

УДК 629.7.066.3

К ВОПРОСУ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖА ВОЗДУШНОГО СУДНА

О. С. Дятлова,¹

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Приводится описание разрабатываемых систем информационного обеспечения экипажа, в частности наиболее перспективные системы технического видения с расширенными возможностями визуализации. Формулируются первоочередные задачи, возникающие при их разработке, а именно задача контроля работы алгоритма наведения воздушного судна в целевую точку и задача повышения достоверности изображения, формируемого на коллиматорном индикаторе, путем комплексной обработки видеоизображения и цифровой модели рельефа. Предлагаются методы их решения.

Ключевые слова — система технического видения, директорная информация, подстилающая поверхность, видеоизображение, цифровая модель рельефа.

Введение

С развитием авиационной техники в гражданской авиации и авиации специального назначения происходит постоянное усложнение решаемых экипажем задач. Для снижения нагрузки на экипаж воздушного судна (ВС) и повышения безопасности полетов решается комплекс задач по предоставлению пилоту необходимой пилотажно-навигационной информации, а также информации о подстилающей поверхности в максимально удобной для восприятия и быстрого реагирования форме.

Наиболее востребованной и динамично развивающейся областью внедрения новых технических возможностей представляется информационное обеспечение экипажа поисково-спасательных судов, а также ВС гражданской авиации, совершающих полеты в темное время суток и при сложных погодных условиях, т. е. в условиях ограниченной видимости. Предлагаемые решения позволяют значительно расширить эксплуатационные ограничения ВС, повысить регулярность полетов за счет снижения метеоминимума ВС.

¹ Научный руководитель — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой открытых информационных технологий и информатики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения А. В. Гордеев.

Описание разрабатываемых систем технического видения

Для повышения безопасности в аэропортах, где недоступны или отсутствуют системы точного захода на посадку, а также для предупреждения столкновения в полете по сложным траекториям и в среде с многочисленными препятствиями и/или сложным рельефом земной поверхности предлагается, в частности, использовать следующие системы [1]:

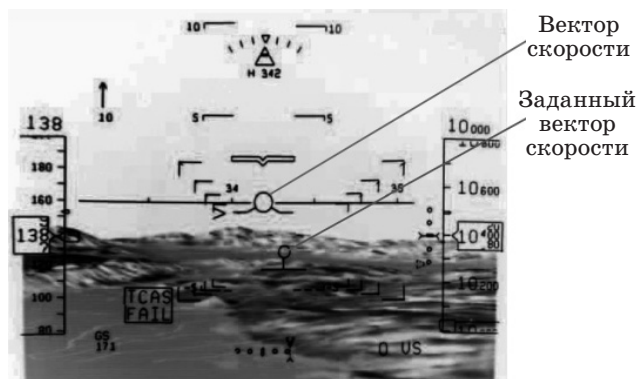
— технического видения (*Enhanced Vision System — EVS*), где на коллиматорный индикатор выводится изображение от радиолокационных, телевизионных и инфракрасных обзорных бортовых систем;

— синтезированного видения (*Synthetic Vision System — SVS*), где изображение на дисплее формируется путем графического представления цифровой модели рельефа (ЦМР), на которую накладывается пилотажно-навигационная информация;

— комбинированного видения (*Combined Vision System — CVS*);

— технического видения с расширенными возможностями визуализации (*Enhanced Flight Vision System — EFVS*).

В последнем случае помимо изображения от обзорных систем формируется директорная информация. Эта директорная информация представляет собой спроецированный на коллиматорный экран вектор скорости ВС и заданный вектор



■ Рис. 1. Вид индикатора с директорной информацией

скорости ВС, обеспечивающий полет по заданной траектории и/или наведение ВС на какую-либо целевую точку, например взлетно-посадочную полосу (ВПП) (рис. 1).

С точки зрения эксплуатационных преимуществ указанных систем наибольший интерес представляют системы технического зрения с расширенными возможностями визуализации, так как только они в соответствии с зарубежным стандартом, посвященным системам технического зрения DO-315, и Руководством по всепогодным полетам ИКАО 9365-AN/910 позволяют понизить метеоминимумы и уменьшить высоту принятия решения вплоть до 100 футов (30,5 м) [2, 3].

При разработке систем технического зрения с расширенными возможностями визуализации возник вопрос, как предупредить вероятность ошибки системы EVFS и ошибочного наведения ВС на целевую точку. Очевидно, что такая ошибка, например при посадке по Cat II в сложных метеоусловиях, когда световые ориентиры ВПП могут быть различимы только на высоте менее 60 м, может иметь катастрофические последствия.

С учетом необходимости представлять пилоту информацию о подстилающей поверхности в максимально удобной для восприятия и быстрого реагирования форме при разработке систем технического зрения с расширенными возможностями визуализации наибольший интерес представляют:

- 1) задача контроля работы алгоритма наведения ВС в целевую точку;
- 2) задача комплексной обработки данных о подстилающей поверхности, полученных от ИК-камеры, тепловизора, других источников видеоизображения, и ЦМР, хранящейся на борту ВС.

Метод контроля системы наведения ВС в целевую точку

Для решения первой задачи предлагается рассчитывать целевую точку полета ВС по экранным координатам вектора скорости, т. е. проекцию

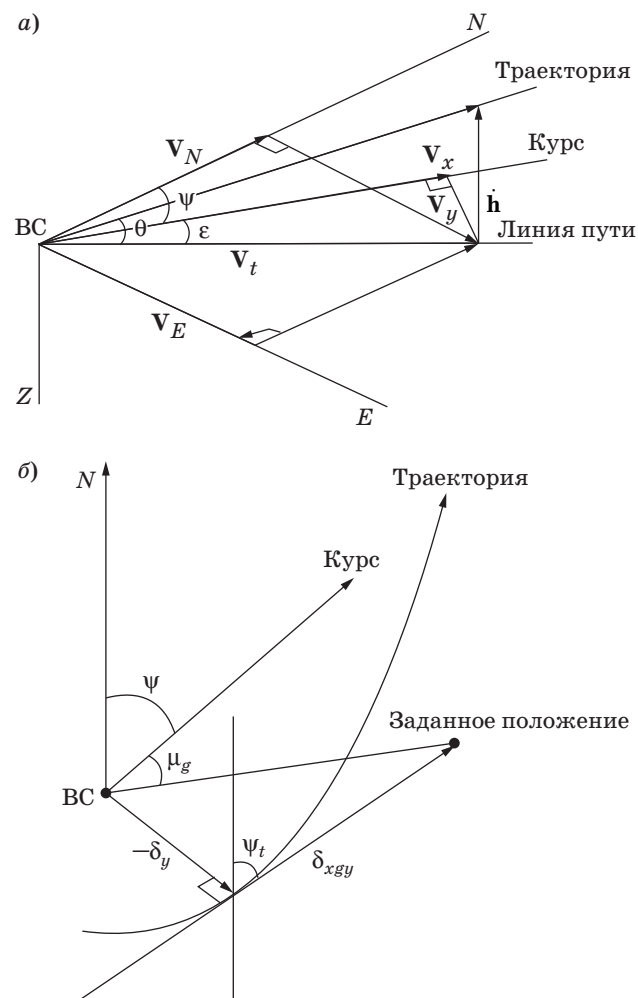
вектора скорости на подстилающую поверхность (ПП) с использованием ЦМР [4]. Последняя для этих целей может быть выполнена в виде базы данных (БД), хранящейся на борту. Рассчитав на конечном прямолинейном этапе захода на посадку географические координаты проекции вектора скорости и сравнив их с заданными координатами целевой точки, можно сделать вывод об исправности системы наведения ВС.

Упрощенный алгоритм расчета экранных координат символов директорной информации представлен на рис. 2, а.

В соответствии с рисунком экранные координаты символа вектора скорости должны рассчитываться по формулам

$$X_f = \varepsilon \cos \gamma - (\theta - \nu) \sin \gamma; \quad Y_f = \varepsilon \sin \gamma + (\theta - \nu) \cos \gamma,$$

где ε , γ , ν — угол сноса, крена, тангажа ВС соответственно; θ — угол наклона траектории полета ВС:



■ Рис. 2. Иллюстрация к алгоритму расчета вектора скорости (а) и заданного вектора скорости (б)

$$\theta = \frac{180}{\pi} \arctg \left(\frac{\dot{h}}{V_t} \right),$$

где \dot{h} — вертикальная скорость ВС; V_t — путевая скорость ВС.

В соответствии с рис. 2, б экранные координаты заданного вектора скорости должны рассчитываться по формулам

$$X_g = \mu_g \cos \gamma - (\eta_g - v) \sin \gamma;$$

$$Y_g = \mu_g \sin \gamma + (\eta_g - v) \cos \gamma,$$

где μ_g — отклонение от заданного положения по курсу; η_g — отклонение от заданного положения по тангажу;

$$\mu_g = \psi_t - \psi - \arctg \left(\frac{\delta_y}{\delta_{xgy}} \right),$$

ψ_t — угол касательной к заданной траектории полета; δ_y — расстояние от ВС до заданной траектории полета в горизонтальной плоскости;

$$\delta_{xgy} = V_t T_{gy},$$

где T_{gy} — заданное время маневра в вертикальной плоскости;

$$\eta_g = \frac{180}{\pi} \arctg \left(\frac{h_g - h}{\delta_{xgh}} \right),$$

$$h_g = (d - \delta_{xgh}) \operatorname{tg} \Gamma,$$

здесь d — расстояние до ВПП; Γ — заданный угол наклона траектории полета;

$$\delta_{xgh} = V_t T_{gh},$$

где T_{gh} — заданное время маневра в горизонтальной плоскости.

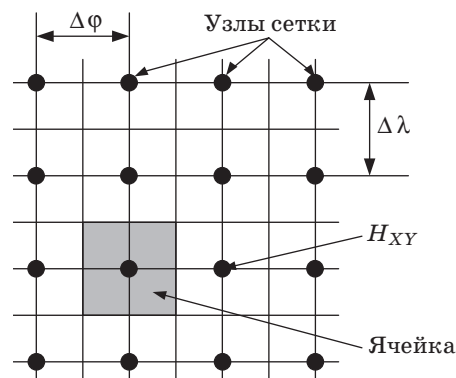
Цифровая модель рельефа представляет собой совокупность значений отметок превышений рельефа, привязанных к узлам регулярной сетки (рис. 3), и является цифровым выражением высотных характеристик рельефа на топографической карте. Цифровую модель рельефа характеризуют следующие параметры:

- зона покрытия; шаг между узлами сетки по широте и долготе ($\Delta\lambda$, $\Delta\varphi$); используемый опорный эллипсоид для определения горизонтальных координат (например, WGS-84);

- точность представления горизонтальных координат (характеризуется количеством используемых десятичных знаков);

- среднеквадратическая ошибка (СКО) и смещение оценки горизонтальных координат; используемая горизонтальная проекция (например, UTM*);

* UTM — универсальная поперечная проекция Меркатора, называемая также проекцией Гаусса — Боага.



■ Рис. 3. Хранение значений высоты в БД ЦМР: H_{XY} — высота в узле сетки

- используемый уровень отсчета высоты (например, средний уровень моря, WGS-84);
- точность представления высоты (характеризуется количеством используемых десятичных знаков);
- СКО и смещение оценки высоты; способ расчета высоты в узле (например, максимальное значение в ячейке, среднее значение в ячейке);
- целостность;
- единицы измерения.

В дальнейшем будем считать, что для контроля работы алгоритма наведения используются ЦМР с параметрами [5], перечисленными в таблице. Существуют различные методы расчета высоты в узле сетки, например максимальное

■ Основные параметры ЦМР

Параметр	Значение
Шаг между узлами сетки по долготе и широте	В зависимости от режима полета и точности навигационных данных: $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 30''$; $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 15''$; $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 6''$
Опорный эллипсоид для определения горизонтальных координат	WGS-84
СКО и смещение оценки горизонтальных координат	$\sigma_\lambda = 25, \Delta = 0$
Уровень отсчета высоты	Уровень моря
СКО и смещение оценки максимальной высоты внутри ячейки, м	$\sigma_h = 15, \Delta = 0$
Способ расчета высоты в узле	Максимальное превышение рельефа в пределах ячейки — квадрат со стороной $a = \Delta\lambda = \Delta\varphi$, построенный так, чтобы его узел находился в центре ячейки (см. рис. 3)

или среднее значение превышения рельефа в пределах ячейки [6]. При разработке системы синтетического видения в целях повышения надежности необходимо производить построение изображения рельефа местности в любой точке с заданными координатами, выбирая максимальное превышение в пределах соответствующей ячейки.

Очевидно, что шаг сетки отображаемой поверхности должен быть различным для различных этапов полета ВС. Также возможен переход на использование БД с большим или меньшим шагом сетки при соответственном ухудшении или улучшении точности определения навигационных параметров.

Определение координат целевой точки полета по экранным координатам вектора скорости можно осуществить в соответствии со следующим алгоритмом (рис. 4).

1. Входные данные: X_f — горизонтальная экранная координата вектора скорости; Y_f — вертикальная экранная координата вектора скорости; H_a — высота ячейки ЦМР; H_t , φ_1 , λ_1 — соответственно высота, широта, долгота ВС; R — радиус Земли.

2. Проекция расстояния S_f до целевой точки определяется итерационным способом от 0 до значения, для которого будет верным соотношение

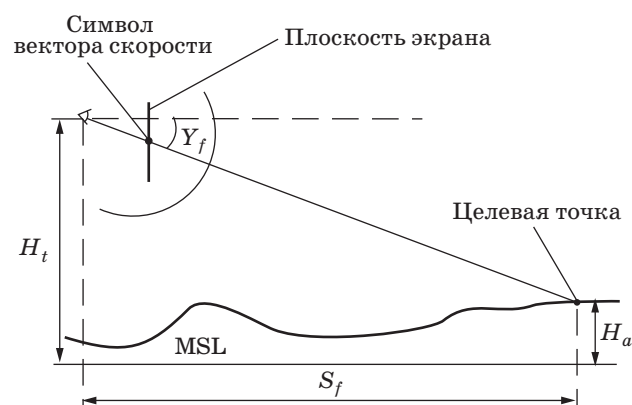
$$H_t - S_f \cdot \text{tg}(Y_f) \geq H_a.$$

3. Определение координат целевой точки полета осуществляется по формулам

$$\lambda_f = \lambda_1 + \arctg \left[\frac{\sin(X_f) \cdot \sin\left(\frac{S_f}{R}\right)}{\cos(\varphi_1) \cdot \cos\left(\frac{S_f}{R}\right) - \sin(\varphi) \cdot \sin\left(\frac{S_f}{R}\right) \cdot \cos(X_f)} \right];$$

$$\varphi_f = \arcsin \times$$

$$\times \left(\sin(\varphi_1) \cdot \cos\left(\frac{S_f}{R}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \sin\left(\frac{S_f}{R}\right) \cdot \cos(X_f) \right).$$



■ Рис. 4. Схема для расчета координат целевой точки: MSL — средний уровень моря (Mean Sea Level)

На следующем этапе полученные координаты целевой точки сравниваются с хранящимися в БД соответствующими значениями. В рассматриваемом случае прямолинейного участка захода на посадку речь идет о координатах порога ВПП. В случае недопустимого отклонения, превышающего порог Thr , расчетных значений от имеющихся в БД принимается решение об отказе алгоритма и снятии директорных символов с индикации. В качестве порога Thr предлагается использовать значение погрешности косвенных измерений, возникающих в процессе расчета координат целевой точки по информации об угловом положении ВС. В работе [4] была приведена оценка этих погрешностей в зависимости от погрешностей измерения входных параметров.

Метод комплексной обработки видеоизображения подстилающей поверхности и ЦМР

Получение максимально достоверной картинки на коллиматорном индикаторе возможно в случае комплексной обработки данных о подстилающей поверхности, полученных от ИК-камеры, тепловизора, других источников видеоизображения, и ЦМР. При этом одновременно выводить видеоинформацию от обоих источников нецелесообразно, поскольку картинка в этом случае будет чрезмерно перегружена.

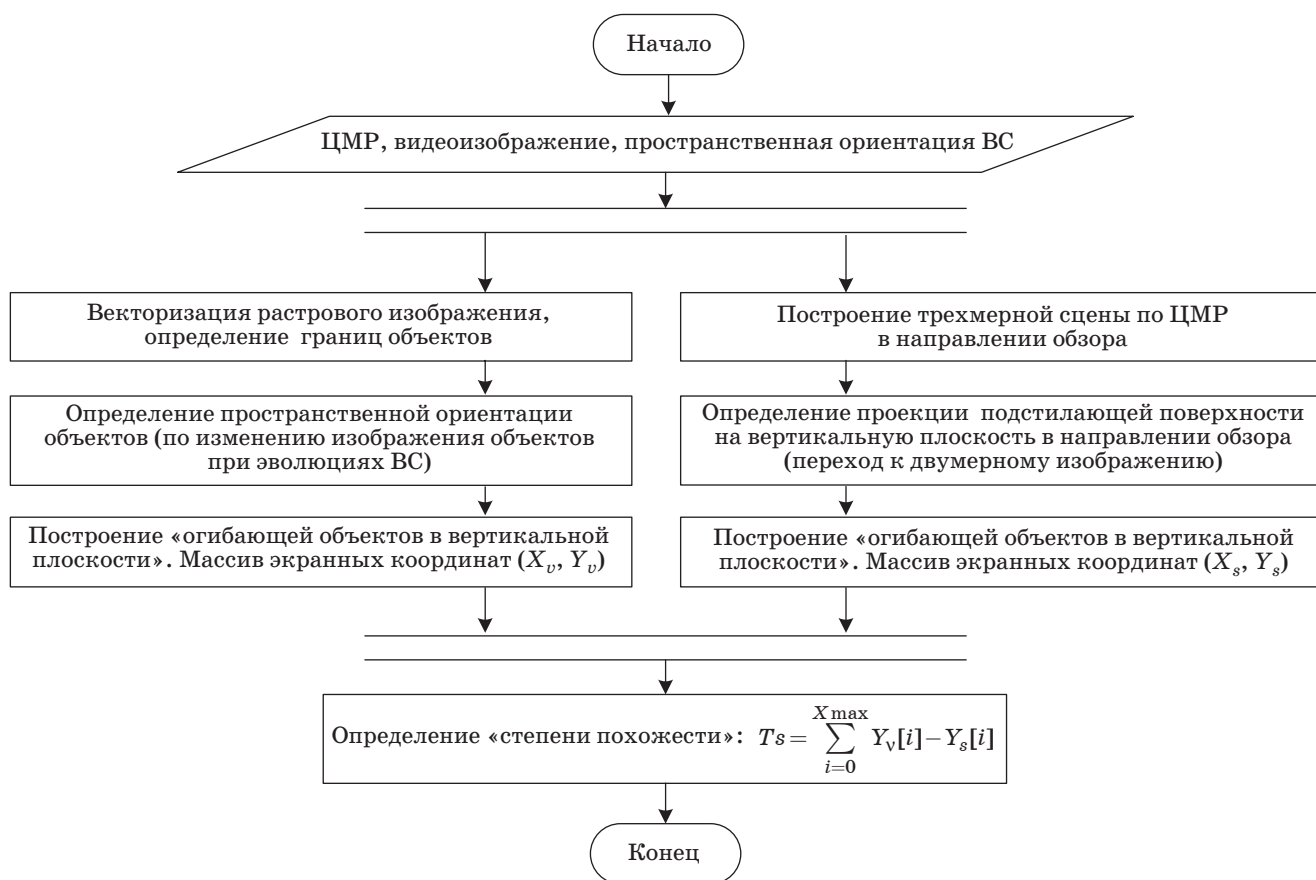
В настоящее время практикуется раздельное представление данных по этим каналам [7, 8]:

— пространственное разделение видеоинформации, когда изображение от ИК-камеры выводится на коллиматорный индикатор, а синтезированное — на основной пилотажный индикатор;

— временное разделение, когда изображение от указанных источников выводится в поле зрения пилота поочередно.

В обоих случаях говорить о комплексной обработке изображения не приходится. Адекватность и соответствие видеоинформации от ИК-камеры и синтезированного изображения оценивается пилотом визуально. Такой подход противоречит целям внедрения систем индикации на лобовом стекле в гражданскую авиацию в части снижения нагрузки на пилота. Решив задачу комплексной обработки данных по двум указанным каналам, это противоречие можно будет устранить.

Для анализа соответствия данных, получаемых от двух источников, необходимо в первую очередь привести изображения к одинаковой размерности, так как ЦМР содержит трехмерный массив данных, а выдаваемое ИК-камерой изображение является двумерным.



■ Рис. 5. Алгоритм анализа изображений

С учетом вышесказанного предлагается алгоритм анализа изображений, показанный на рис. 5.

После определения степени похожести полученных кривых предлагается выполнить ее сравнение с порогом Thr . Когда порог не превышен, $Ts \leq Thr$, на отображение выводится только изображение от ИК-камеры, поскольку оно более информативно и не противоречит данным ЦМР. Превышение порога может быть вызвано наличием в видеоизображении метеообразований или ошибками в БД ЦМР. В этом случае на отображение выводится предупреждение о несоответствии и кривая (X_s, Y_s) . На основании этой информации пилот сможет принять решение об использовании той или иной системы индикации.

Заключение

В статье были рассмотрены задачи контроля работы алгоритма наведения ВС в целевую точку в системах технического видения и повышения достоверности изображения, формируемого на коллиматорном индикаторе, путем комплексной обработки видеоизображения и ЦМР. Предложенные алгоритмы решения поставленных задач позволяют повысить надежность разрабатываемых систем индикации, а также производить мониторинг целостности ЦМР по маршруту полета ВС. В дальнейшем необходимо провести экспериментальное моделирование работы представленных алгоритмов, получить оценку их трудоемкости и необходимых вычислительных ресурсов.

Литература

1. Bailey R. E., Kramer L. J., L. Prinzel III Fusion of Synthetic and Enhanced Vision for All-Weather Commercial Aviation Operations / NASA Langley Research Center. USA. Hampton, VA 23185. [http://ntrs.](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070018792_2007018398.pdf)

nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070018792_2007018398.pdf. (дата обращения: 13.06.2008).
2. Minimum Aviation System Performance Standarts (MASPS) for Enhanced Vision Systems, Synthetic Vi-

- sion Systems, Combined Vision Systems and Enhanced Flight Vision Systems / RTCA / DO-315. — Washington, D.C.: RTCA, Inc., 2008. — 96 p.
3. **Руководство по всепогодным полетам Doc 9365-AN/910.** Изд. второе / ИКАО, 1991. — 81 с.
 4. **Дятлова О. С.** Метод контроля исправности системы технического видения с наведением // Научная сессия ГУАП: Сб. докл.: В 3 ч. Ч. 1. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2010. С. 11–14.
 5. **User Requirements for Terrain and Obstacle Data, Federal Aviation Administration / RTCA / DO-276.** Washington, D.C.: RTCA, Inc., 2002. 94 p. http://www.rtca.org/downloads/DEC%202004%20-%2005-01-06.htm#_Toc92863902, \$195.00. (дата обращения: 10.08.2008).
 6. **Standards for Digital Elevation Models, DEM Level 1 / National Mapping Program, 1998.** 17 p. <http://nationalmap.gov/gio/standards/> (дата обращения: 13.06.2008).
 7. **Theunissen E., Roefs F. D., Koeners G. J. M.** Integration of imaging sensor data into a synthetic vision display. <http://www.synthetic-vision.tudelft.nl/SVatDelftUofT/publications.htm> (дата обращения: 22.05.2010).
 8. **Bailey R. E., Kramer L. J.** Fusion of Synthetic and Enhanced Vision for All-Weather Commercial Aviation Operations. http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070018792_2007018398.pdf (дата обращения: 22.05.2010).

Уважаемые подписчики!

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2006 г. г. в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>) и на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>). Печатную версию архивных выпусков журнала за 2003–2009 г. г. Вы можете заказать в редакции по льготной цене.

Журнал «Информационно-управляющие системы» выходит каждые два месяца. Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 3600 рублей, для подписчиков стран СНГ — 4200 рублей, включая НДС 18 % и почтовые расходы.

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья), вы можете подписаться на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>).

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогам:

«Роспечать»: № 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс,

а также посредством:

«Северо-Западное Агентство «Прессинформ»»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05, эл. почта: press@crp.spb.ru, zajavka@crp.spb.ru, сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

Подписное агентство «МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

Москва, тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47, эл. почта: export@periodicals.ru, сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Москва, тел.: (495) 787-38-73, эл. почта: Alfimov@viniti.ru, сайт: <http://www.informnauka.com>

«Артос-Гал»

Москва, тел.: (495) 603-27-28, 603-27-33, 603-27-34, сайт: <http://www.artos-gal.mpi.ru/index.html>

«ИНТЕР-ПОЧТА-2003»

Москва, тел.: (495) 500-00-60, 580-95-80, эл. почта: interpochta@interpochta.ru, сайт: <http://www.interpochta.ru>

Краснодар, тел.: (861) 210-90-00, 210-90-01, 210-90-55, 210-90-56, эл. почта: krasnodar@interpochta.ru

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: podpiska@delpress.ru, сайт: <http://delpress.ru/contacts.html>

«Коммерсант-Курьер»

Казань, тел.: (843) 291-09-99, 291-09-47, эл. почта: kazan@komcur.ru, сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan/>

«Урал-Пресс» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«BTL» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html>

и др.