

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,  
МЕТРОЛОГИЯ  
И ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

INSTRUMENT MAKING,  
METROLOGY AND  
INFORMATION  
MEASUREMENT DEVICES  
AND SYSTEMS

УДК 621.396.967

DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-135-146

## Модель измерения азимута воздушного судна в информационно-измерительной системе\*

**В.Н. ГЛИСТИН**

392000, РФ, г. Тамбов, ул. Советская, 106, Тамбовский государственный технический университет

[glistinwadim@mail.ru](mailto:glistinwadim@mail.ru)

На современном этапе развития воздушного транспортного сообщения увеличивается плотность потока воздушных судов, особенно это заметно в районе аэропортов, где плотность потока значительно возрастает. Обстоятельства данного характера делает необходимым предъявлять высокие требования к информационно-измерительным системам в аспекте быстрейшего и точности определения координат воздушного судна.

Необходимость повышения пропускной способности аэропортов при заданном, высоком, уровне безопасности – одна из основных задач радиотехники, прямо влияющая на сохранность жизни и здоровья пассажиров.

Модернизация наземных радиолокационных станций и бортового оборудования воздушных судов, а также разработанные технологии передачи данных с борта воздушного судна в информационно-измерительные системы делает возможным синтез модели, описывающей изменение ускорения азимута воздушного судна в информационно-измерительных системах с использованием полного объема данных о кинематике и динамике движения воздушного судна. Применяя дискретно-адресные системы передачи информации с воздушного судна, по разработанным каналам можно получать информацию, дополняющую радиолокационные измерения, создавая полный объем данных о кинематике и динамике воздушного судна.

В работе рассмотрен поэтапный синтез модели изменения азимута воздушного судна, учитывающей его перегрузки. Полученное в итоге выражение позволит осуществить разработку математических моделей движения воздушного судна, более точно описывающих его перемещение в пространстве. Алгоритмы вторичной обработки информации, основанные на полученном выражении, позволят повысить точность определения угловых координат воздушного судна информационно-измерительными системами. Этот факт подтверждается проведенными исследованиями, результат которых представлен в настоящей работе.

**Ключевые слова:** воздушное судно, азимут воздушного судна, алгоритм, математическая модель, динамика, кинематика, угломерный канал, синтез алгоритма функционирования, ускорение воздушного судна, перегрузки воздушного судна

---

\* Статья получена 17 января 2020 г.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент одним из актуальных вопросов в радиотехнике является повышение точности и устойчивости определения координат воздушного судна (ВС). Актуальность данной задачи обусловлена повышением загруженности воздушных трасс различными ВС, что наиболее заметно в районе аэропортов, где плотность потока движения ВС значительно возрастает. Возрастание числа высоко динамичных ВС, одновременно находящихся в одной ограниченной области пространства, повышает вероятность нарушения области безопасности ВС, что приводит к повышению вероятности возникновения потенциально конфликтной ситуации [1]. Из этого следует, что повышение точности определения координат ВС позволит сократить нарушение области безопасности ВС и обеспечить высокую пропускную способность при заданном уровне безопасности.

Применяемые алгоритмы вторичной обработки радиолокационной информации в информационно-измерительных системах (ИИС) не обеспечивают высокую точность определения координат ВС, обладающих высокой маневренностью, особенно в моменты выполнения ими маневров с высокими перегрузками. Причиной этому служит применение моделей в алгоритмах функционирования вторичной обработки ИИС, с низкой достоверностью описывающих физические особенности выполнения маневра. Как правило, такие модели в лучшем случае учитывают кинематику маневра, но не учитывают динамику ВС. Эта особенность при выполнении вторичной обработки сигналов выражается значительным возрастанием среднеквадратических ошибок (СКО) фильтрации в моменты увеличения перегрузок, действующих на ВС [2].

На тему исследования точностных характеристик существующих алгоритмов проводились отдельные исследования [3–5], результат которых представлен на рис. 1 в виде зависимости СКО оценок угла азимута ВС от времени при выполнении им маневра «посадка».

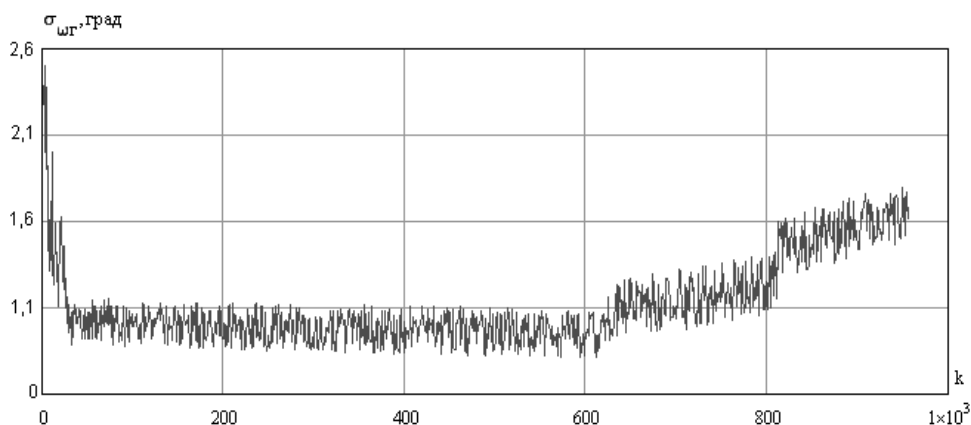


Рис. 1. График зависимости СКО азимута ВС от времени

Fig. 1. Graph of the dependence of the standard deviation of the azimuth of the aircraft on time

Полученный на рис. 1 результат соответствует алгоритму оценки угла азимута ВС, основанному на математической модели Зингера

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\Gamma}(k+1) &= \varepsilon_{\Gamma}(k) + \omega_{\Gamma}(k)T + 0,5\varpi_{\Gamma}(k)T^2, \\ \omega_{\Gamma}(k+1) &= \omega_{\Gamma}(k) + \varpi_{\Gamma}(k)T, \\ \varpi_{\Gamma}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi}T)\varpi_{\Gamma}(k) + \xi_{\omega_{\Gamma}}(k), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\Gamma}$  – азимут ВС;  $k$  – номер дискреты времени;  $\Delta\omega_{\Gamma}$  – скорости изменения угла места и азимута ВС соответственно;  $T$  – постоянная времени дискретизации;  $\varpi_{\Gamma}$  – ускорение изменения азимута ВС;  $\alpha_{\phi}$  – постоянная времени маневра;  $\xi_{\omega_{\Gamma}}$  – центрированные гауссовские шумы с известной дисперсией [6].

Также результатом исследований является наблюдение того, что приемлемые оценки угла азимута ВС имеются в момент прямолинейного или равномерного движения ВС, в то время как при интенсивном маневрировании воздушного судна СКО оценок азимута увеличивается в 1,5...2 раза [7].

Величина таких погрешностей приводит к уменьшению областей безопасности ВС или нарушению области безопасности ВС, что увеличивает вероятность возникновения потенциально конфликтных ситуаций, а следовательно, авиационных происшествий.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из методов повышения безопасности движения ВС в районе аэродрома является улучшение точности определения угловых координат ВС наземными ИИС. Так как применяемые в настоящий момент модели [8] имеют полную информацию только о кинематических характеристиках ВС (скорость  $V_{ц}$ ; угол наклона  $\theta$ ; путевой угол  $\phi$ ; углы крена  $\gamma$ , тангажа  $\upsilon$  и рыскания  $\psi$ ), то достоверно спрогнозировать положение ВС на ближайший момент времени не является возможным. Для получения более точной информации о перемещении ВС и возможности лучшего прогнозирования положения ВС в ближайшие моменты от измерения необходимо описать динамику ВС, выраженную векторами тангенциальной перегрузки  $n_x$ , нормальной перегрузки  $n_y$ , боковой перегрузки  $n_z$ .

Известно, что перегрузки ВС связаны с ускорением ВС выражением [9]

$$\vec{a} = \vec{n}g, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\vec{a}$  – ускорение ВС.

Очевидно возникает задача получения выражения, в полной мере описывающего векторы перегрузок ВС как одного из наиболее важных параметров, определяющих перемещение ВС при радиолокационных измерениях. Полученное выражение позволит описать динамические характеристики ВС.

Всю необходимую информацию о динамике ВС можно получить в ИИС через дискретно-адресные системы передачи информации, реализованные с использованием S-режима передачи радиолокационной информации [10].

## 2. СИНТЕЗ УРАВНЕНИЯ УСКОРЕНИЯ АЗИМУТА ВОЗДУШНОГО СУДНА

Для получения выражения, описывающего ускорение азимута ВС, необходимо определить векторы тангенциальной, нормальной и боковой перегрузок в системах координат ВС. Как правило, с точки зрения удобства записи тригонометрических выражений вектор перегрузок раскладывают по осям скоростной системы координат, как показано на рис. 2. В скоростной системе координат тангенциальная перегрузка ( $n_{xa}$ ) совпадает по направлению с вектором скорости ВС  $V_{ц}$ , нормальная перегрузка ( $n_{ya}$ ) направлена вдоль оси  $OY_a$ , а боковая перегрузка ( $n_{za}$ ) – по оси  $OZ_a$  [11].

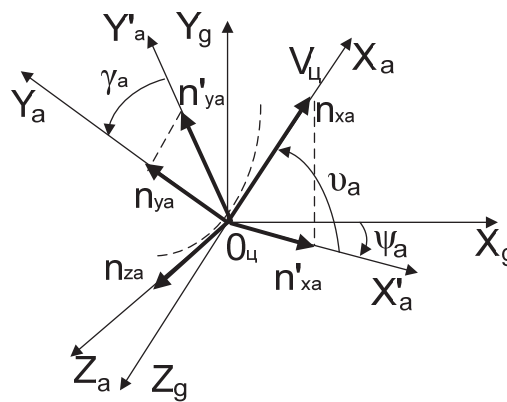


Рис. 2. Скоростная и нормальная системы координат

Fig. 2. High-speed and normal coordinate systems

Для дальнейших расчетов следует определить расположение осей скоростной системы координат. Согласно ГОСТ 20058-80 [12], в скоростной системе координат ось  $O_{ц}X_a$  совпадает с направлением вектора скорости ВС  $V_{ц}$ , ось  $O_{ц}Y_a$  лежит в плоскости симметрии ВС и перпендикулярна оси  $O_{ц}X_a$ . Ось  $O_{ц}Y_a$  перпендикулярна осям  $O_{ц}X_a$  и  $O_{ц}Z_a$  и образует вместе с ними правую систему координат. Скоростная система координат является подвижной, а ее центр  $O_{ц}$  находится в центре масс ВС. Скоростная система координат смещена относительно нормальной системы координат на скоростные углы крена  $\gamma_a$ , тангажа  $\nu_a$  и рыскания  $\psi_a$ , как это показано на рис. 2.

На рис. 2 представлено расположение скоростной системы координат ВС относительно нормальной системы координат. Для наглядного представления взаимного расположения систем координат на рис. 2 обозначено:  $O_{ц}Y'_a$  – проекция оси  $O_{ц}Y_a$  на вертикальную плоскость  $O_{ц}X_gY_g$ , так же как и  $n'_{ya}$  является проекцией вектора  $n_{ya}$  на плоскость  $O_{ц}X_gY_g$ ;  $O_{ц}X'_a$  является

проекцией оси  $O_{ц}X_a$  на горизонтальную плоскость  $O_{ц}X_gZ_g$ , так же как и  $n'_{xa}$  является проекцией вектора  $n_{xa}$  на плоскость  $O_{ц}X_gZ_g$ .

В общем виде движение ВС относительно точки наблюдения (т. е. ИИС) можно представить в виде рис. 3.

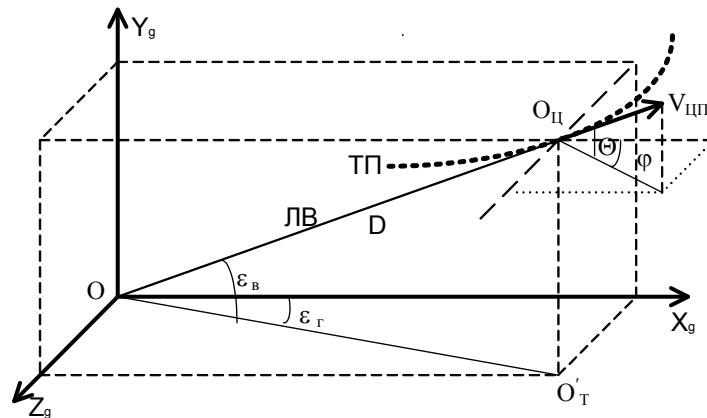


Рис. 3. Положение ВС в траекторной системе координат

Fig. 3. The position of the aircraft in the trajectory coordinate system

На рис. 3 в общем виде представлена система координат  $OZ_gX_gY_g$ , в которой антенны ИИС располагаются в точке  $O$ . Ось  $OX_g$  направлена к северу параллельно касательной к меридиану, ось  $OY_g$  – вверх по местной вертикали, ось  $OZ_g$  лежит в плоскости параллели и направлена на восток, образуя с осями  $OX_g$  и  $OY_g$  правую систему координат [13].

Обзор пространства происходит в двух плоскостях – вертикальной и горизонтальной, образуя тем самым линию визирования (ЛВ). В нормальном состоянии линия визирования направлена вдоль оси  $OX_g$ . В случае обнаружения ВС на рис. 3 центр масс ВС обозначен точкой  $O_{ц}$ , линия визирования отклоняется от оси  $OX_g$  на угол  $\epsilon_{г}$  (азимут ВС) в горизонтальной плоскости  $OZ_gX_g$  и от оси  $OX_g$  на угол  $\epsilon_{в}$  (угол места) – в вертикальной плоскости  $OX_gY_g$  [14].

Перемещается ВС по определенной траектории, условно обозначенной на рис. 3 пунктирной кривой ТП. В общем случае перемещение ВС относительно точки земной поверхности характеризуется вектором земной скорости ВС, обозначенной как  $V_{цп}$ , углом наклона траектории ( $\Theta$ ) ВС между вектором земной скорости ВС и его проекцией на горизонтальную плоскость  $OX_gZ_g$ , углом поворота траектории ( $\phi$ ) относительно проекции вектора земной скорости ВС на горизонтальную плоскость  $OX_gZ_g$  и осью  $OX_g$ .

Для более детального описания траектории движения воздушного судна целесообразно ввести дополнительную систему координат, определить ее точку отсчета, положительные направления осей координат, а также их направление. В качестве такой системы координат лучше других подходит траекторная [13], и она имеет вид, представленный на рис. 4.

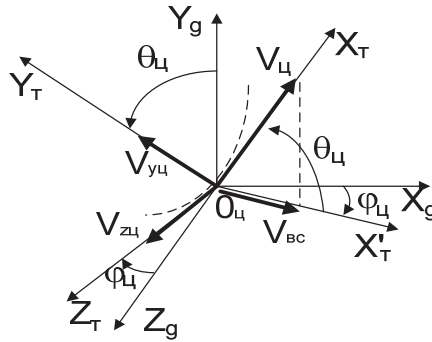


Рис. 4. Траекторная система координат

Fig. 4. The trajectory coordinate system

Траекторная система координат  $O_{ц}Z_{т}X_{т}Y_{т}$  является подвижной, ее начало помещается в центре масс ВС. Ось  $O_{т}X_{т}$  направлена по касательной траектории ВС и совпадает с вектором скорости. Ось  $O_{т}Y_{т}$  направлена по перпендикуляру к оси  $O_{т}X_{т}$  и лежит в вертикальной плоскости. Ось  $O_{т}Z_{т}$  образует правую систему координат. Система координат  $O_{т}Z_{т}X_{т}Y_{т}$  повернута относительно нормальной системы координат на угол  $\varphi$  вокруг оси  $OY_{г}$  и угол  $\Theta$  вокруг оси  $O_{т}Z_{т}$ .

Как было отмечено ранее, вектор перегрузки ВС раскладывается по осям скоростной системы координат. Следовательно, для вычисления вектора перегрузок в траекторной системе координат необходимо перейти от скоростной системы координат к траекторной, используя рис. 2 и 4. На основе положений ГОСТ 20058-80 и таблицы направляющих косинусов [12] получим проекции векторов перегрузок в траекторной системе координат:

$$n_{X_{т}} = n_{X_{a}}; \quad (3)$$

$$n_{Y_{т}} = n_{Y_{a}} \cos(\gamma_a) - n_{Z_{a}} \sin(\gamma_a); \quad (4)$$

$$n_{Z_{т}} = n_{Y_{a}} \sin(\gamma_a) - n_{Z_{a}} \cos(\gamma_a). \quad (5)$$

Однако для определения угловых характеристик положения ВС относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП) необходимо перейти от траекторной системы координат к нормальной. Таким образом, полученные значения перегрузок (3)–(5) будут спроецированы соответственно на оси нормальной системы координат. Воспользовавшись таблицей направляющих косинусов

сов [12] и рис. 4, получим вектор перегрузки в проекциях на оси нормальной системы координат:

$$n_{Xg} = n_{Xa} \cos(\varphi) \cos(\theta) - \cos(\varphi) \sin(\theta) (n_{Ya} \cos(\gamma_a) - n_{Za} \sin(\gamma_a)) + \sin(\varphi) (n_{Ya} \sin(\gamma_a) + n_{Za} \cos(\gamma_a)); \quad (6)$$

$$n_{Yg} = n_{Xa} \sin(\theta) + \cos(\theta) (n_{Ya} \cos(\gamma_a) - n_{Za} \sin(\gamma_a)); \quad (7)$$

$$n_{Zg} = -n_{Xa} \sin(\varphi) \cos(\theta) + \sin(\varphi) \sin(\theta) (n_{Ya} \cos(\gamma_a) - n_{Za} \sin(\gamma_a)) + \cos(\varphi) (n_{Ya} \sin(\gamma_a) + n_{Za} \cos(\gamma_a)). \quad (8)$$

Подставляя выражения (6)–(8) в выражение (3), получим значения проекций ускорения ВС на оси нормальной системы координат:

$$a_{Xg} = g (n_{Xa} \cos(\varphi) \cos(\theta) - \cos(\varphi) \sin(\theta) (n_{Ya} \cos(\gamma_a) - n_{Za} \sin(\gamma_a)) + \sin(\varphi) (n_{Ya} \sin(\gamma_a) + n_{Za} \cos(\gamma_a))); \quad (9)$$

$$a_{Yg} = g (n_{Xa} \sin(\theta) + \cos(\theta) (n_{Ya} \cos(\gamma_a) - n_{Za} \sin(\gamma_a))); \quad (10)$$

$$a_{Zg} = g (\sin(\varphi) \sin(\theta) (n_{Ya} \cos(\gamma_a) - n_{Za} \sin(\gamma_a)) - n_{Xa} \sin(\varphi) \cos(\theta) + \cos(\varphi) (n_{Ya} \sin(\gamma_a) + n_{Za} \cos(\gamma_a))). \quad (11)$$

Из материалов теоретической механики [15] известна связь углового ускорения ( $\varpi$ ) и тангенциального ускорения тела, которая описывается выражением [9]

$$\varpi = \frac{a_{Xg}}{R}, \quad (12)$$

где  $R$  – расстояние от неподвижной точки наблюдения (оси вращения).

Учитывая, что цель работы заключается в описании динамики изменения азимута ВС, а его изменение происходит в горизонтальных плоскостях систем координат, то достаточно дальнейшее рассмотрение вектора путевого ускорения ( $a_n$ ) выполнить в пределах горизонтальной плоскости нормальной системы координат  $OZ_g X_g$ , как показано на рис. 5.

На рис. 5 представлены: отрезок  $OO'_Ц$ , обозначающий проекцию на горизонтальную плоскость  $OZ_g X_g$  линии визирования в начальный момент времени наблюдения за ВС; дальность  $D''$  до ВС в горизонтальной плоскости в момент, следующий за отсчетом дальности  $D'$ ; приращение угла азимута  $\Delta \epsilon_\Gamma$ .

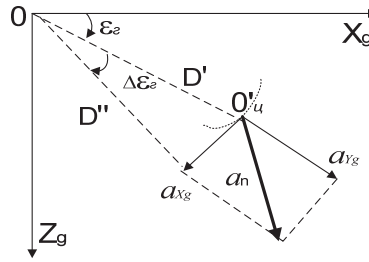


Рис. 5. Горизонтальная плоскость полярной системы координат

Fig. 5. The horizontal plane of the polar coordinate system

Значение  $D'$  определяется выражением

$$D' = D \cos(\varepsilon_B), \quad (13)$$

где  $D$  – дальность до ВС по линии визирования, определяемая ИИС.

Предположим, что измерение угла  $\varepsilon_B$  ИИС производится с высокой периодичностью, в таком случае  $\Delta\varepsilon_B$  имеет малую величину, из чего следует возможность равенства  $D' = R$ .

Вектор  $a_n$  в плоскости наблюдения раскладывается на тангенциальное ускорение  $a_{xg}$  и нормальное ускорение  $a_{yg}$  [15] ( $a_n = a_{xg} + a_{yg}$ ). Приняв во внимание выражение (12), следует заметить, что для дальнейших расчетов ускорения азимута ВС достаточно учитывать только тангенциальную составляющую вектора путевого ускорения. В таком случае на основе формулы (12) и учитывая (9) и (13), получим выражение, описывающее ускорение изменения азимута ВС:

$$\begin{aligned} \omega_B = & (g(n_{Xa} \cos(\varphi) \cos(\theta) - \cos(\varphi) \sin(\theta) (n_{Ya} \cos(\gamma_a) - n_{Za} \sin(\gamma_a)) + \\ & + \sin(\varphi) (n_{Ya} \sin(\gamma_a) + n_{Za} \cos(\gamma_a))) / D \cos(\varepsilon_B). \end{aligned} \quad (14)$$

Таким образом, используя полный объем кинематических и динамических данных о перемещении ВС, получили выражение (14), в полном объеме описывающее ускорение азимута ВС.

### 3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕННОГО УРАВНЕНИЯ

Оценить полученное выражение, описывающее ускорение азимута ВС, возможно, применив его в алгоритме функционирования угломерного канала ИИС.

Была проведена отдельная работа, в процессе выполнения которой выражение (14) положено в основу составленных моделей состояния ВС [16]. Далее, основываясь на моделях состояния ВС, синтезирован алгоритм функционирования угломерного канала ИИС, а также выполнена оценка эффективности полученных алгоритмов [9], результат которой представлен в виде зависимости оценок СКО азимута ВС от времени, при условии выполнения ВС маневра «посадка».



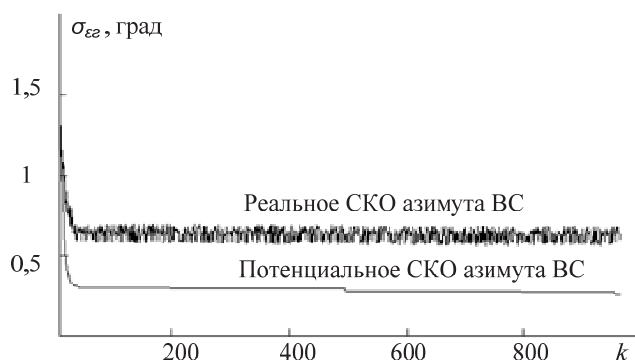


Рис. 6. График зависимости СКО азимута ВС от времени разработанного алгоритма

Fig. 6. Graph of the dependence of the standard deviation of the aircraft azimuth on the time of the developed algorithm

На рис. 6 показаны потенциальная и реальная СКО азимута ВС, полученные в результате математического моделирования алгоритма функционирования угломерного канала ИИС при условии, что наблюдаемое ВС выполняло маневр «посадка». Сравнивая точностные характеристики существующих алгоритмов, представленных на рис. 1, и точностные характеристики алгоритма, основанного на выражении (14), становится очевидно, что при выполнении маневра «посадка» СКО оценки азимута ВС сокращаются в последнем случае приблизительно в 1,5...1,8 раза, и это особенно выражено, когда перегрузки, воздействующие на ВС, наиболее высоки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом выполненной работы является модель измерения азимута ВС, в полной мере учитывающая его кинематические и динамические характеристики. Полученное выражение позволит составить модели ВС, точно описывающие его перемещение в пространстве. Это позволит уменьшить ошибки обработки данных угловых координат ВС в моменты выполнения им маневра, когда его ускорение значительно изменяется, по нелинейным законам.

Обоснованность данных заключений подтверждена математическим моделированием, результаты которого показывают повышение точности определения угловых координат ВС информационно-измерительными системами в 1,5...1,8 раза. Повышение точности определения угловых координат ВС позволит сократить число потенциально конфликтных ситуаций при плотном воздушном движении в районе аэропорта и повысить пропускную способность при заданном уровне безопасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наимов У.Р., Данилов С.Н. Алгоритм функционирования информационно-измерительной системы оценки координат беспилотных летательных аппаратов // Научный вестник НГТУ. – 2019. – № 4 (77). – С. 121–134. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-4-121-134.
2. Пудовкин А.П., Данилов С.Н., Панасюк Ю.Н. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах. – СПб.: Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Иванов А.В. Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 572–577. – DOI: 10.17277/vestnik.2015.04.pp.572-577.
4. Глистин В.Н., Панасюк Ю.Н. Исследование алгоритмов угломерного канала со случайной структурой при траекторной обработке воздушных судов // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: Всероссийская заочная научно-практическая конференция. – Тамбов, 2017. – Вып. 1. – С. 180–182.
5. Колоколова К.В., Гайдук А.Р. Синтез систем автоматического управления неустойчивыми многомерными объектами // Научный вестник НГТУ. – 2017. – № 1 (66). – С. 26–40.
6. Глистин В.Н., Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П. Модель дальномерного канала автоматической системы управления воздушным движением в режиме посадки // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – № 52. – С. 27–31.
7. Глистин В.Н., Панасюк Ю.Н. Применение динамических данных воздушного судна в угломерном канале информационно-измерительных систем // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 190–196. – DOI: 10.17277/vestnik.2019.02.pp.190-196.
8. Haykin S. Kalman filtering and neural networks. – New York: Wiley, 2001. – P. 3–20. – DOI: 10.1002/0471221546.
9. Глистин В.Н. Расчет кинематических и динамических характеристик воздушного судна относительно радиолокационной станции // Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией: сборник научных статей по материалам VI Международной научно-технической конференции, посвященной дню образования войск связи. – Воронеж, 2017. – С. 62–65.
10. Гилькина С.Л., Гришуков А.А. Информационная модель сети ATN с реализацией функций системы CNS/ATM // Электросвязь. – 2008. – № 5. – С. 35–37.
11. Анодина Т.Г., Мокшанов В.И. Моделирование процессов в системе управления воздушным движением. – М.: Радио и связь, 1993. – 263 с.
12. ГОСТ 20058–80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 51 с.
13. Лобачев Ю.В., Панасюк Ю.Н., Комягин Б.П. Обработка радиолокационной информации в автоматизированных системах управления полетами. – Тамбов: ТВВАИУРЭ, 2008. – 152 с.
14. Перевезенцев В.П., Азарков А.И. Радиолокационные системы аэропортов. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
15. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 416 с.
16. The theta-theta channel functioning algorithm synthesis of the data measuring system for the maneuvering aircraft with consideration to its dynamic and kinematic characteristics / V.N. Glistin, A.P. Pudovkin, M.P. Belyaev, Yu.N. Panasyuk, L.G. Varepo, S.N. Danilov, P.S. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1441: XIII International scientific and technical conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines", Omsk, 2019. – P. 1–6. – DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012059.

*Глистин Вадим Николаевич*, аспирант кафедры «Радиотехника» Института энергетики, приборостроения и радиоэлектроники Тамбовского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – информационно-измерительные системы в радиолокации. Имеет более 20 публикации. E-mail: glistinwadim@mail.ru

*Glistin Vadim N.*, postgraduate student at the department of radio engineering, Institute of Power Engineering, Instrumentation and Radio electronics of the Tambov State Technical University». His main area of research is information and measurement systems in radar location. He has more than 20 publications. E-mail: glistinwadim@mail.ru

DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-135-146

### ***A model for measuring the aircraft azimuth in the information measurement system***\*

V.N. GLISTIN

*Tambov State Technical University, 106 Sovetskaya Street, Tambov, 392000, Russian Federation**glistinwadim@mail.ru*

#### **Abstract**

At the present stage of air transport development the density of the flow of aircraft increases, especially near airports, where the flux density is high. These factors make it necessary to place high requirements to information and measurement systems in terms of speed and accuracy of determining the coordinates of the aircraft.

The need to increase the capacity of airports at a given high level of security is one of the main tasks of radio engineering, which directly affects the safety of life and health of passengers.

The modernization of ground-based radar stations and aircraft onboard equipment, as well as the developed technologies for transmitting data from the aircraft to information measurement systems, makes it possible to synthesize a model describing the change in the aircraft azimuth acceleration in information measurement systems using full data on the kinematics and dynamics of the aircraft movement. Using discrete-address systems for transmitting information from the aircraft, the developed channels provide information that complements radar measurements, creating a full volume of data on the kinematics and dynamics of the aircraft.

The paper considers a step-by-step synthesis of the model of changing the azimuth of an aircraft, taking into account its overload. The resulting expression will allow the development of mathematical models of aircraft movement that more accurately describe its movement in space. Algorithms for secondary processing of information based on the obtained expression will improve the accuracy of determining the angular coordinates of the aircraft by information and measurement systems. This fact is confirmed by the conducted research, the result of which is presented in this paper.

**Keywords:** aircraft, the azimuth of the aircraft, algorithm, mathematical model, dynamics, kinematics, angular channel, synthesis of the functioning algorithm, the acceleration of the aircraft, overload of the aircraft

#### **REFERENCES**

1. Naimov U.R., Danilov S.N. Algoritm funktsionirovaniya informatsionno-izmeritel'noi sistemy otsenki koordinat bespilotnykh letatel'nykh apparatov [An algorithm for information-measuring system functioning to assess coordinates of unmanned aerial vehicles]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 4 (77), pp. 121–134. DOI: 10.17212/1814-1196-2019-4-121-134.
2. Pudovkin A.P., Danilov S.N., Panasyuk Yu.N. *Perspektivnye metody obrabotki informatsii v radiotekhnicheskikh sistemakh* [Perspective methods of information processing in radio engineering systems]. St. Petersburg, Ekspertnye resheniya Publ., 2014. 256 p.
3. Ivanov A.V. Tochnostnye kharakteristiki navigatsionnykh kompleksov, ispol'zuyushchikh kontrol' tselostnosti sputnikovykh radionavigatsionnykh sistem dlya rekonfiguratsii [Accuracy characteristics of navigation systems using integrity control of satellite radio navigation systems for reconfiguration]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, no. 4, pp. 572–577. DOI: 10.17277/vestnik.2015.04.pp.572-577.
4. Glistin V.N., Panasyuk Yu.N. [Research of algorithms of the goniometric channel with casual structure at trajectory processing aircrafts]. *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii: Vserossiiskaya zaochnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [All-Russian correspondence scientific and practical conference "Fundamental and applied research: current issues, achievements and innovations". Tambov, 2017, iss. 1, pp. 180–182. (In Russian).

---

\* Received 17 January 2020.

5. Kolokolova K.V., Gaiduk A.R. Sintez sistem avtomaticheskogo upravleniya neustoiichivymi mnogomernymi ob"ektami [Synthesis of control systems by unstable multivariable plants]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 1 (66), pp. 26–40.

6. Glistin V.N., Panasyuk Yu.N., Pudovkin A.P. Model' dal'nomernogo kanala avtomaticheskoi sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem v rezhime posadki [Model of rangefinder channel of automatic air traffic control system in landing mode]. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo = Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 2014, no. 52, pp. 27–31.

7. Glistin V.N., Panasyuk Yu.N. Primenenie dinamicheskikh dannykh vozdushnogo sudna v uglomernom kanale informatsionno-izmeritel'nykh sistem [Application of dynamic aircraft data in the angular channel of information and measurement systems]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, no. 2. pp. 190–196. DOI: 10.17277/vestnik.2019.02.pp.190-196.

8. Haykin S. *Kalman filtering and neural networks*. New York, Wiley, 2001, pp. 3–20. DOI: 10.1002/0471221546.

9. Glistin V.N., [Calculation of kinematic and dynamic characteristics of the aircraft relative to the radar station]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem svyazi i radiotekhnicheskogo obespecheniya v upravlenii aviatsiei: sbornik nauchnykh statei po materialam VI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi dnyu obrazovaniya voisk svyazi* [Collection of scientific articles based on the materials of the VI International scientific and technical conference dedicated to the day of formation of communication troops "Current state and prospects of development of communication systems and radio engineering support in aviation management"]. Voronezh, 2017, pp. 62–65. (In Russian).

10. Gil'kina S.L., Grishukov A.A. Informatsionnaya model' seti ATN s realizatsiei funktsii sistemy CNS/ATM [ATN network information model with a CNS/ATM system function]. *Elektrosvyaz' = Telecommunications*, 2008, no. 5, pp. 35–37.

11. Anodina T.G., Mokshanov V.I. *Modelirovanie protsessov v sisteme upravleniya vozdushnym dvizheniem* [Modeling of processes in the air traffic control system]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1993. 263 p.

12. GOST 20058–80. *Dinamika letatel'nykh apparatov v atmosfere* [State Standard 20058-80. Dynamics of aircraft in the atmosphere]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 51 p.

13. Lobachev Yu.V., Panasyuk Yu.N., Komyagin B.P. *Obrabotka radiolokatsionnoi informatsii v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya poletami* [Radar information processing in automated flight control systems]. Tambov, 2008. 152 p.

14. Perevezentsev V.P., Agarkov A.I. *Radiolokatsionnye sistemy aeroportov* [Airport radar systems]. Moscow, Transport Publ., 1991. 360 p.

15. Targ S.M. *Kratkii kurs teoreticheskoi mekhaniki* [Short course of theoretical mechanics]. 10th ed., revised and expanded. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 416 p.

16. Glistin V.N., Pudovkin A.P., Belyaev M.P., Panasyuk Yu.N., Varepo L.G., Danilov S.N., Belyaev P.S. The theta-theta channel functioning algorithm synthesis of the data measuring system for the maneuvering aircraft with consideration to its dynamic and kinematic characteristics. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1441: XIII International scientific and technical conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines", Omsk, 2019, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012059.

Для цитирования:

Глистин В.Н. Модель измерения азимута воздушного судна в информационно-измерительной системе // Научный вестник НГТУ. – 2020. – № 1 (78). – С. 135–146. – DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-135-146.

For citation:

Glistin V.N. Model' izmereniya azimuta vozdushnogo sudna v informatsionno izmeritel'noi sisteme [A model for measuring the aircraft azimuth in the information measurement system]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2020, no. 1 (78), pp. 135–146. DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-135-146.