УДК 626.735.33

АВИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК ОБЪЕКТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л.Н. ЕЛИСОВ[1], Н.И. ОВЧЕНКОВ[2]
[1]Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Россия
[2] ООО «Производственно-сервисный центр «Электроника», г. Ярославль, Россия

В работе представлена постановка задачи математической формализации предметной области, связанной с авиационной безопасностью в гражданской авиации. Задача формализации обусловлена и инициирована современным состоянием проблемы обеспечения авиационной безопасности. Обеспечение авиационной безопасности в современных системах реализуется на основе организационно-нормативного принципа управления безопасностью, который не предполагает измерения уровня безопасности в количественном эквиваленте. Указанный принцип управления позволяет решать задачу обеспечения авиационной безопасности без оценки оптимальности принимаемых решений и оценки эффективности используемых средств обеспечения. Вопрос о приемлемом уровне авиационной безопасности остается в некотором смысле открытым, поскольку контроль за его обеспечением осуществляется в форме инспекционных мероприятий, отвечающих на вопрос о соответствии мер защиты объекта установленным требованиям. При этом остается открытой проблема измеримости требований и субъективности оценок.

В последние годы наметилась вполне определенная тенденция рассматривать вопросы обеспечения авиационной безопасности с точки зрения оптимального управления ее уровнем с последовательным решением задач идентификации, измерения, оценки и принятия решений. Анализ полученных результатов в данном направлении показывает настоятельную необходимость перехода к проблеме формализации предметной области, обеспечивающей математическое моделирование с целью оптимизации процесса управления авиационной безопасностью.

С этой целью авиационная безопасность показана как некоторое состояние, связанное с определенными параметрами исследуемого объекта, количественное отображение которых в динамике их изменения под воздействием внешних и внутренних факторов остается в допустимых с точки зрения функционирования объекта границах. В таком случае состояние объекта защиты можно рассматривать как некоторую его характеристику, связанную с неравномерной, неоднородной и нестабильной средой, обеспечивающей защиту этого объекта. При этом среда формируется средствами защиты объекта, которые представляют собой определенную номенклатуру технических и иных функциональных элементов, решающих задачу противодействия внутренним и внешним факторам угроз. Исследуемые параметры связаны с качеством системы защиты объекта, зависящем от используемых средств защиты. Показано, что предложенная модель относится к классу краевых задач, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных. Представлена классификация краевых задач.

Ключевые слова: авиационная безопасность, формализация, моделирование, уязвимость объекта защиты, качество системы защиты, краевая задача, дифференциальные уравнения в частных производных, классификация.

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Авиационная безопасность (АБ) определяется как состояние защищенности авиации от незаконного вмешательства в деятельность в области авиации [1]. Незаконное вмешательство в деятельность в области авиации – противоправные действия (бездействие), угрожающие безопасной деятельности в области авиации, повлекшие за собой несчастные случаи с людьми, материальный ущерб, захват или угон воздушного судна либо создавшие угрозу наступления таких последствий [2].

Если рассматривать авиационную безопасность как предметную область научных исследований, следует заметить, что на современном этапе исследователи сосредоточены на проблеме обеспечения авиационной безопасности, т. е. предметом исследования являются средства (технические, экономические, нормативные, ресурсные и другие) обеспечения.

В последние годы наметилась вполне определенная тенденция рассматривать вопросы обеспечения авиационной безопасности с точки зрения оптимального управления ее уровнем с последовательным решением задач идентификации, измерения, оценки и принятия решений.

Анализ полученных результатов в данном направлении показывает настоятельную необходимость перехода к проблеме формализации предметной области, обеспечивающей математическое моделирование с целью оптимизации процесса управления авиационной безопасностью.

На первом этапе формализации необходимо уточнить понятийный аппарат. Анализ совокупности различных определений безопасности показывает, что они связаны с двумя понятиями – состояние и риск. Понятие риск в данной работе не рассматривается. Понятие состояние связано с определенными параметрами исследуемого объекта, количественное отображение которых в динамике их изменения под воздействием внешних и внутренних факторов остается в допустимых с точки зрения функционирования объекта границах. Тогда состояние объекта защиты можно рассматривать как некоторую его характеристику, связанную с неравномерной, неоднородной и нестабильной средой, обеспечивающей защиту этого объекта. При этом среда формируется средствами защиты объекта, которые представляют собой определенную номенклатуру технических и иных функциональных элементов, решающих задачу противодействия внутренним и внешним факторам угроз.

Неравномерность среды определяется точечным характером действия средств защиты. Неоднородность зависит от принципов физической реализации средств защиты. Нестабильность определяется динамикой параметров объекта защиты.

Количественным отображением состояния объекта защиты с точки зрения авиационной безопасности является понятие уязвимость, которая представляет собой степень защищенности объектов транспортной инфраструктуры, оцениваемая как степень соответствия характеристик защиты установленным требованиям. Известно также понятие качество, которое рассматривается как степень соответствия присущих характеристик требованиям. В таком случае можно утверждать, что качество средств защиты объекта, с определенными ограничениями, можно идентифицировать как величину, обратную уязвимости [2].

Отсюда можно сделать важный вывод: качество средств защиты объекта транспортной инфраструктуры является параметром среды, обеспечивающей защиту объекта. Иными словами, существует некоторое воображаемое поле защиты объекта гражданской авиации, обеспечивающее противодействие совокупности действующих или предполагаемых угроз, управляемым параметром которого является качество средств защиты. Предложенная лингвистическая постановка задачи рассмотрена в работе авторов [2], где в качестве первого шага на пути формализации лингвистического описания разработана структурно-логическая модель уязвимости.

Предложенная модель относится к классу краевых задач, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных. Следует заметить, что предложенная лингвистическая постановка задачи, и тем более структурно-логическая модель уязвимости, достаточно несовершенны и не отражают некоторых нюансов реально существующих физических процессов в области авиационной безопасности. Вместе с тем, за отсутствием каких-либо моделей вообще, такую постановку задачи можно принять при условии уточнения модели по завершении этапа формализации.

Исходя из изложенного выше, на данном этапе возникает задача анализа математического аппарата теории краевых задач с целью оценки возможностей его применимости для формализации параметров поля защиты объекта транспортной инфраструктуры от незаконного вмешательства.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЗАДАЧИ

Краевая задача для дифференциальных уравнений в частных производных – это задача получения решения в заданной области при заданных дополнительных ограничениях в точках границы (краевых или граничных условиях). Краевые задачи могут быть прямыми, обратными, задачами идентификации, инверсными, индуктивными, обращенными и другими [3, 4].

Краевая задача для линейного уравнения n-го порядка имеет вид

$$L(y) = f(x),\ U\mu(y) = \gamma\mu,\ \mu = 1, 2, \ldots, m,$$

где $L(y) = \sum_{v=0}^{n} f_v(x) y^{(v)}$.

Функции $f(x)$ и $fv(x)$ непрерывны на отрезке $a \le x \le b$, $fn(x) \neq 0$, краевые условия заданы линейными формами $U_\mu(y) = \sum_{k=0}^{n-1}\left[\alpha_\mu^{(k)} y^{(k)}(a) + \beta_\mu^{(k)} y^{(k)}(b)\right]$, $\mu = 1, 2, \ldots, m$, $\gamma\mu$ – заданные числа.

Смешанная (краевая) задача для уравнения гиперболического типа – это задача нахождения функции $u(x, t) \in C^2(Q_\infty) \cap C^1(\overline{Q}_\infty)$, удовлетворяющей уравнению

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \mathrm{div}\,(p\ \mathrm{grad}\ u) - qu + F(x, t),\ (x, t) \in Q_\infty,$$

начальным условиям

$$u_{|t=0} = u_0(x),\ \frac{\partial u}{\partial t_{|t=0}} = u_1(x),\ x \in \overline{G}$$

и граничному условию

$$\alpha u + \beta \frac{\partial u}{\partial n}|s = 0.$$

Смешанная (краевая) задача для уравнения параболического типа [6] состоит в нахождении функции $u(x, t) \in C^2(Q_\infty) \cap C^1(\overline{Q}_\infty)$, $\mathrm{grad}_x\ u \in C(\overline{Q}_\infty)$, удовлетворяющей уравнению

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \mathrm{div}\,(p\ \mathrm{grad}\ u) - qu + F(x, t),\ (x, t) \in Q_\infty,$$

начальному условию

$$u_{t=0} = u_0(x),\ x \in \overline{G}$$

и граничному условию

$$\alpha u_0 + \beta \frac{\partial u}{\partial n} = \nu\,(x, t),\ (x, t) \in S \times [0, \infty).$$

Для уравнений эллиптического типа известны следующие краевые задачи (трехмерное уравнение Лапласа) [7] $\Delta_u = 0$. Область $G \in \mathbb{R}^3$такова, что $G_1 = \mathbb{R}^3 \backslash G$.

• Внутренняя задача Дирихле: найти гармоническую в области G функцию $u \in C(\overline{G})$, принимающую на границе S заданные (непрерывные) значения $u_{\overline{0}}$.

• Внешняя задача Дирихле: найти гармоническую в области G_1 функцию $u \in C(\overline{G}_1)$, принимающую на S заданные (непрерывные) значения u_0^+ и обращающуюся в нуль на бесконечности.

• Внутренняя задача Неймана: найти гармоническую в области G функцию $u \in C(\overline{G})$, имеющую на S заданную (непрерывную) правильную нормальную производную u_1^-.

• Внешняя задача Неймана: найти гармоническую в области G_1 функцию $u \in C(\overline{G}_1)$, имеющую на S заданную (непрерывную) правильную нормальную производную u_1^+ и обращающуюся в нуль на бесконечности.

Аналогичные краевые задачи ставятся для уравнения Пуассона [8]: $\Delta_u = -f$.

Таким образом, математический аппарат теории краевых задач содержит практически исчерпывающий перечень математических моделей для формального представления различных физических процессов, в том числе в теории поля. Если мы ставим задачу формализации гипотетического поля опасностей и поля защиты от этих опасностей, необходимо решить задачу идентификации параметров этих полей. На сегодняшний день такая задача не решена.

КЛАССИФИКАЦИЯ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

Математическая классификация уравнений с частными производными важна потому, что для каждого класса уравнений существуют свои методы решения [9].

1. Порядок уравнения – наивысший порядок частных производных, входящих в уравнение (уравнение второго порядка $u_{xx} = u_l$).

2. Число независимых переменных ($u_{xx} = u_l$ – уравнение с двумя переменными x и t).

3. Линейность. Дифференциальное уравнение называется линейным, если оно линейно относительно искомой функции и всех ее производных:

$$A\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + D\frac{\partial u}{\partial x} + E\frac{\partial u}{\partial y} + F_u = G,$$

где *A, B, C, D, E, F и G* – константы или заданные функции независимых переменных x и y.

Нелинейное уравнение – уравнение, описывающее нестационарный процесс в трехмерном пространстве, функции σ_1 определяют параметры вещества пространства.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\sigma_1(x,y,z,t,u)\frac{\partial u}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\sigma_2(x,y,z,t,u)\frac{\partial u}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\sigma_3(x,y,z,t,u)\frac{\partial u}{\partial z}\right] =$$
$$= \alpha(x,y,z,t,u)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + b(x,y,z,t,u)\frac{\partial u}{\partial t} + c(x,y,z,t,u)u + d.$$

4. Однородность. Уравнение называется однородным, если G = 0, в противном случае уравнение называется неоднородным.

5. Виды коэффициентов. Если коэффициенты A, B, C, D, E и F уравнения постоянны, то уравнение называется уравнением с постоянными коэффициентами. Если коэффициенты являются функциями независимых переменных, то уравнение называется уравнением с переменными коэффициентами. Если коэффициенты являются функциями решения, то уравнение является нелинейным (уравнением с нелинейными коэффициентами).

6. Классификация линейных уравнений. Линейные дифференциальные уравнения в частных производных второго порядка вида делятся на три типа:

а) эллиптические уравнения, если $B^2 - 4AC < 0$,

б) параболические уравнения, если $B^2 - 4AC = 0$,

в) гиперболического типа, если $B^2 - 4AC > 0$.

Значения функции ищутся внутри некоторой области S (или вне области во внешних задачах), ограниченной граничной поверхностью Г для трехмерных задач или линией Г для двумерных задач. На границе задаются *граничные условия*, многие из которых могут быть представлены в виде

$$\left(\alpha u + \beta\frac{\partial u}{\partial n}\right)_{\Gamma} = f,$$

где α и β – заданные функции точки границы Г;

f – известная функция, возможно, зависящая от решения u;

$\partial u/\partial n$ – производная искомой функции по нормали к границе Г.

В зависимости от значений функций α и β выделяют три важных частных случая граничных условий:

– граничные условия первого рода (условия Дирихле) $u_{|\Gamma} = f_1$, $\beta = 0$;

– граничные условия второго рода (условия Неймана) $\frac{\partial u}{\partial n} = f_2$, $\alpha = 0$;

– граничные условия третьего рода (условия Робена).

Для нестационарных задач, описывающих процессы во времени, должны быть также заданы начальные условия $u_{|t=0} = \varphi$, описывающие состояние объекта в начальный момент времени. Совокупность граничных и начальных условий называется краевыми условиями.

Уравнения эллиптического типа описывают стационарные процессы, в которых решение не меняется во времени. Частными случаями уравнений эллиптического типа являются:

Уравнение Лапласа

$$\nabla^2 u = 0,$$

где $\nabla^2 = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа;

Уравнение Пуассона

$$\nabla^2 = \mathrm{d}.$$

Уравнения параболического типа описывают нестационарные процессы в пространстве, например, уравнение Фурье

$$\nabla^2 \mathrm{u} = \mathrm{b}\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{t}}.$$

Уравнения гиперболического типа описывают колебательные процессы:

$$a^2\nabla^2 u + b = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}.$$

Вопрос о выборе уравнения, адекватно описывающего гипотетическое поле защиты объекта транспортной инфраструктуры, остается открытым. Представленная классификация уравнений с частными производными показывает их широкие возможности для описания таких процессов, однако с учетом серьезной неопределенности в понимании физического смысла поля защиты объекта и его интерпретации через какие-то физически реализуемые параметры ставит задачу формализации в класс неточных задач. В таком случае необходим эвристический подход. Отсюда возникает вопрос о методах решения.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Ниже представлены некоторые подходы к аналитическому решению краевых задач.

Запишем дифференциальное уравнение в оперативном виде

$$A(\varphi) = p \text{ в области } \Omega, \tag{1}$$

где A – линейный дифференциальный оператор.

Решение уравнения (1) должно удовлетворять операторным краевым условиям

$$B(\varphi) = r \text{ на границе } \Gamma. \tag{2}$$

Построим аппроксимацию $\hat{\varphi}$ для решения φ в виде разложения

$$\varphi \approx \hat{\varphi} = \psi + \sum_{m=1}^{M} a_m N_m, \qquad (3)$$

где N_m, m = 1, 2, …, M – линейно независимые базисные функции, причем $B(N_m)$ = 0, m = 1, 2, …, M на Г;
функция ψ удовлетворяет граничным условиям (2) $B(\psi) = r$ на Г;
a_m, m = 1, 2, …, M – некоторые параметры, вычисляемые таким образом, чтобы получить хорошее приближение.

Так как (3) удовлетворяет краевым условиям, то для получения аппроксимации необходимо гарантировать, что $\hat{\varphi}$ является приближенным решением уравнения. Запишем невязку, учитывая линейность оператора A:

$$R_\Omega = A(\hat{\varphi}) - p = A_\psi + \sum_{m=1}^{M} a_m A N_m - p. \qquad (4)$$

Чтобы получить нулевую невязку (4) всюду в области решения Ω, применим метод взвешенных невязок

$$\int_\Omega W_\iota R_\Omega d\Omega = \int_\Omega W_\iota \left\{ A_\psi + \sum_{m=1}^{m} a_m A N_m - p \right\} d\Omega = 0, \ \ \iota = 1, 2, \dots, M, \qquad (5)$$

где W_ι, $\iota = 1, 2, \dots, M$ – линейно независимые весовые функции.

Выражение (5) описывает уравнения системы линейных алгебраических уравнений относительно a_m. Эту систему можно записать в виде

$$\mathrm{Ka} = \mathrm{f},$$

где K – матрица с элементами $K_{\iota m} = \int_\Omega W_\iota A N_m d\Omega, \ 1 \le \iota, m \le M$,
f – вектор с элементами $f_\iota = \int_\Omega W_\iota p d\Omega - \int_\Omega W_\iota A\psi d\Omega, \ 1 \le \iota, m \le M$,
a – искомый вектор.

Описанная процедура отыскания приближенного решения операторного уравнения (1) называется методом коллокации.

В методе Галеркина (Бубнова – Галеркина) базисные функции совпадают с весовыми и элементы матрицы K и вектора f вычисляются по формулам

$$K_{\iota m} = \int_\Omega N_\iota A N_m d\Omega, \qquad f_\iota = \int_\Omega N_\iota p d\Omega - \int_\Omega N_\iota A\psi d\Omega.$$

В большинстве случаев аналитические методы решения краевых задач имеют ограниченное применение. В таком случае используются численные методы [5, 10]. Применительно к нашей задаче, когда в основе решения лежат в том числе эвристические процедуры, можно говорить только о каком-то комбинированном методе решения, включая методы принятия решений и методы экспертизы в совокупности с теорией краевых задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленное исследование показывает принципиальную возможность формализации и моделирования гипотетических полей опасности и защиты объектов гражданской авиации от незаконного вмешательства в их деятельность с применением математического аппарата теории краевых задач в частных производных. Однако при этом возникают методологические и математические проблемы, связанные с непреодолимой сложностью точной идентификации параметров указанных полей. В этом случае предлагается использовать эвристические процедуры. Тогда возникает вопрос о корректном встраивании эвристических процедур в достаточно точные модели, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных, что, скорее всего, приведет к некоторой неадекватности моделей и реальных процессов. В таком случае предлагается рассмотреть комплексный подход с использованием теории принятия решений, экспертных методов и теории краевых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисов Л.Н. Введение в теорию авиационной безопасности / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков, Р.С. Фадеев; под. ред. Л.Н. Елисова. Ярославль: Филигрань, 2016. 320 с.

2. Воздушный кодекс РФ. ФЗ от 08.07.1999 г. № 150-ФЗ с изменениями, внесенными в период 2004–2016 гг.

3. Горбаченко В.И. Нейрокомпьютеры в решении краевых задач теории поля. Кн. 10: уч. пособие для вузов. М.: Радиотехника, 2003. 336 с.

4. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. М.: Мир, 1985. 384 с.

5. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978. 512 с.

6. Елисов Л.Н., Баранов В.В. Управление и сертификация в авиационной транспортной системе. М.: Воздушный транспорт, 1999. 352 с.

7. Вазов В. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных / В. Вазов, Дж. Форсайт. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. 488 с.

8. Воеводин В.В. Математические модели и методы в параллельных процессах. М.: Наука, 1986. 296 с.

9. Головкин Б.А. Параллельные вычислительные системы. М.: Наука, 1980. 519 с.

10. Параллельные вычисления / под ред. Г. Родрига. М.: Наука, 1986. 376 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елисов Лев Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, lev.el@list.ru.

Овченков Николай Иванович, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «ПСЦ «Электроника», ovchenkov@electronika.ru.

AVIATION SECURITY AS AN OBJECT OF MATHEMATICAL MODELING

Lev N. Elisov[1], Nikolaj I. Ovchenkov[2]
Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia
Elektronika, PSC, LLC, Yaroslavl, Russia

ABSTRACT

The paper presents a mathematical formulation of the problem formalization of the subject area related to aviation security in civil aviation. The formalization task is determined by the modern issue of providing aviation security. Aviation security in modern systems is based upon organizational standard of security control. This standard doesn't require calculating the security level. It allows solving the aviation security task without estimating the solution and evaluating the performance of security facilities. The issue of acceptable aviation security level stays unsolved, because its control lies in inspections that determine whether the object security facilities meet the requirements or not. The pending problem is also in whether the requirements are calculable and the evaluation is subjective.

Lately, there has been determined quite a certain tendency to consider aviation security issues from the perspective of its level optimal control with the following identification, calculation and evaluation problems solving and decision making. The obtained results analysis in this direction shows that it's strongly recommended to move to object formalization problem, which provides a mathematical modeling for aviation security control optimization.

In this case, the authors assume to find the answer in the process of object formalization. Therefore aviation security is presented as some security environment condition, which defines the parameters associated with the object protection system quality that depends on the use of protective equipment in conditions of counteraction to factors of external and internal threats. It is shown that the proposed model belongs to a class of boundary value problems described by differential equations in partial derivatives. The classification of boundary value problems is presented.

Key words: aviation security, formalization, modeling, security object vulnerability, security system quality, boundary value problem, differential equations in partial derivatives, classification.

REFERENCES

1. Elisov L.N., Ovchenkov N.I., Fadeev R.S. *Vvedenie v teoriyu aviatsionnoy bezopasnosti* [Introduction to the theory of Aviation Safety]. Ed. by L.N. Elisov. Yaroslavl, Filigran, 2016, 320 p.

2. Air Code of the Russian Federation, the Federal Law of 08.07.1999 g. № 150-FZ as amended during 2004–2016. (in Russian)

3. Gorbachenko V.I. *Neyrokompyuteryi v reshenii kraevyih zadach teorii polya. Kn. 10.* [Neurocomputers in solving boundary value problems of field theory. Vol. 10. Textbook for Higher Educational Institutions]. M., Radio Engineering, 2003, 336 p. (in Russian)

4. Farlow C. *Uravneniya s chastnyimi proizvodnyimi dlya nauchnyih rabotnikov i inzhenerov* [Partial derivatives equations for Scientists and Engineers]. M., Mir, 1985, 384 p. (in Russian)

5. Kalitkin N.N. *Chislennyie metodyi* [Numerical methods]. M., Nauka, 1978, 512 p.

6. Elisov L.N., Baranov V.V. *Upravlenie i sertifikatsiya v aviatsionnoy transportnoy sisteme* [The Management and certification in the aviation transport system]. M., Air transport, 1999, 352 p.

7. Vazov V., Foresight G. *Raznostnyie metodyi resheniya differentsialnyih uravneniy v chastnyih proizvodnyih* [Difference methods for solving differential equations in partial derivatives]. M., Foreign literature Publ., 1963, 488 p. (in Russian)

8. Voevodin V.V. *Matematicheskie modeli i metodyi v parallelnyih protsessah* [Mathematical models and methods in parallel processes]. M., Nauka, 1986, 296 p. (in Russian)

9. Golovkin B.A. *Parallelnyie vyichislitelnyie sistemyi* [Parallel computing system]. M., Nauka, 1980, 519 p. (in Russian)

10. *Parallelnyie vyichisleniya* [Parallel computing]. Ed. by G. Rodrigue. M., Nauka, 1986, 376 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lev N. Elisov, Doctor of Technical Science, Professor, Full Professor of Flight and Life Safety Chair, MSTUCA, lev.el@list.ru.

Nikolaj I. Ovchenkov, Candidate of Technical Science, CEO of OOO PSC Elektronika, ovchenkov@electronika.ru.

Поступила в редакцию	07.11.2016	Received	07.11.2016
Принята в печать	27.04.2017	Accepted for publication	27.04.2017