6", масштаб 1:0,25 км (в); размер экрана 7,2"×9,6", масштаб 1:2 км (г); размер экрана 9"×12", масштаб 1:0,25 км (д); размер экрана 9"×12", масштаб 1:2 км (е)

Приведенные на рис. 3 семейства зависимостей могут быть использованы как для оценки величины ошибки отображения местоположения объекта на местности в существующих навигационных системах, так и для учета величины будущей ошибки при модернизации объектов с использованием инерциальных навигационных систем других типов:

- при замене многофункциональных индикаторов на индикаторы с более совершенными характеристиками жидкокристаллических матриц;
- при загрузке в бортовую систему картографической информации геоинформационных данных в других масштабах;
- при разработке системы индикации и навигационных подсистем на различных проектных предприятиях и при использовании более совершенных инерциальных навигационных систем [18].

#### References

1. Zharinov I.O., Zharinov O.O. *Bortovye sredstva otobrazheniya informatsii na ploskikh zhidkokristallicheskih panelyakh* [On-Board means of information display on flat liquid-crystal panels]. St. Petersburg, SUAI Publ., 2005, 144 p.
2. Koporskii N.S., Vidin B.V., Zharinov I.O. *Bortovye sredstva otobrazheniya informatsii sovremennykh pilotiruemykh letatel'nykh apparatov* [On-Board means of modern information display manned aircraft]. *Sovremennyye tekhnologii* [Modern technologies]. Eds S.A. Kozlov, V.L. Tklich. St. Petersburg, University ITMO Publ., 2004, pp. 154–165.
3. Paramonov P.P., Il'chenko Yu.A., Zharinov I.O. *Teoriya i praktika statisticheskogo analiza kartograficheskikh izobrazhenii v sistemakh navigatsii pilotiruemykh letatel'nykh apparatov* [Theory and practice of statistical analysis of cartographic maps in piloted aircraft navigation systems]. *Datchiki i sistemy - Sensors and systems*, 2001, no. 8, pp. 15–19.
4. Paramonov P.P., Ilchenko Yu.A., Zharinov I.O., Tarasov P.Yu. *Strukturnyi analiz i sintez graficheskikh izobrazhenii na ekranakh sovremennykh sredstv bortovoi indikatsii na ploskikh zhidkokristallicheskih panelyakh* [Structure analysis and synthesis of graphics images on screens of air indication on flat liquid-crystal panels]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2004, no. 5, pp. 50–57.
5. Koporskii N.S., Vidin B.V., Zharinov I.O. *Sistema bortovoi kartograficheskoi informatsii pilotiruemykh letatel'nykh apparatov. Osnovnye printsipy postroeniya* [System of onboard cartographic information manned aircraft. The main principles of building]. *Sbornik trudov 10 Mezhdunarodnoi konferentsii "Teoriya i tekhnologiya programmirovaniya i zashchity informatsii"* [Proc. of the 10<sup>th</sup> International conference "Theory and technology of programming and information security"]. St. Petersburg, University ITMO Publ., 2006, pp. 18–23. (In Russ.)
6. Paramonov P.P., Konovalov P.V., Zharinov I.O., Kirsanova Yu.A., Utkin S.B. *Realizatsiya struktury dannykh, ispol'zuemykh pri formirovani indikatsionnogo kadra v bortovykh sistemakh kartograficheskoi informatsii* [Implementation of data structure in indication frame formation for onboard geospatial data computer systems]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 2 (84), pp. 165–167.
7. Paramonov P.P., Kostishin M.O., Zharinov I.O., Nechaev V.A., Sudarchikov S.A. *Printsipy formirovaniya i otobrazheniya massiva geoinformatsionnykh dannykh na ekran sredstv bortovoi indikatsii* [Formation and display principles for an array of geoinformation data by means of onboard display screen]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 6 (88), pp. 136–142.
8. Zharinov I.O., Konovalov P.V. *Klassifikatsiya struktury dannykh, ispol'zuemykh pri otobrazhenii geoinformatsionnykh resursov v bortovykh sistemakh kartograficheskoi informatsii* [Classification data structure to use when displaying the geoinformation resources in the airborne cartographic information systems]. *Sbornik trudov molodykh uchenykh, aspirantov i studentov nauchno-pedagogicheskoi shkoly kafedry PBKS "Informatsionnaya bezopasnost', proektirovaniye i tekhnologiya elementov i uzlov komp'yuternykh sistem"* [Collection of papers of young scientists, postgraduates and students of scientific and educational schools of the Department of designing and security of computer systems "Information security, design and technology elements and components of computer systems"]. Ed. Yu.A. Gatchin. St. Petersburg, University ITMO Publ., 2013, ch. 1, pp. 118–121. (In Russ.)
9. Zharinov I.O., Emets R.B. *Indikatsionnoe oborudovanie v aviatsii XXI veka* [Display equipment in aviation in the XXI century]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2003, no. 5 (11), pp. 193–195.
10. Paramonov P.P., Koporskii N.S., Vidin B.V., Zharinov I.O. *Mnogofunktsional'nye indikatory na ploskikh zhidkokristallicheskih panelyakh: naukoemkie apparatno-programmnye resheniya* [The multi-function displays on flat liquid-crystal panels: high-tech hardware-software solutions]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2004, no. 3 (14), pp. 238–245.
11. Suslov V.D., Shek-Iovsepts R.A., Vidin B.V., Zharinov I.O., Nemolochnov O.F. *K voprosu ob unifikatsii bortovykh algoritmov kompleksnoi obrabotki informatsii* [Concerning the unification of onboard algorithms of complex information processing]. *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 2006, vol. 49, no. 6, pp. 39–40.
12. Zharinov I.O. *Sistemnyi podkhod pri proektirovani kompleksov bortovogo radioelektronnogo oborudovaniya* [System approach in designing of complexes of the onboard radio-electronic equipment]. *Sbornik dokladov Nauchnoi sessii GUAP* [The collection of reports of Scientific session of SUAI]. St. Petersburg, SUAI Publ., 2006, ch. 2, pp. 68–74. (In Russ.)
13. Paramonov P.P., Vidin B.V., Esin Yu.F., Zharinov I.O., Kolesnikov Yu.L., Kofman M.M., Sabo Yu.I., Shek-Iovsepts R.A. *Teoriya i praktika sistemnogo proektirovaniya avioniki* [Theory and practice of system design avionics]. Tula, Grif i K<sup>o</sup> Publ., 2010, 265 p.
14. Zharinov I.O., Zharinov O.O. *Bortovye sistemy kartograficheskoi informatsii. Printsipy postroeniya geoinformatsionnykh resursov* [Onboard systems cartographic information. Principles of construction of geoinformation resources]. St. Petersburg, University ITMO Publ., 2008, 48 p.

15. Kostishin M.O., Zharinov I.O. Precision characteristics of the positioning of objects in aircraft geoinformation systems. *Automation & Control: Proc. of the International Conference of Young Scientists "ISCAC-2013"*. St. Petersburg, National Research University St. Petersburg State Polytechnical University, 2013, pp. 92–96.
16. Swail C., Jennings S. Enhanced and synthetic vision system concept for application to search and rescue missions. *Symposium on "Sensor Data Fusion and Integration of the Human Element"*. Ottawa, 1998, pp. 15–1-15-6.
17. Young S., Kakarlapudi S., Uijt de Haag M. A Shadow detection and extraction algorithm using digital elevation models and X-Band weather radar measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, vol. 26, no.8, pp. 1531–1549.
18. *Honeywell's primus epic integrated avionics system provides advanced flight deck functionality. SmartView synthetic vision system*. Available at: [http://www.honeywellbusinessaviation.com/primus\\_epic/performance/smartview](http://www.honeywellbusinessaviation.com/primus_epic/performance/smartview) (accessed 28.11.2013).

- Костишин Максим Олегович** – аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; инженер, ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, Россия, job.max@me.com
- Жаринов Игорь Олегович** – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; руководитель учебно-научного центра, ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, Россия, igor\_rabota@pisem.net
- Жаринов Олег Олегович** – кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия, zharinov73@hotmail.ru
- Нечаев Владимир Анатольевич** – доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; руководитель научно-исследовательского центра, ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, Россия, nil-12@mail.ru
- Суслов Владимир Дмитриевич** – доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; руководитель экспертного совета, ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, Россия, postmaster@elavt.spb.ru
- Maxim Kostishin** – postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; engineer, Saint Petersburg Scientific Design Bureau "Electroavtomaticheskaya" n.a. P. A. Efimov, Saint Petersburg, Russia, job.max@me.com
- Igor Zharinov** – D.Sc., Associate professor, Department head, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; Head of learning scientific center, Saint Petersburg Scientific Design Bureau "Electroavtomaticheskaya" n.a. P. A. Efimov, Saint Petersburg, Russia, igor\_rabota@pisem.net
- Oleg Zharinov** – PhD, Associate professor, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Russia, zharinov73@hotmail.ru
- Vladimir Nechaev** – Associate professor, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; Head of scientific research center, Saint Petersburg Scientific Design Bureau "Electroavtomaticheskaya" n.a. P. A. Efimov Saint Petersburg, Russia, nil-12@mail.ru
- Vladimir Suslov** – Associate professor, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; Head of expert council, Saint Petersburg Scientific Design Bureau "Electroavtomaticheskaya" n.a. P. A. Efimov, Saint Petersburg, Russia, postmaster@elavt.spb.ru

УДК 007.51

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ БАКТЕРИЙ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ

А.П. Саенко<sup>а</sup>, В.М. Мусалимов<sup>а</sup>, Ш. Лерм<sup>б</sup>, Г. Линц<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, musvm@yandex.ru

<sup>б</sup>Технический университет Ильменау, Ильменау, Германия, steffen.lerm@tu-ilmenau.de

Рассматривается один из способов решения актуальной проблемы обеспечения контроля качества продуктов питания с использованием методов машинного обучения. Существующие в настоящее время методы анализа требуют специального лабораторного оборудования, значительного времени и сильно зависят от квалификации и некоторых физиологических особенностей эксперта, в то время как предлагаемый метод позволяет существенно снизить затраты за счет автоматизации процесса. Рассмотрено устройство, реализующее данный метод, принцип действия которого основан на флуоресцентной микроскопии. Для набора обучающих данных решена задача классификации объектов на