



УДК 62-501

© 2012 г. **К.А. Числов**, канд. техн. наук

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

## МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ АСИМПТОТИЧЕСКИ УСТОЙЧИВЫХ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ, КОРРЕКТИРУЕМЫХ ПО РАДИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ<sup>1</sup>

Предложен метод учета информации о радиусе местоположения объекта, позволяющий построить асимптотически устойчивые по динамической группе уравнений алгоритмы коррекции двухкомпонентных инерциальных навигационных систем. Представлены результаты численного исследования.

**Ключевые слова:** инерциальная навигация, гироскоп, ньютонометр, высотная коррекция, обратная задача.

### Введение

При обращении к истории инерциальной навигации можно заметить, что первыми в их современном понимании инерциальными навигационными системами (ИНС/INS), получившими наиболее широкое распространение, стали двухкоординатные (2D), или двухкомпонентные – по числу функциональных ньютонометров (акселерометров), системы (2D-ИНС) [1, 2].

Основная причина обращения к 2D-схемам ИНС прежде всего состояла в желании избавиться от той неустойчивости динамической группы уравнений (ДГУ), описывающих функционирование ИНС, которая исходно характерна для 3D-схем [2]. Это достаточно просто достигалось путем отказа от полной автономности ИНС за счет привлечения так называемой высотной (а по сути – радиальной – о модуле радиус-вектора) информации текущего места объекта в процессе формирования модели напряженности гравитационного поля Земли (ГЕ-поля) в составе математической модели траектории движения объекта (а это и есть ДГУ ИНС). Одновременно с этим знание одной из сферических координат объекта (модуля радиус-вектора, или просто – радиуса) делало лишней часть уравнений, описывающих ее эволюцию, и позволяло сохранять в динамической части модели (т.е. в ДГУ) только четыре уравнения, которые гарантировано обладают свойством устойчивости, хотя и неасимптотической, по крайней мере, в тех случаях, когда их коэффициенты постоянны (например, при движении объекта вдоль географических параллелей с постоянной относительно Земли линейной скоростью). Этим, собственно, и исчерпывалось решение задачи коррекции ИНС

<sup>1</sup> Исследование выполнено при частичной поддержке РФФИ-ДВО (грант № 11-01-98501-р\_восток\_а) и ДВО РАН (гранты № 09-1-П29-02, № 09-III-A-03-066).

по измеренным значениям радиуса. Вместе с тем (на что следует обратить внимание) постановка и решение задачи коррекции при таком виде информации для 3D-ИНС приводят к асимптотически устойчивым алгоритмам системы, если, конечно, говорить о той ее части, которая описывается ДГУ [3]. В связи с этим вполне актуальна постановка проблемы наследования указанного свойства асимптотической устойчивости и 2D-системами. О том, как поставленная проблема может быть решена, частично рассказывается в работах [4, 5]. В настоящей работе дается более полное представление о проблеме и способах ее решения.

### Основные модельные представления и результаты

Из изложенного выше видно, что для описания исходной идеализированной модели обратной, по сути, задачи, решаемой корректируемой 3D-ИНС (далее – просто модели 3D-ИНС), достаточно ограничиться ДГУ и моделью измерения радиуса места подвижного объекта. Тогда в самом общем виде модель 3D-ИНС будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{q}} &= -e_{ikj}\omega_k q_j + p_i, \quad q_i(0) = q_{i,0}, \\ \dot{\mathbf{p}} &= -e_{ikj}\omega_k p_j + G(\mathbf{q}, |\mathbf{q}|) + F_i, \\ p_i(0) &= p_{i,0}, \quad z = |\mathbf{q}|, \\ (i, j, k) &= \overline{1,3}, \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\mathbf{q} = (q_i)$ ,  $i = \overline{1,3}$  (радиус-вектор места объекта);  $\mathbf{p} = (p_i)$ ,  $i = \overline{1,3}$  (удельный импульс, или абсолютная линейная скорость объекта);  $\mathbf{G} = (G_i)$ ,  $i = \overline{1,3}$  (напряженность GE-поля);  $\mathbf{F} = (F_i)$ ,  $i = \overline{1,3}$  – равнодействующая удельных сил негравитационной природы (записываются в проекциях на оси, вращающейся с абсолютной угловой скоростью  $\boldsymbol{\omega} = (\omega_i)$ ,  $i = \overline{1,3}$  правой ортогональной системы отсчета  $O\mathbf{q} = Oq_1q_2q_3$  с началом в центре масс Земли и осями (принимаяем)  $Oq_1$ ,  $Oq_2$ ,  $Oq_3$ , направленными соответственно на географические Восток, Север и по радиус-вектору местоположения объекта);  $e_{ikj}$  – псевдотензор Леви-Чивита;  $z = |\mathbf{q}| = r$  – измеренное (например, с помощью навигационной спутниковой системы (НСС/NSS) типа ГЛОНАСС) значение радиуса места объекта; инерциальные измерения (значений компонент  $\boldsymbol{\omega}$  и  $\mathbf{F}$ ) выполняются на борту объекта в приборной системе отсчета, физически моделирующей ориентацию системы  $O\mathbf{q}$ , т.е. имеющей оси, в идеале параллельные соответствующим осям последней.

В результате усвоения измерений при переходе к 2D-ИНС в модели движения объекта (т.е. ДГУ) остаются только четыре уравнения (т.е. в (1)  $i = \overline{1,2}$ ), в которых  $q_3 = r$ ,  $p_3 = \dot{r} - \omega_2 q_1 + \omega_1 q_2$ ,  $G_i = G(\mathbf{x}, r)$ ,  $\mathbf{x} = (q_i)$ ,  $i = \overline{1,2}$ . Эти уравнения при функционировании 2D-ИНС интегрируются в условиях присутствия погрешностей в измерениях  $\omega_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ),  $F_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ),  $r$ , оценке  $\dot{r}$  и начальных состояний  $q_i$ ,  $p_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ), которые в свою очередь порождают погрешности  $\delta q_i$  и  $\delta p_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ) решения навигационной задачи, в линейном приближении описываемые уравнениями (ДГУ «в малом»):

$$\delta \mathbf{q} = -e_{ikj} \omega_k dq_j + \delta p_i - e_{ikj} v_k q_j, \quad \delta q_i(0) = \delta q_{i,0},$$

$$\delta \mathbf{q} = \left( \frac{\partial G_i(\mathbf{x}, r)}{\partial q_i} \right) \delta q_i - e_{ikj} \omega_k \delta p_i + \left( \frac{\partial G_i(\mathbf{x}, r)}{\partial r} \right) \varepsilon_r - e_{ikj} v_k p_j + f_i + g_i, \quad (2)$$

$$\delta p_i(0) = \delta p_{i,0},$$

где  $i = \overline{1,2}$ ;  $j, k = \overline{1,3}$ ;  $\mathbf{v} = (v_k)$ ,  $\mathbf{f} = (f_i)$  – инструментальные погрешности гироскопов и ньютонометров;  $\varepsilon_r$  – погрешность измерения  $r$ ;  $\delta p_3 = \varepsilon_3 - \omega_2 \delta q_3 + \omega_1 \delta q_2$ ;  $\varepsilon_3$  – погрешность оценки  $\mathbf{f}$  по  $r$ ;  $\mathbf{g} = (g_i)$  – неучтенная в (1) аномалия напряженности ГЕ-поля;  $q_1 = q_2 = 0$ ,  $q_3 = r$ ,  $p_1 = \omega_2 r$ ,  $p_2 = -\omega_1 r$ ,  $p_3 = \mathbf{f}$ .

Теперь уместно заметить следующее. В силу того, что в 3D-ИНС доступны все три модельные значения компонент вектора  $\mathbf{q}$  (т.е.  $q_1^*$ ,  $q_2^*$  и  $q_3^*$ ), возможно построение линейной невязки измерений, т.е.  $\delta z = |\mathbf{q}| - |\mathbf{q}^*| = \delta q_3 + \varepsilon_r$  и постановка математически корректной (по Ж. Адамару) обратной задачи «в малом» вида «состояние-измерение», калмановский алгоритм динамического обращения которой асимптотически устойчив [3]. В случае 2D-схемы доступны только две модельные компоненты вектора  $\mathbf{q}$  (т.е.  $q_1^*$  и  $q_2^*$ ), вследствие чего построение линейной невязки измерения, подобной той, что имела место в случае 3D-ИНС, невозможно, и, следовательно, невозможна постановка в том же виде (представляемом уравнениями (2) и невязкой  $\delta z = \delta q_3 + \varepsilon_r$ ) и обратной задачи «в малом».

В качестве отправной точки дальнейших построений, доказывающих возможность постановок обратных задач «в малом» вида «состояние-измерение» с уравнениями (2) в качестве уравнений состояния, обратимся к движению объекта по сфере известного радиуса с центром в начале системы отсчета  $0\mathbf{q}$ . Напомним, что в статье рассматривается исключительно ситуация, когда физически измеряется только значение  $r$  радиуса места объекта.

При движении по сфере очевидны равенства  $p_3 = 0$  и  $\mathbf{f}_3 = 0$ , которые с учетом третьего и шестого уравнений ДГУ в (1) можно представить в виде следующих условий такого движения:

$$\mathbf{f}_3 - \omega_2 q_1 + \omega_1 q_2 = 0; \quad (3)$$

$$\omega_2 p_1 - \omega_1 p_2 + G_3 + F_3 = 0; \quad (4)$$

$$\mathbf{f}_3 - (\mathbf{f}_2 + \omega_1 \omega_3) q_1 - (\mathbf{f}_1 - \omega_2 \omega_3) q_2 + \omega_1 p_2 - \omega_2 p_1 + (\omega_1^2 + \omega_2^2) q_3 = 0; \quad (5)$$

$$\mathbf{f}_3 - (\mathbf{f}_2 + \omega_1 \omega_3) q_1 - (\mathbf{f}_1 - \omega_2 \omega_3) q_2 + G_3 + F_3 + (\omega_1^2 + \omega_2^2) q_3 = 0; \quad (6)$$

$$\mathbf{f}_3 + (\mathbf{f}_2 + \omega_1 \omega_3) q_1 - (\mathbf{f}_1 - \omega_2 \omega_3) q_2 + 2\omega_2 p_1 - 2\omega_1 p_2 + G_3 + F_3 - (\omega_1^2 + \omega_2^2) q_3 = 0, \quad (7)$$

где (5) – результат дифференцирования (3), а (6) и (7) – соответственно сумма и разность (4) и (5), причем (7) – это формальная запись реализации на оси  $0q_3$  принципа Д'Аламбера.

Заметим также, что при движении по сфере утверждения (3) – (7) эквивалентны утверждению ( $\mathbf{f}_3 = 0$ ,  $\mathbf{f}_3 = 0$ ,  $F_3 = -G_3 - (\omega_1^2 + \omega_2^2)r$ ), а при движении по произвольной поверхности условия (3) – (6), вообще говоря, нарушаются, но ус-

ловие (7) – принцип Д’Аламбера – остается в силе. Иное имеет место при интегрировании ДГУ 2D-ИНС, выполняемом, как отмечалось выше, в условиях присутствия погрешностей в измерениях и оценках начальных состояний. В этом случае вне зависимости от того, движется ли объект по сфере или не по ней, нарушаются все условия (3) – (7). Такие нарушения можно интерпретировать как невязки измерений при постановке обратных задач «в малом» (по сути задач коррекции 2D-ИНС) с уравнениями состояния (2) при  $i = \overline{1,2}$ .

Из пяти условий (3) – (7) наиболее приемлемы для реализации в задачах коррекции условия (3) и (4), так как они не содержат вторых производных  $q_3$  и производных угловой скорости вращения системы отсчета, что при построении невязок освобождает от нахождения оценок этих производных и что в общем случае требуется при обращении к условиям (5) – (7) (заметим, что случай обращения к (7) как наиболее характерному из этих трех условий достаточно подробно исследован в [5]). Поэтому остановимся на невязках (3) и (4). Они представляются следующим образом:

$$\delta z = \varepsilon_3 - \omega_2 \delta q_1 + \omega_1 \delta q_2; \quad (8)$$

$$\delta z = \omega_2 \delta p_1 - \omega_1 \delta p_2 + g_3 + f_3, \quad (9)$$

где  $f_3$  – либо инструментальная погрешность дополнительного (к схеме 2D-ИНС) ньютонометра при таком (только для формирования невязки) нетрадиционном (в сравнении со схемой 3D-ИНС) его использовании, либо величина  $(\omega_1^2 + \omega_2^2)\varepsilon_r$  в том случае, когда в качестве модельного ( $F_3^*$ ) значения  $F_3$  берется значение  $F_3^* = -G_3^* - (\omega_1^2 + \omega_2^2)r$ ;  $G_3^*$  – компонента модельного ( $\mathbf{G}^*$ ) вектора напряженности GE-поля, так что  $G_3^* = G_3 - g_3$ , где  $g_3$  – компонента вектора гравитационной аномалии  $\mathbf{g} = \mathbf{G}^* - \mathbf{G}$ , не учитываемой в алгоритме ИНС при моделировании напряженности GE-поля.

С учетом изложенного целесообразно обратиться к постановкам только трех обратных задач, решение которых может быть отождествлено с решением задачи коррекции 2D-ИНС. Модель первой представляется уравнениями (2) и (8), второй – уравнениями (2) и (9), третьей – уравнениями (2), (8), (9), причем по отношению к последней первые две из них можно рассматривать в качестве базовых. Здесь следует заметить, что задача ((2), (9)) уже обсуждалась в работе [4], в которой в рамках проблем скалярной гравиметрии на базе 2D-ИНС обоснована асимптотическая устойчивость алгоритма динамического обращения и приведены результаты вычислительного эксперимента, иллюстрирующие эффективность оценки вектора  $(\delta q_1, \delta p_1, \delta q_2, \delta p_2, g_3)^T$ . Поэтому далее внимание целесообразно уделить задаче ((2), (8)), начав с проверки калмановского условия наблюдаемости [6] как необходимого условия разрешимости задачи при конечной точности вычислений и измерений.

Проверка этого условия (а она проводилась для случая движения объекта вдоль географических параллелей) указывает на принципиальную невозможность наблюдения компонент напряженности GE-поля  $g_1$  и  $g_2$  (и, очевидно,  $g_3$ ), что исключает возможность какой-либо интерпретации задачи ((2), (8)) как гравиметри-

ческой; вместе с тем, как показывает эта же проверка, имеет место наблюдаемость вектора  $(\delta q_1, \delta p_1, \delta q_2, \delta p_2)^T$  (кроме нескольких частных случаев движения, из которых наиболее существенным для практики является движение вдоль экватора), что сохраняет актуальность задачи как навигационной в случае достаточно высокой степени представлений о модели GE-поля.

Возвращаясь теперь к задаче ((2), (8), (9)), отметим, что ее интерпретация как задачи скалярной гравиметрии вполне допустима в силу доступности наблюдению (что показывает анализ наблюдаемости), как и в задаче ((2), (9)) [4], вектора  $(\delta q_1, \delta p_1, \delta q_2, \delta p_2, g)^T$ .

### Вычислительные эксперименты

Предметом численного исследования (недостающего в уже сложившемся ряду исследований [4, 5]) является задача ((2), (8)). Цель численных экспериментов – оценка обусловленности обратной задачи и верификация ее реальной разрешимости в условиях конечной точности вычислений; иллюстрация сходимости (асимптотической устойчивости) алгоритма динамического обращения; оценка погрешностей решения задачи в условиях конечной точности измерений.

Результаты численного исследования приводятся для случая движения объекта в восточном направлении с относительной к Земле скоростью  $V = 100$  м/с вдоль географической параллели на широте  $\varphi = 45^\circ$ .

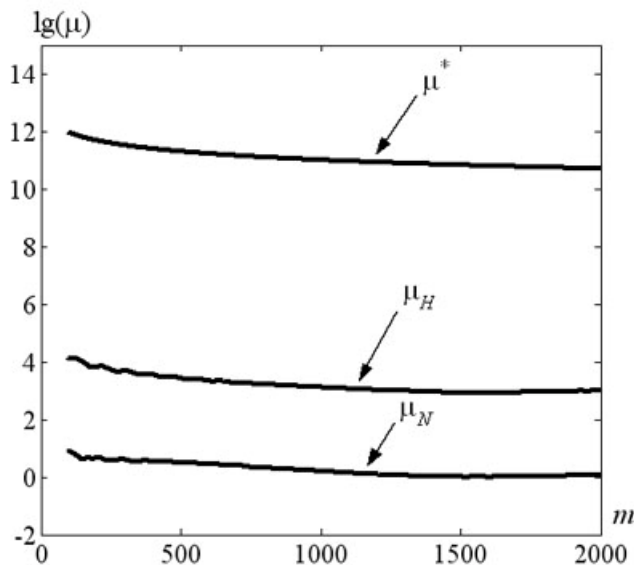


Рис. 1. Значения чисел обусловленности  $\mu_H$ ,  $\mu_N$ ,  $\mu^*$ .

На рис. 1 представлены графики эволюции трех значений ( $\mu_H$ ,  $\mu_N$ ,  $\mu^*$ ) числа обусловленности задачи метода наименьших квадратов с декларативной моделью вида  $\mathbf{J} = \mathbf{H}\mathbf{x}$ , где  $\mathbf{J} = (\delta z(t_i))_{i=1}^m$ ;  $m$  – текущее значение числа измерений;  $t_i = t_0 + (i - 1)\Delta t$  –  $i$ -й момент времени измерений;  $\Delta t = \text{const}$  – шаг измерений (в эксперименте  $\Delta t = 1$  с);  $\mathbf{x} = (\delta q_1, \delta p_1, \delta q_2, \delta p_2)^T$  – вектор состояний;  $\mathbf{H}$  –  $(m \times 4)$  – матрица (она может быть отождествлена с матрицей наблюдаемости), составленная из строк  $H_i = h_i \Phi(t_0, t_i)$ ,  $h_i = (\omega_2(t_i), \omega_1(t_i), 0)$ ;  $\Phi(t_0, t_i)$  – значение фундаментальной матрицы решений для соответствующего уравнению (2) однородного диффе-

ренциального уравнения;  $\mu_H$  и  $\mu_N$  – сингулярные числа обусловленности матрицы  $\mathbf{H}$  и ее (после нормировки по столбцам) образа  $\mathbf{N}$ , вычисленные в машинной (компьютерной) среде с относительной точностью представления чисел  $\epsilon = 2,2 \cdot 10^{-16}$ ;  $\mathbf{N} = \left( H_j^c / \|H_j^c\| \right)_{j=1,4}$ ;  $H_j^c$  и  $\|H_j^c\|$  – соответственно  $j$ -й столбец матрицы  $\mathbf{H}$  и его евклидова норма;  $\mu^* = 1/(\sqrt{1}(2n-3)(4m+27) + 4m+30)e_1$ ,  $n=4$ ,  $m > n$ , – критическое число обусловленности, определяющее верхнюю грань допустимых значений  $\mu_H$  (и/или  $\mu_N$ ), начиная с которой утверждение о разрешимости обратной задачи в вычислительной среде с заданным значением  $\epsilon_1$  теряет свою достоверность [7].

Как видно из рис. 1, утверждение о разрешимости рассматриваемой задачи вполне правомерно в силу того, что  $\mu_H < \mu^*$  и  $\mu_N < \mu^*$ .

На рис. 2 показана сходимость к нулю на фазовой плоскости  $(\Delta q_2, \Delta p_2)$  погрешностей оценок значений  $\delta q_2$  и  $\delta p_2$  (аналогичная картина имеет место и на плоскости  $(\Delta q_1, \Delta p_1)$ ) для алгоритма динамического обращения (т.е. алгоритма коррекции ИНС) калмановского типа, что является еще одним подтверждением разрешимости рассматриваемой задачи в заданной вычислительной среде (в соответствующем имитационном эксперименте погрешности измерений, как и положено делать в таких случаях, обнулялись).

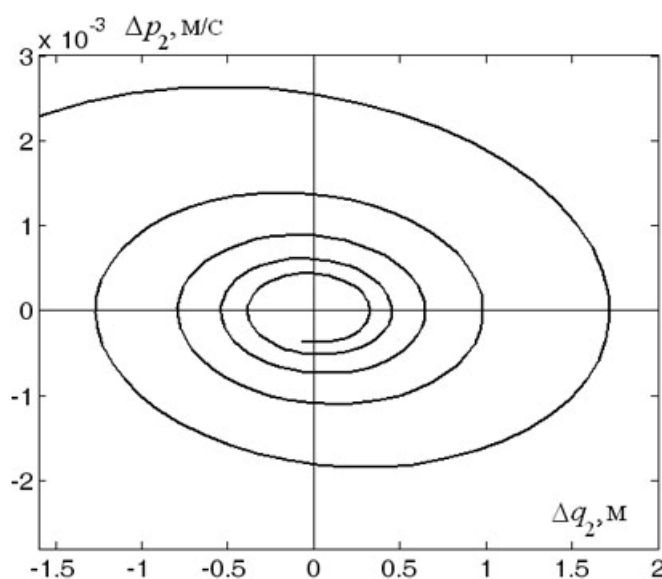


Рис. 2. Пример сходимости алгоритма динамического обращения на фазовой плоскости  $(\Delta q_2, \Delta p_2)$ .

На рис. 3 даны некоторые (ограничиваемся только графиками погрешностей оценок значений  $\delta q_2$  и  $\delta p_2$ ) результаты полного имитационного численного моделирования задачи, иллюстрирующие возможности калмановского алгоритма коррекции 2D-ИНС в условиях присутствия инструментальных погрешностей в измерениях. Эти погрешности моделируются несмещенными нормальными шумами со среднеквадратическими значениями соответственно для гироскопов –  $\sigma_v = 10^{-3}$  град/час, для ньютометров –  $\sigma_f = 10^{-3}$  м/с<sup>2</sup>, для НСС –  $\sigma_\epsilon = 1$  м и для величины  $\Delta \phi_3 - \sigma_3 = 10^{-2}$  м/с.

В целом представленные результаты вычислительных экспериментов вполне убедительно иллюстрируют прикладную значимость исследованной задачи.

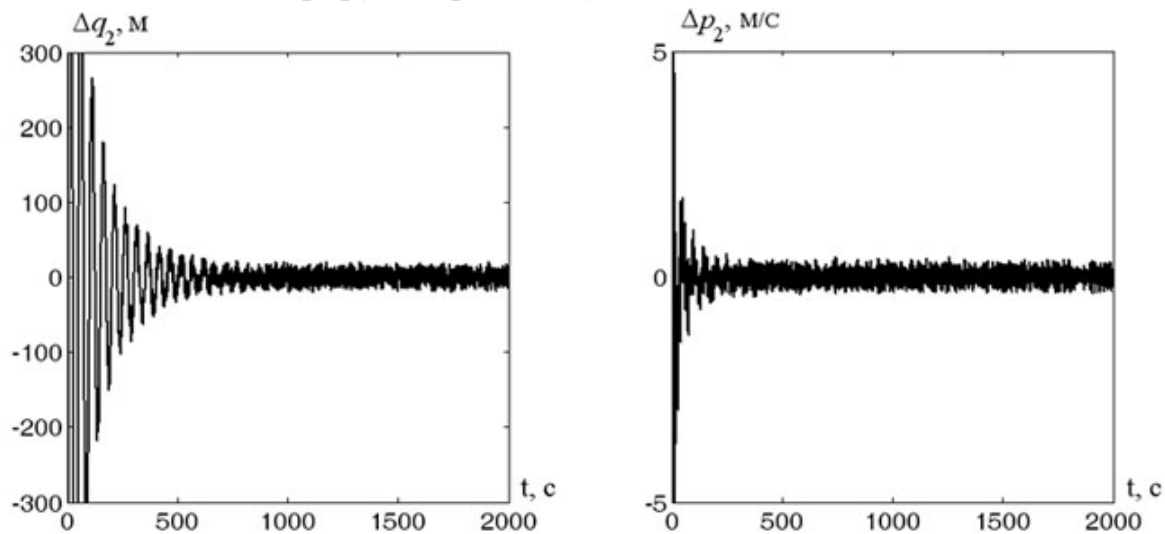


Рис. 3. Пример эволюции погрешностей ( $\Delta q_2$ ,  $\Delta p_2$ ) оценивания значений  $\delta q_2$  и  $\delta p_2$ .

### Заключение

В статье в рамках обоснованно ограниченной динамической группой уравнений (ДГУ) математической модели ИНС исследован случай доступности внешней (по отношению к инерциальной) информации о радиусе места объекта. Такая информация достаточна для построения асимптотически устойчивых (по ДГУ) алгоритмов коррекции 3D-ИНС [3], что достигается вполне традиционным способом, когда возможно формирование невязки непосредственно выполняемых измерений. При переходе в рассматриваемом информационном случае к схеме 2D-ИНС формирование подобной невязки становится невозможным. Вместе с тем (что показано в работе и что предлагается в качестве ее основного результата) и в такой ситуации могут быть построены модели коррекции 2D-ИНС, наследующие свойство асимптотической устойчивости корректируемых 3D-ИНС, если в качестве своего рода невязки рассматривать нарушения условий, вытекающих из условий движения объекта по сфере известного радиуса, или принципа Д'Аламбера, декларируемого на оси системы отсчета, направленной по радиус-вектору места объекта.

Автор выражает благодарность профессору А.С. Девятисильному за помощь в работе над статьей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Броксмейер Ч.Ф. Системы инерциальной навигации. – Л.: Судостроение, 1967.
2. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Корректируемые системы. – М.: Наука, 1967.
3. Девятисильный А.С., Числов К.А. Численное моделирование задачи коррекции трехкомпонентной инерциальной навигационной системы по высотной информации. // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2004. – №5. – С.101-105.
4. Девятисильный А.С., Числов К.А. Метод синтеза асимптотически устойчивой по динамической группе уравнений двухкомпонентной инерциальной навигационной системы // Управление и информатика в авиакосмических системах (приложение к журналу «Мехатроника, автоматизация, управление». – 2007 – №10 – С.2-4).



5. *Девятисильный А.С., Числов К.А.* Модель позиционно корректируемой двухкомпонентной гравиинерциальной навигационной системы на основе интерпретации принципа Д'Аламбера // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – №4. – С.71-74.
6. *Калман Р., Фалб П., Арбиб М.* Очерки по математической теории систем. – М.: Мир, 1971.
7. *Девятисильный А.С., Крыжско И.Б.* Исследование обусловленности задачи численного определения квазистационарной орбиты ИСЗ по наземным наблюдениям // Космические исследования. – 1997. – Т.35, №1. – С. 99-101.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Ю.Н. Кульчиным.*

**E-mail:**

*Числов Кирилл Александрович – [kirillche@rambler.ru](mailto:kirillche@rambler.ru).*

УДК 303.723.4

© 2012 г. **И.А. Шпехт**, канд. техн. наук

(Кубанский государственный технологический университет, Краснодар)

## **АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕРЕВА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕДУРНО-РОЛЕВОГО АЛГОРИТМА**

Рассматривается подход к реализации модуля «Анализ и моделирование дерева критериев» технологии ЭКАМ как основа формализации подэтапа «Определение критериев системы» системного анализа.

**Ключевые слова:** системный анализа, дерево критериев, сложная система, процедурно-ролевой алгоритм.

### **Введение**

Эффективное исследование сложной системы на современном этапе развития методов и подходов системного анализа требует всестороннего учета как внутренних, так и внешних связей системы, определяемых спецификой предметной области. При этом выявление и описание указанных связей порождает ряд неопределенностей, что затрудняет процесс формализации этапов системного анализа. Снятие неопределенностей неформализованных участков до определенного уровня формализации требует на каждом этапе системного анализа привлечения внутренних аналитиков и внешних экспертов с пошаговой алгоритмизацией их ролей и выполняемых процедур, что, в свою очередь, усложняет автоматизацию процесса исследования сложной системы.

В связи с этим, несмотря на уровень развития современного инструментария системного анализа, включающего в себя развитой математический аппарат и широкие возможности информационных технологий, на сегодня ни один из этапов системного анализа не является полностью формализованным, а проблема автоматизации этапов системного анализа в целом остается актуальной.

Для автоматизации этапов системного анализа в работе [1] предложена ме-