

(77)

ISSN 1814-3520

6  
2013

# ВЕСТНИК

Иркутского Государственного Технического Университета

Издательство Иркутского Государственного Технического Университета, 2013



## СОДЕРЖАНИЕ



### Транспорт



- Зудов Г.Ю., Ишков А.М., Левин А.И.** Методика расчёта срока службы техники, эксплуатируемой в условиях холодного климата..... 112
- Одареев В.А.** Расчет скорости полета экраноплана при нелинейной зависимости нее тяги силовой установки..... 116
- Тарханова Н.В., Яценко С.А., Михайлов А.Ю.** Восстановление матриц корреспонденций с использованием метода Фратара..... 121

π

### Физико-математические науки

π

- Фунтикова Е.А.** Адаптация программного продукта XWINNMR 2.1 для анализа явления ядерного магнитного резонанса в парамагнитных наноразмерных структурах..... 128



### Химия и металлургия



- Агеева А.С., Григоренко К.С., Фомина Е.Ю.** Кинетические закономерности сорбции ионов марганца и железа из сточных вод золотоотвала ТЭЦ..... 132
- Аксенов А.В., Васильев А.А., Яковлев Р.А., Серёдкин Ю.Г.** Опыт исследования и разработки технологии кучного выщелачивания окисленных руд медно-порфириновых месторождений..... 135
- Дошлов О.И., Спешиллов Е.Г.** Полимерно-битумное вяжущее – высокотехнологичная основа для асфальта нового поколения..... 140
- Ляшонок С.Ю., Дьячкова С.Г., Кузнецов А.М.** Перевод трубчатых печей на газовое топливо..... 144
- Неизвестных Н.Н., Богданов А.В., Мячин А.В., Федотов К.В.** Исследование процессов сгущения пульп руд золото-серебряных месторождений «Биркачан» и «Цоколь»..... 147
- Угапьев А.А., Дошлов О.И.** Нефтяной пек дезинтегрированный – альтернативное связующее для анодов нового поколения..... 151
- Чайка А.А., Гоготов А.Ф., Панасенкова Е.Ю., Станкевич В.К.** Целенаправленная утилизация хлорорганических отходов химических производств. 2. Реакция конденсации с лигнином..... 157



### Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь



- Строев В.М., Альмас Г.Ф., Истомина А.И.** Многоспектральный оптический метод обнаружения объектов через неоднородные среды..... 160



### Энергетика



- Мытник И.А.** Разработка РТР-алгоритма для диагностирования электрооборудования..... 166
- Степанов В.С., Солонина Н.Н., Смирнов А.С., Суслов К.В., Солонина З.В.** Использование рти для определения места короткого замыкания линии электропередачи..... 169
- Усов И.Ю.** Упрощенный учет критериев надежности и статической устойчивости при оптимизации развития системообразующей электрической сети..... 173



Результаты расчета нижней и верхней границ экономически оптимального срока службы автомобиля MAN подтверждаются литературными данными. Известно, что шести и семилетние импортные автомобили при пробеге 700–800 тыс. км сохраняют до 40% первоначальной стоимости и пользуются повышенным спросом на вторичном рынке.

**Выводы.** Предложена методика расчета срока службы техники, эксплуатируемой в условиях холодного климата. Методика позволяет нормировать срок службы техники, устанавливать периодичность профилактических мероприятий, оценивать влияние ремонтно-восстановительных работ на экономические

показатели и надежность конструкции.

Произведенный расчет показал, что нижняя граница экономически оптимального срока службы автомобиля MAN F2000 достигается при пробеге 659 тыс. км, а верхняя граница – при пробеге 969 тыс. км. Предварительные расчеты показывают, что при среднесуточном пробеге более 300 км импортные автомобили становятся экономически более выгодны по общим эксплуатационным затратам, чем отечественные аналоги. Имеющаяся информация в банке данных «Техника Севера» может применяться для оптимизации структуры парка машин, контроля и повышения качества ремонта.

#### Библиографический список

1. Гоц А.Н. Об оптимальной долговечности машин // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3; URL: [www.science-education.ru/103-6245](http://www.science-education.ru/103-6245)
2. Ишков А.М. Математическая ритмология в работоспособности техники на Севере. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000. 320 с.
3. Ишков А.М., Зудов Г.Ю., Майоров В.Ф. Работоспособ-

- ность магистральных грузовиков в условиях Севера // Авто-транспортное предприятие. 2006. №11. С.18–21.
4. Ишков А.М., Кузьминов М.А., Зудов Г.Ю. Эксплуатация магистральных автомобилей MAN F2000 в условиях холодного климата // Автотранспортное предприятие. 2008. №1. С. 44–46.

УДК 532

## РАСЧЕТ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ЭКРАНОПЛАНА ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ НЕЕ ТЯГИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

© В.А. Одареев<sup>1</sup>

Иркутский государственный технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассматривается нелинейная математическая модель экраноплана, связанная с зависимостью скорости полета от величины тяги силовой установки. В качестве расчетной принята самолетная схема с несущим комплексом малого удлинения и плоским горизонтальным оперением, вынесенным из зоны влияния опорной поверхности. Аппарат считается абсолютно жестким, совершающим малые вертикальные и угловые перемещения в плоскости тангажа. Получены аperiodическая и колебательная составляющие скорости полета экраноплана.

Библиогр. 6 назв.

*Ключевые слова:* экраноплан; опорная поверхность; несущий комплекс; отстояние от экрана; удлинение; тангаж; тяга силовой установки; скорость полета.

## FLIGHT SPEED CALCULATION OF WING IN GROUND AIRCRAFT UNDER NON-LINEAR DEPENDENCE OF POWER PLANT THRUST

V.A. Odareev

Irkutsk State Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article examines a nonlinear mathematical model of a wing in ground aircraft associated with the dependence of flight speed on the value of power plant thrust. An aircraft-type configuration with the bearing complex of low aspect ratio and a planar horizontal tail remote from the effect zone of bearing surface is accepted to be a computational model. The aircraft is considered to be absolutely rigid, performing small vertical and angular movements in the pitch plane. Aperiodic and oscillatory components of the wing in ground aircraft speed are obtained.

6 sources.

*Key words:* wing in ground aircraft; bearing surface; bearing complex; distance of the screen; extension; pitch; power plant thrust; flight speed.

Продольная устойчивость экраноплана может быть обеспечена путем создания быстродействующей системы автоматического управления (САУ), особенно необходимой при полете на малых отстояниях от опорной поверхности.

<sup>1</sup>Одареев Владимир Арсентьевич, доктор технических наук, профессор кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, тел.: (3952) 405133.

Odareev Vladimir, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Aircraft Construction and Maintenance, tel.: (3952) 405133.



В уравнениях продольного движения экраноплана при симметричном полете аэродинамические силы, моменты и величина силы тяги силовой установки являются функциями параметров режима полета. В частности, сила тяги зависит от параметров двигателя и внешних условий, характеризуемых скоростью полета  $V$ , давлением  $P_n$  и температурой  $T_n$  окружающей среды на данной высоте полета. Так как в двигателе имеется ручка объединенного управления (РУД), положение которой характеризуется координатой  $\delta_p$ , то зависимость силы тяги от параметров режима можно представить в виде  $P = P(\delta_p, V, P_n, T_n)$ . Поскольку полет экраноплана осуществляется на малых отстояниях от экрана (земли, водной поверхности), параметры  $P_n$  и  $T_n$  можно считать постоянными. В дальнейшем положение ручки объединенного управления будем считать фиксированным.

Таким образом, для экранного режима будем иметь зависимость  $P = P(V)$ . Данная зависимость для различных типов двигателей силовой установки в широком диапазоне скоростей полета, как правило, нелинейная и в каждом конкретном случае может быть представлена в виде некоторого ряда с известными коэффициентами.

Для расчета скорости полета экраноплана в возмущенном движении воспользуемся декомпозиционными свойствами  $F$ -уравнений, рассмотренными в [1]. С этой целью в качестве расчетного примем приращение силы тяги силовой установки в виде

$$\Delta P = P - P_0 = \bar{a}_1 \Delta V + \bar{a}_2 \Delta V^2, \quad (1)$$

где коэффициенты  $\bar{a}_i$  для каждого конкретного двигателя имеют свои значения.

Тогда исходная система уравнений приобретает нелинейный член и запишется в виде [2]:

$$\begin{aligned} m \Delta \dot{V} &= (\bar{a}_1 - \rho V_0 C_{x_0} S) \Delta V - \rho V_0^2 S \Delta C_y / k_0 - G \Delta \dot{H} / V_0 + P(\Delta V); \\ m \Delta \ddot{H} &= P_0 \Delta v - P_0 \Delta \dot{H} / V_0 + \rho V_0 S C_{y_0} \Delta V + \rho V_0^2 S \Delta C_y / 2; \\ J \Delta \ddot{v} &= (\rho V_0 S b_a C_{m_0} - \bar{a}_1) \Delta V + \rho V_0^2 S b_a \Delta C_m / 2, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\Delta V$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta v$  – приращения скорости, отстояния от экрана, угла тангажа соответственно.

В последней системе нелинейный член, характеризующий зависимость тяги двигателя от скорости (1), сохранен в первом уравнении в виде нелинейной функции

$$P(\Delta V) = \bar{a}_2 \Delta V^2. \quad (3)$$

Введем в дальнейшем рассмотрение следующие обозначения:  $x_1 = \Delta V$ ,  $x_2 = \Delta H$ ,  $x_3 = \Delta v$ , тогда следуя результатам работы [2], запишем систему уравнений (2) в форме

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 &= -a_{11} P(x_1); \\ \ddot{x}_2 + b_{22} \dot{x}_2 + a_{22} x_2 + a_{21} x_1 + a_{23} x_3 &= 0; \\ \ddot{x}_3 + b_{33} \dot{x}_3 + a_{33} x_3 + a_{31} x_1 + a_{32} x_2 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Расшифровка коэффициентов данной системы уравнений приведена в [3]. Вводя оператор дифференцирования  $p = d/dt$  и используя формулы Крамера, из системы (4) получим

$$x_1 = -a_{11} \frac{m_1(p)}{D(p)} P(x_1); \quad x_2 = a_{11} \frac{m_2(p)}{D(p)} P(x_1); \quad x_3 = a_{11} \frac{m_3(p)}{D(p)} P(x_1), \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} m_1(p) &= S_{01} p^4 + S_{11} p^3 + S_{21} p^2 + S_{31} p + S_{41}; \\ m_2(p) &= S_{02} p^2 + S_{12} p + S_{22}; \quad m_3(p) = S_{03} p^2 + S_{13} p + S_{23}; \\ D(p) &= d_0 p^5 + d_1 p^4 + d_2 p^3 + d_3 p^2 + d_4 p + d_5. \end{aligned}$$

Поскольку в данном случае интерес представляет изменение скорости полета экраноплана в возмущенном движении, ограничимся расшифровкой коэффициентов полиномов  $m_1(p)$  и  $D(p)$ :

$$\begin{aligned} S_{01} &= 1, \quad S_{11} = b_{22} + b_{33}, \quad S_{21} = a_{22} + b_{22} b_{33} + a_{33}; \\ S_{31} &= b_{22} a_{33} + a_{22} b_{33}, \quad S_{41} = a_{22} a_{33} - a_{23} a_{32}; \\ d_0 &= 1, \quad d_1 = b_{22} + b_{33}, \quad d_2 = a_{22} + b_{22} b_{33} + a_{33}; \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}d_3 &= a_{22}b_{33} + b_{22}a_{33} + a_{12}a_{21} - a_{13}a_{31}; \\d_4 &= a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32} - a_{12}a_{21}b_{33} - a_{13}a_{31}b_{22}; \\d_5 &= a_{12}(a_{23}a_{31} - a_{21}a_{33}) + a_{13}(a_{21}a_{32} - a_{31}a_{22}).\end{aligned}$$

Уравнение  $D(p)=0$  имеет один действительный корень  $p_1 = C_1$  и два комплексно сопряженных  $p_{2,3} = a_1 \pm jb_1$  и  $p_{4,5} = a_2 \pm jb_2$ . Таким образом, для первого уравнения системы (5) могут быть записаны  $F$ -уравнения вида

$$\begin{aligned}\dot{F}_1^{(c)} - C_1 F_1^{(c)} &= B_1 P(x_1); \\ \ddot{F}_1^{(p)} - 2a_1 \dot{F}_1^{(p)} + (a_1^2 + b_1^2) F_1^{(p)} &= q_1^* \dot{P}(x_1) + (q_1^* a_1 + \bar{q}_1 b_1) P(x_1); \\ \ddot{F}_2^{(p)} - 2a_2 \dot{F}_2^{(p)} + (a_2^2 + b_2^2) F_2^{(p)} &= q_2^* \dot{P}(x_1) + (q_2^* a_2 + \bar{q}_2 b_2) P(x_1),\end{aligned}\quad (6)$$

где  $x_1 = F_1^{(c)} + F_1^{(p)} + F_2^{(p)}$ , а индекс  $i$  опущен.

Структура коэффициентов в последней системе приведена в [1].

Апериодическая составляющая скорости полета экраноплана определяется, очевидно, функцией  $F_1^{(c)}(t)$ , поскольку присутствует в первом уравнении системы (6), имеющем действительный корень  $C_1$  характеристического уравнения исходной системы (4). Для выделения этого уравнения из системы (6) воспользуемся алгоритмом, изложенным в [4]. При нулевом приближении имеем

$$F_1^{(p)} = \frac{\gamma_1}{a_1^2 + b_1^2} F_1^{(c)}, \quad F_2^{(p)} = \frac{\gamma_2}{a_2^2 + b_2^2} F_1^{(c)}.$$

Здесь  $\gamma_1 = C_1 (q_1^* a_1 + \bar{q}_1 b_1) / B_1$ ,  $\gamma_2 = C_1 (q_2^* a_2 + \bar{q}_2 b_2) / B_1$ .

Таким образом, согласно (6) получим равенство

$$x_1 = \left( 1 + \frac{\gamma_1}{a_1^2 + b_1^2} + \frac{\gamma_2}{a_2^2 + b_2^2} \right) F_1^{(c)}\quad (7)$$

и, следовательно,

$$\dot{F}_1^{(c)} - C_1 F_1^{(c)} = \bar{a}_2 \mu^2 B_1 (F_1^{(c)})^2,\quad (8)$$

где  $\mu_1 = 1 + \frac{\gamma_1}{a_1^2 + b_1^2} + \frac{\gamma_2}{a_2^2 + b_2^2}$ .

Интегрируя последнее уравнение, будем иметь решение в виде

$$F_1^{(c)}(t) = \frac{F_1^{(c)}(0)}{\exp(-C_1 t) + F_1^{(c)}(0) \cdot \bar{a}_2 B_1 \mu^2 [\exp(-C_1 t) - 1] / C_1}.\quad (9)$$

В линейном случае, когда  $\bar{a}_2 = 0$ , из (9) следует

$$F_1^{(c)}(t) = F_1^{(c)}(0) \cdot \exp(C_1 t).$$

Отсюда видно, что апериодическая устойчивость экраноплана по скорости в линейной задаче определяется знаком действительного корня  $C_1$  характеристического уравнения исходной системы (4). Иначе говоря, экраноплан устойчив аperiодически только в случае, когда  $C_1 < 0$ , в противном случае неустойчив. В нелинейной задаче при  $C_1 < 0$  согласно (9) имеем при  $t=0$  равенство  $F_1^{(c)}(t) = F_1^{(c)}(0)$ , а при  $t \rightarrow \infty$  функция  $F_1^{(c)}(t) \rightarrow 0$ , что также указывает на апериодическую устойчивость экраноплана по скорости.

Колесательные составляющие скорости полета определяются соответственно функциями  $F_1^{(p)}(t)$  и  $F_2^{(p)}(t)$ . Для их определения воспользуемся рабочей формулой вида

$$x_i(t) = \left( 1 + n_{ok} + \sum_{\alpha=1}^{\infty} n_{\alpha k} p^\alpha \right) F_{ik}^{(p)}(t),\quad (10)$$

где  $n_{ok} = \varepsilon_{ok} + \sum_{j=1}^{n-1} m_{oj}$ ,  $n_{\alpha k} = \varepsilon_{\alpha k} + \sum_{j=1}^{n-1} m_{\alpha j}$ ,  $j \neq k$ .



Расшифровка коэффициентов в последней формуле имеется в [4].

Для того чтобы выявить наибольшие значения изменения скорости полета, при анализе динамики экраноплана не будем в дальнейшем учитывать затухание колебательных составляющих скорости, то есть будем полагать действительные части  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  корней характеристического уравнения равными нулю. Тогда первому уравнению системы (4) может быть поставлена в соответствие система F-уравнений (6), записанная в несколько иной форме [5]:

$$\dot{F}_1^{(C)} - C_1 F_1^{(C)} = B_1 P(x_1); \quad \ddot{F}_1^{(p)} + b_1^2 F_1^{(p)} = q_1 b_1 P(x_1); \quad \ddot{F}_2^{(p)} + b_2^2 F_2^{(p)} = q_2 b_2 P(x_1). \quad (11)$$

Поскольку второе и третье уравнения системы (11) однотипны, ограничимся в дальнейшем поиском функции  $F_1^{(p)}(t)$ . Полагая для краткости  $F_1^{(p)}(t) = F_1(t)$ , из (10) выпишем нулевое приближение в виде

$$x_1 = (1 + n_{01}) F_1$$

и соответственно

$$P(x_1) = \varepsilon \cdot x_1^2 = \varepsilon (1 + n_{01})^2 F_1^2. \quad (12)$$

Из той же формулы (10) следует первое приближение функции  $x_1(t)$  в форме

$$x_1 = \varepsilon [(1 + n_{01}) F_1 + n_{11} \dot{F}_1].$$

Это дает возможность написать

$$P(x_1) = \varepsilon [(1 + n_{01})^2 F_1^2 + 2(1 + n_{01}) n_{11} F_1 \dot{F}_1 + n_{11}^2 \dot{F}_1^2].$$

Аналогично строятся следующие приближения.

Введем обозначение  $\eta_1 = q_1 b_1 (1 + n_{01})^2$  и ограничимся далее нулевым приближением (12). В этом случае из (11) получим уравнение

$$\ddot{F}_1 + b_1^2 F_1 = \varepsilon \eta_1 F_1^2. \quad (13)$$

При исследовании последнего уравнения основной интерес представляет периодическое решение. Так как параметр  $\varepsilon$  есть величина малая, для поиска периодического решения уравнения (13) можно воспользоваться методом возмущений [6]. При  $\varepsilon = 0$  периодическое решение уравнения (13) получается как линейная комбинация функций  $\sin b_1 t$  и  $\cos b_1 t$  и, следовательно, период решения равен  $2\pi/b_1$ . Однако при  $\varepsilon \neq 0$  частота периодического решения становится неизвестной и должна быть найдена. Искомое решение нелинейного уравнения (13), согласно методу возмущений, ищем в виде степенного ряда

$$F_1(t) = F_{10}(t) + \sum_{j=1}^{\infty} \varepsilon^j F_{1j}(t), \quad (14)$$

где  $F_{1j}(t)$  – функция  $t$  с периодом  $2\pi/\omega_1$ .

Помимо разложения (14) необходимо также разложить по степеням  $\varepsilon$  и неизвестную частоту  $\omega_1$  в искомом решении, а именно

$$\omega_1^2 = b_1^2 + \sum_{j=1}^{\infty} \varepsilon^j C_j, \quad (15)$$

где постоянные  $C_j$  подлежат определению.

Поскольку рассматриваются только периодические решения, начало отсчета  $t$  может быть выбрано произвольно. В связи с этим выберем его так, чтобы  $\dot{F}(t) = 0$  при  $t = 0$ . Подставим теперь (14) и (15) в уравнение (13) и произведем уравнивание коэффициентов при одинаковых степенях  $\varepsilon$ , тогда получим следующую систему линейных дифференциальных уравнений:

$$\ddot{F}_{10} + \omega_1^2 F_{10} = 0; \quad (16)$$

$$\ddot{F}_{11} + \omega_1^2 F_{11} = \eta_1 F_{10}^2 + C_1 F_{10}; \quad (17)$$

$$\ddot{F}_{12} + \omega_1^2 F_{12} = 2\eta_1 F_{10} F_{11} + C_1 F_{11} + C_2 F_{10}. \quad (18)$$

В силу периодичности решений последних уравнений имеем

$$F_{1j}(t) = F_{1j}(t + 2\pi/\omega_1),$$

при этом начальные условия определяются равенствами



$$F_{10}(0) = A_1, F_{1(j+1)}(0) = 0, \dot{F}_{1j}(0) = 0, j = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (19)$$

С учетом этих условий решение уравнения (16) имеет вид

$$F_{10}(t) = A_1 \cos \omega_1 t, \dot{F}_{10}(0) = 0. \quad (20)$$

Последняя запись представляет собой порождающее решение. Подставляя его в правую часть уравнения (17), получим

$$\ddot{F}_{11} + \omega_1^2 F_{11} = \frac{1}{2} \eta_1 A_1^2 + \frac{1}{2} \eta_1 A_1^2 \cos 2\omega_1 t + C_1 A_1 \cos \omega_1 t. \quad (21)$$

Решение уравнения (21) не должно содержать вековых членов, поэтому следует принять  $C_1 = 0$ . Тогда в силу условий (19) имеем

$$F_{11}(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\eta_1}{\omega_1^2} A_1^2 - \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_1}{\omega_1^2} A_1^2 \cos \omega_1 t + \frac{1}{6} \cdot \frac{\eta_1}{\omega_1^2} A_1^2 \cos 2\omega_1 t. \quad (22)$$

Подставляя теперь решение (20) и (22) в правую часть уравнения (18), найдем

$$\ddot{F}_{12} + \omega_1^2 F_{12} = -\frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^3 + \left( \frac{7}{6} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^3 + C_2 A_1 \right) \cos \omega_1 t - \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^3 \cos 2\omega_1 t + \frac{1}{6} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^3 \cos 3\omega_1 t. \quad (23)$$

Для выполнения условий периодичности функции  $F_{12}(t)$  необходимо потребовать равенство нулю круглой скобки перед функцией  $\cos \omega_1 t$ , откуда получаем

$$C_2 = -\frac{7}{6} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^2. \quad (24)$$

Таким образом, уравнение (23) запишется в виде

$$\ddot{F}_{12} + \omega_1^2 F_{12} = -\frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^3 (1 + \cos 2\omega_1 t) + \frac{1}{6} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^3 \cos 3\omega_1 t. \quad (25)$$

С учетом условий (19) последнее уравнение дает решение

$$F_{12}(t) = -\frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^4} A_1^3 + \frac{67}{144} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^4} A_1^3 \cos \omega_1 t + \frac{2}{9} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^4} A_1^3 \cos 2\omega_1 t - \frac{1}{48} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^4} A_1^3 \cos 3\omega_1 t.$$

Если ограничиться членами ряда (14), содержащими  $\varepsilon^2$ , то искомое решение уравнения (13) примет вид

$$F_1(t) = \varepsilon \cdot \frac{\eta_1}{2\omega_1^2} A_1^2 - \varepsilon^2 \frac{2\eta_1^2}{3\omega_1^4} A_1^3 + \left( A_1 - \varepsilon \frac{2\eta_1}{3\omega_1^2} A_1^2 + \varepsilon^2 \frac{67}{144} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^4} A_1^3 \right) \cos \omega_1 t + \\ + \left( \varepsilon \frac{\eta_1}{6\omega_1^2} A_1^2 + \frac{2\eta_1}{9\omega_1^4} A_1^3 \right) \cos 2\omega_1 t - \varepsilon^2 \frac{\eta_1^2}{48\omega_1^4} A_1^3 \cos 3\omega_1 t + \dots \quad (26)$$

Появление постоянного члена в решении (26) обязано асимметрии нелинейной характеристики  $P(x_1)$ , определяемой выражением (1). В силу этого обстоятельства колебания скорости полета экраноплана происходят относительно некоторого постоянного прироста скорости к ее номинальному (или крейсерскому) значению.

Подставляя постоянную  $C_2$ , определяемую равенством (24), в (15) и учитывая, что  $C_1 = 0$ , получим значение квадрата частоты свободных колебаний скорости полета экраноплана:

$$\omega_1^2 = b_1^2 - \varepsilon^2 \frac{7}{6} \cdot \frac{\eta_1^2}{\omega_1^2} A_1^2 + \dots \quad (27)$$

Уравнение (27) следует решить относительно  $\omega_1^2$ , но, учитывая, что можно принять  $\omega_1^2 \approx b_1^2$ , в результате имеем

$$\omega_1^2 = b_1^2 - \varepsilon^2 \frac{7}{6} \cdot \frac{\eta_1^2}{b_1^2} A_1^2 + \dots$$

Из последней записи следует, что частота колебаний скорости полета зависит от амплитуды этих колебаний и, следовательно, от начальных значений  $F_1(0)$ .



Уравнение для расчета функции  $F_2(t)$  согласно (11) идентично уравнению (13), поэтому процедура поиска искомого решения этого уравнения аналогична изложенной с той лишь разницей, что в последнем случае  $F_2(0) = A_2$ , а взамен  $\omega_1^2$  необходимо искать  $\omega_2^2$ . Таким образом, результирующее колебательное изменение скорости полета после суммирования найденных функций  $F_1(t)$  и  $F_2(t)$  является двучастотным.

Для того чтобы выразить решение  $F_1^{(p)}(t)$ ,  $F_2^{(p)}(t)$  и  $F_1^{(c)}(t)$  через начальные значения скорости  $x_1(t) = \Delta V(t)$  и ее производные при  $t = 0$ , необходимо привлечь последнее равенство в системе уравнений (6).

Найденное выше периодическое решение может и не соответствовать реальным колебаниям скорости полета экраноплана. В связи с этим возникает необходимость исследования устойчивости полученного решения.

Реализация метода редукционной декомпозиции позволила свести сложную задачу исследования динамики полета экранопланов к совокупности более простых декомпозиционных задач, описываемых дифференциальными уравнениями меньшей размерности. Это дало возможность применять к таким задачам известные аналитические методы расчета.

#### Библиографический список

1. Одареев В.А. Косвенные оценки декомпозиционных свойств  $F$ -уравнений при  $t \rightarrow \infty$  и их использование в задачах динамики полета экранопланов // Асимптотические методы в задачах аэродинамики и проектирования летательных аппаратов. Иркутск, 1994. С.54–66.
2. Одареев В.А. Динамическая устойчивость экраноплана вблизи волны при переменной скорости полета // Вестник ИрГТУ. 2010. № 5. С.141–145.
3. Одареев В.А., Моженов И.Н. Линейные задачи устойчивости транспортных аппаратов на сверхмалых отстояниях от экрана с учетом скорости полета // Асимптотические методы в теории систем. Иркутск, 1992. С.90–96.
4. Одареев В.А. Декомпозиционные свойства  $F$ -уравнений в установившемся процессе // Вестник ИрГТУ. 2000. № 8. С.79–89.
5. Одареев В.А. Методы редукционной декомпозиции в прикладных задачах динамики систем. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1991. 216 с.
6. Вибрации в технике // Справочник в 6 т. Т. 2: Колебания нелинейных механических систем. М.: Машиностроение, 1979. 352 с.

УДК 656.13:658 (075.8)

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФРАТАРА

© Н.В. Тарханова<sup>1</sup>, С.А. Яценко<sup>2</sup>, А.Ю. Михайлов<sup>3</sup>

Иркутский государственный технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Статья посвящена методике восстановления матриц корреспонденций, а также прогнозированию транспортной подвижности льготных категорий населения на примере г. Иркутска. Представлен алгоритм применения метода Фратара. По результатам обследования транспортной подвижности льготных категорий населения с применением предложенной модели оценена матрица корреспонденций между укрупненными транспортными зонами. Полученная в результате применения предложенной методики оценки транспортного спроса льготных групп населения информация об особенностях формирования транспортной подвижности является исходной базой для разработки мероприятий по повышению качества транспортного обслуживания льготных категорий населения.

Ил. 5. Табл. 7. Библиогр. 8 назв.

*Ключевые слова:* матрица корреспонденций; метод Фратара; льготные категории пассажиров; транспортная подвижность.

<sup>1</sup>Тарханова Наталья Владимировна, доцент кафедры менеджмента и логистики на транспорте; тел.: (3952) 405135, e-mail: tarnato@yandex.ru

Tarkhanova Natalya, Associate Professor of the Department of Management and Logistics in Transport, tel.: (3952) 405135, e-mail: tarnato@yandex.ru

<sup>2</sup>Яценко Светлана Анатольевна, доцент кафедры менеджмента и логистики на транспорте; тел.: (3952) 405135, e-mail: sv\_lana2005@mail.ru

Yatsenko Svetlana, Associate Professor of the Department of Management and Logistics in Transport, tel.: (3952) 405135, e-mail: sv\_lana2005@mail.ru

<sup>3</sup>Михайлов Александр Юрьевич, доктор технических наук, профессор кафедры менеджмента и логистики на транспорте, тел.: (3952) 405135, e-mail: mikhailovay@gmail.com

Mikhailov Alexander, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Management and Logistics in Transport, tel.: (3952) 405135, e-mail: mikhailovay@gmail.com



Уважаемые коллеги!

**Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации**

I. Статья представляется на **СД-диске и в распечатанном виде**. Рекомендуемый объем статьи – 10 стр., для аспирантов – 5 стр. Количество авторов должно быть не более четырех.

К статье прилагаются:

1. Экспертное заключение.
2. Название рубрики, в которой должна быть размещена Ваша статья; УДК; название статьи; реферат (аннотация), количество знаков в реферате – не менее 500; ключевые слова (4-5); сведения об авторах: название учреждения, его адрес; фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень; звание и должность; контактный телефон и e-mail (**вся информация предоставляется одним файлом**).
3. Статья должна иметь личную подпись автора; на статьях адъюнктов и аспирантов должна стоять также подпись научного руководителя.

II. **Текст статьи, сведения об авторах, реферат, ключевые слова, адрес учреждения, контактный телефон и E-mail** должны быть также представлены на СД-диске, проверенном на отсутствие вирусов, **в виде файла с расширением \*.DOC** – документа, построенного средствами Microsoft Word 97 или последующих версий, и распечаткой на стандартных листах формата А4.

При наборе статьи в Microsoft Word рекомендуются следующие установки:

- 1) параметры **страницы** и абзаца: отступы сверху и снизу – **2 см**; слева и справа – **2 см**; **табуляция – 2 см**; ориентация – книжная;
- 2) шрифт – **Times New Roman**, размер – **12**, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- 3) при вставке формул использовать **Microsoft Equation 3** при установках: элементы формулы выполняются **курсивом**; для греческих букв и символов назначать шрифт **Symbol**, для остальных элементов – **Times New Roman**. Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул;
- 4) **рисунки**, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 150 мм, высота 245 мм, представлены на **СД-диске** в виде файла с расширением \*.BMP, \*.TIFF, \*.JPG и **распечаткой** на стандартных листах формата А4, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. **Схемы, графики** выполняются во встроенной программе **MS Word** или в **MS Excel**, с **приложением файлов (представляемые иллюстрации должны быть четкими и ясными во всех элементах)**;
- 5) библиографические ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ Р7.05 2008.

**Внимание! Публикация статей является платной (для аспирантов – бесплатно).** Стоимость одной публикации – 1500 руб., включая один авторский экземпляр. Стоимость дополнительного экземпляра журнала – 500 руб. (без стоимости почтовых расходов).

**Статьи, опубликованные в журнале «Вестник ИрГТУ», реферируются и рецензируются.**

**Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.**

По вопросам публикации статей обращаться: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет, редакционный отдел, Д-215.

Телефон: **(3952)40-57-56** – Привалова Галина Петровна, ответственный за выпуск,

**(3952)40-58-57** – Родионова Нина Викторовна, редактор.

Факс: **(3952)405-100**, e-mail: [pqp@istu.edu](mailto:pqp@istu.edu)

**Реквизиты:** ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет».

Адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел. (3952) 40-50-33.

**ИНН** 3812014066 **КПП** 381201001 УФК по Иркутской области (ФГБОУ ВПО ИрГТУ л/сч 20346Х10750)

**Р/с** 4050181000000200000 ГРКЦ ГУ Банка России по Иркутской области г. Иркутск

**БИК** 042520001 **ОКАТО** 25401000000 **ОКПО** 02068249 **ОГРН** 1023801756120

**Код** 074 000 00 00 000 0000 130 Доходы от реализации рекламной, редакционной, издательской деятельности (**журнал «Вестник ИрГТУ»**) – **указывать обязательно!**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

# ВЕСТНИК

Иркутского Государственного Технического Университета

Научный журнал  
Выпуск 6 (77) 2013

Редакторы Н.В.Родионова, Т.С.Неизвестных  
Художественный редактор Е.В.Хохрин  
Ответственный за выпуск Г.П.Привалова  
Перевод на английский язык В.В.Батицкая  
Верстка Н.П.Дзюндзя

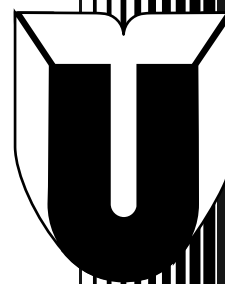
Подписано в печать 22.06.13. Формат 60x90/8.  
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. 40,7 л.  
Тираж 500 экз. Заказ . Поз. плана 2н.

ИД №06506 от 26.12.01  
Иркутский государственный технический университет  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Журнал издается с 1997 г.  
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по  
надзору в сфере связи, информационных технологий и  
массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство ПИ №ФС77-47902 от 22 декабря 2011 г.  
Учредитель Иркутский государственный технический  
университет

ИЗДАТЕЛЬСТВО



Издательство Иркутского Государственного Технического Университета, 2013

