

Мельник В. Н.,
Карачун В. В.,
Шибецкий В. Ю.

СОЗДАНИЕ В САЛОНЕ ВЕРТОЛЕТА НЕВОЗМУЩАЕМОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПАНЕЛИ ОПЕРАЦИОННОГО СТОЛА ГОСПИТАЛЯ МОБИЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Проанализирована техническая возможность создания госпиталя мобильного базирования на транспортном средстве, в частности в виде модульной конструкции на вертолете. Показано, что трехосная гироскопическая платформа может создать неподвижную горизонтальную плоскость. Доказано, что точность воспроизведения может быть увеличена гироскопическим моментом. Наиболее эффективным методом для решения этой задачи служит двухканальная автокомпенсация влияния внешних помех.

Ключевые слова: трехосная гироскопическая платформа, двухканальная автокомпенсация, перекрестные связи, инерциальный сенсор, гироскоп.

1. Введение

Утвержденная Президентом Украины Военная доктрина 24 сентября 2015 г., побудили к осмысленной необходимости привлечения украинской науки к проблемам сегодняшнего дня.

Важнейшей задачей госпиталя мобильного базирования является оказание безотлагательной и квалифицированной медицинской помощи пострадавшим в зоне боевых действий. Степенью эффективности этой помощи служит один показатель — время. Медицинская служба не имеет права терять ни минуты при транспортировке пострадавших к медицинскому учреждению. Выход один — осуществлять медицинскую помощь непосредственно на транспортном средстве и именно во время его движения. Самым мобильным транспортным средством здесь представляется вертолет (или маломоторная авиация). Вместе с тем, присутствующая трехосная качка и вибрация фюзеляжа перечеркивают любые попытки оказания хирургической помощи пациенту. Проблема разрешима возложением функции панели операционного стола на трехосную гиросtabilizированную платформу, которая обеспечит горизонтальную неподвижность своей поверхности на необходимое время для действенной медицинской помощи непосредственно в салоне транспортного средства и на протяжении всего времени транспортировки.

Таким образом, создается возможность для безопасного операционного вмешательства к пострадавшим жизненно важным органам человека, в том числе к сердечно-сосудистой системе, а также для удаления осколков. В экстренных случаях представится возможность нейрохирургического вмешательства.

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению особенностей динамики госпиталя мобильного базирования в условиях стохастического углового движения транспортного средства в зоне боевых действий [1]. Анализируется возможность

уменьшения собственных уходов гиросtabilizированной платформы с установленным на ней операционным столом путем использования по каждой оси стабилизации вместо одного двух электрически связанных инерциальных сенсоров [2].

Актуальность работы в данном направлении — неотложное оказание первой медицинской помощи пострадавшим непосредственно на транспортном средстве и именно во время его движения.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования служит упругое взаимодействие углового движения фюзеляжа вертолета с панелью операционного стола.

Хирургическая помощь, предполагающая операционное вмешательство во время полета вертолета, в принципе невозможно из-за существующей угрозы нанесения хирургом серьезных повреждений пациенту. Эта опасность присуща, но в меньшей степени, и во время нахождения вертолета на взлетной площадке, так как большая парусность фюзеляжа и плюс дополнительные факторы на окружающей территории, к примеру, во время боевых действий огневая и ударная мощь, создают низкочастотную трехосную полигармоническую качку корпуса фюзеляжа вместе с жестко установленной внутри вертолета панелью операционного стола.

3. Цель и задачи исследований

Целью исследований является изучение возможности проведения безотлагательной операции пострадавшему сразу же после его доставки на вертолет путем пространственной стабилизации панели операционного стола в госпитале мобильного базирования на транспортном средстве, в частности, в виде модульной конструкции на вертолете [1].

Поставленная цель подразумевает решение следующих задач:

1. Анализ одного из технических решений на основе трехосной гиросtabilизированной платформы.
2. Изучение возможности повышения точности стабилизации на основе метода двухканальности.
3. Оценка эффективности двухканального метода и пути его дальнейшего совершенствования.

4. Анализ литературных данных

Известно, что трехосная гиросtabilизированная платформа, подверженная кинематическому воздействию со стороны основания в виде угловых колебаний, имеет собственные уходы относительно всех трех осей, обусловленные влиянием перекрестных связей между каналами стабилизации [3]. Влияние вибрации плоских элементов подвеса рассмотрено в работе [4]. Воздействие проникающего акустического излучения изучалось, например, в работе [5]. Дифракция звуковых волн на поплавковом подвесе сенсора анализировалась в работе [6]. Погрешность трехосного стабилизатора в эксплуатационных условиях рассматривалась в работе [7]. Востребованность инерциальных сенсоров в качестве чувствительных элементов очерчена их автономностью [8]. Достоинства и недостатки карданова подвеса рассмотрены в работе [9]. Автономное курсоуказание с помощью свободного гироскопа исследовано в работе [10]. Возможности построения навигационных систем на базе гироскопа освещены в работе [11].

Наиболее существенные погрешности трехосного стабилизатора формируются его чувствительными элементами — двухстепенными гироскопами [12]. Поэтому следует, прежде всего, уменьшить погрешности чувствительных элементов [13, 14].

Как оказалось, предпочтительными здесь выступают методы автокомпенсации, в частности, метод, основанный на принципе двухканальности [2].

Его преимущество определяется возможностью подавления влияния мгновенных значений внешних кинематических воздействий.

Современная практика транспортировки больных в критических состояниях сталкивается с дилеммой, что важнее: скорость доставки больного или необходимость обеспечения соответствующих условий транспортировки [15]. Власти Германии в серьез задумываются над вопросом целесообразности использования вертолета для перевозки больного, так как при этом потерпевшему можно причинить больше вреда самой транспортировкой [16]. Следовательно, обеспечение «комфорта» пациента является первоочередным заданием.

Существуют следующие модификации хирургических столов: общехирургический, ортопедический и нейрохирургический стол, которые, в зависимости от возможностей передвижения, могут быть стационарными или неподвижными. Обычно в качестве панели для перевозки пассажиров в вертолетах используют неподвижную конструкцию, жестко прикрепленную к фюзеляжу [16]. Такая техническая реализация не только не способствует «комфорту» пациента, но и не дают возможность обеспечить немедленное хирургическое вмешательство в условиях полета.

5. Материалы и методы исследования

Трехосная гиросtabilизированная платформа имеет три оси подвеса, которые обеспечивают три степени свободы ее углового движения. Размещение осей может быть различным. Наиболее часто встречаемым вариантом является такой, когда одна ось платформы перпендикулярна к ее плоскости (вертикальна), а другие две — располагаются вдоль продольной и поперечной осей платформы [12].

На платформе устанавливаются три двухстепенных гироскопа, на осях прецессии каждого из которых находятся датчики угла прецессии и датчики моментов. Оси чувствительности всех трех гироскопов взаимно перпендикулярны. Один гироскоп, ось собственного вращения и ось прецессии которого параллельны плоскости платформы, выполняет, вместе со своей системой разгрузки, стабилизацию платформы относительно вертикальной оси, перпендикулярной к ее плоскости. Два других гироскопа осуществляют, вместе со своими системами разгрузки, стабилизацию платформы относительно двух других осей ее подвеса. Оси чувствительности этих двух гироскопов взаимно перпендикулярны и перпендикулярны к осям платформы (рис. 1).

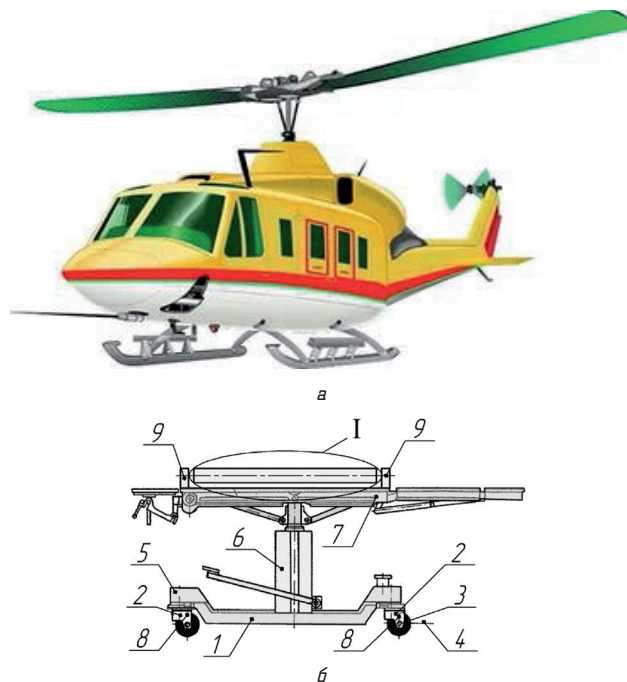


Рис. 1. Вертолетный вариант операционного стола госпиталя мобильного базирования: *а* — вертолет, в котором будет устанавливаться операционный стол; *б* — общий вид операционного стола

Трехосные платформы с силовой гироскопической стабилизацией используются также как свободные платформы, которые сохраняют заданное исходное положение, либо как корректируемые в пространстве [17].

Операционный стол мобильного госпиталя содержит основание 1 с вилками 2, колеса 3, имеющие возможность поворота вокруг горизонтальной 4 и вертикальной 5 осей, тумбу 6, панель 7, привод панели 7 (не показан), фиксатор 8 колеса в горизонтальной плоскости, устройства 9 для установки осей 10 внешней рамы 11 со стабилизирующим вдоль продольной оси платформы 14

двигателем 12 и редуктором 13, внутреннюю раму 15 со стабилизирующим относительно поперечной оси платформы 14 двигателем 16 и редуктором 17, стабилизирующий двигатель 18 и редуктор 19 поворота гиросtabilизированной платформы 14 вокруг вертикальной оси, двухстепенные гироскопы 20, 21 и 22, которые размещаются на платформе 14 (для удобства восприятия на рис. 2 изображены двухстепенные гироскопы сверху платформы).

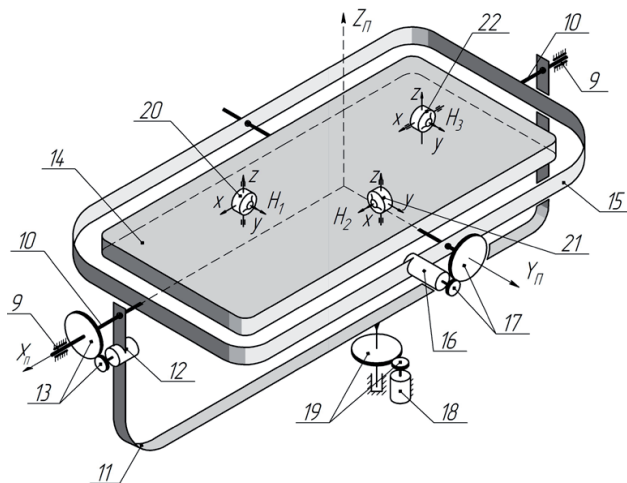


Рис. 2. Кинематическая схема трехосной гиросtabilизированной платформы

Работа операционного стола мобильного госпиталя осуществляется следующим образом. После прибытия на место происшествия (например, в район боевых действий или совершения теракта), искусственно устанавливается горизонтальное положение платформы 14 непосредственно в салоне фюзеляжа. От бортового источника электрического питания подается переменный ток 36 В 400 Гц (или 40 В 1000 Гц) на гиromоторы 20, 21, 22, а на их датчики угла подается постоянное напряжение ± 27 В. На обмотки возбуждения стабилизирующих двигателей 12, 16 и 18 подается напряжение от бортового источника. На управляющие обмотки стабилизирующих двигателей поступают, предварительно усиленные, сигналы с датчиков угла двухстепенных гироскопов, которые пропорциональны угловой скорости поворота платформы

относительно первоначально выставленного исходно горизонтального положения (рис. 2). Сигнал датчика угла прецессии первого гироскопа β_1 , пропорциональный угловой скорости поворота платформы 14 относительно продольной оси X_n , поступает на управляющую обмотку стабилизирующего двигателя 12 и через редуктор 13 поворачивает платформу в исходное горизонтальное положение. Сигнал датчика угла прецессии второго гироскопа β_2 , пропорциональный угловой скорости поворота платформы 14 относительно поперечной оси Y_n , предварительно усиленный, поступает на управляющую обмотку стабилизирующего двигателя 16, который через редуктор 17 поворачивает платформу относительно поперечной оси Y_n в исходное горизонтальное положение. Сигнал датчика угла прецессии третьего гироскопа β_3 пропорционален угловой скорости поворота платформы 14 относительно вертикали Z_n , предварительно усиленный, поступает на управляющую обмотку стабилизирующего двигателя 18, который через редуктор 19 возвращает платформу в исходное положение (рис. 3).

После того, как вертолет приземлился в месте нахождения нуждающегося в срочной медицинской помощи пострадавшего, его размещают на платформе 14, предварительно затормозив все колеса 3 операционного стола относительно горизонтальной 4 и вертикальной 5 осей поворота нажимом на вторую педаль основания 1, но в обратном порядке. Двигатель 19 отключается для сохранения взаимного исходного положения плоскости платформы относительно салона фюзеляжа. Пациента оперируют во время полета вертолета к месту нахождения больницы. После приземления колеса операционного стола растормаживаются и пострадавшего перевозят в реанимацию.

Пострадавший человек до прилета в больницу, благодаря гиросtabilизированной платформе, не меняет своего горизонтального положения, что создает комфортные условия для проведения операции. При этом ни погодные условия, ни качка (болтанка) фюзеляжа не влияют на исходно заданное положение платформы. Все это благодаря тому, что трехосная гиросtabilизированная платформа и жестко установленная на ней панель операционного стола по сигналам поплавковых сенсоров, регистрирующих угловое движение фюзеляжа, с помощью силовых двигателей возвращает гиросtabilизированную платформу с панелью операционного стола в исходное положение, установленное в начале.

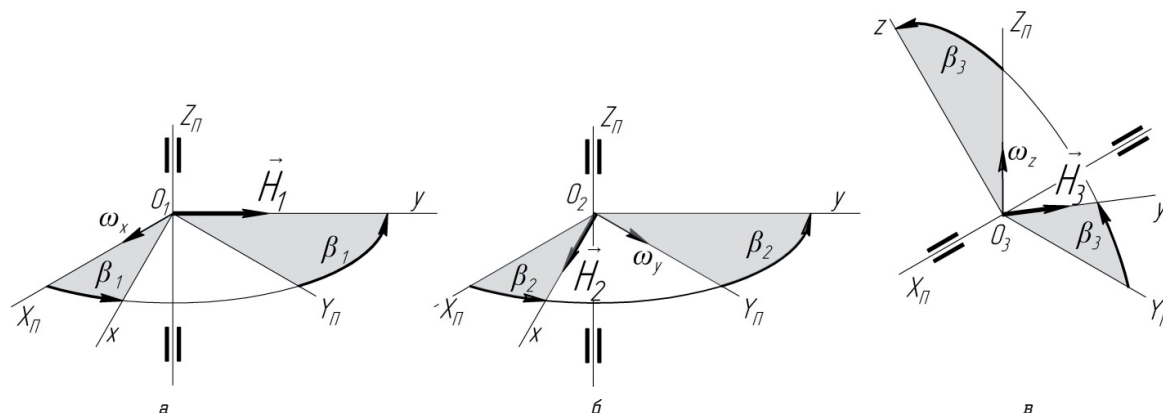


Рис. 3. Углы прецессии инерциальных сенсоров, которые следят за сохранением горизонтального положения платформы: а — сигнал датчика угла прецессии первого гироскопа β_1 , пропорциональный угловой скорости поворота платформы относительно продольной оси X_n ; б — сигнал датчика угла прецессии второго гироскопа β_2 , пропорциональный угловой скорости поворота платформы относительно поперечной оси Y_n ; в — сигнал датчика угла прецессии третьего гироскопа β_3 , пропорциональный угловой скорости поворота платформы 14 относительно вертикали Z_n

Это может быть либо горизонтальное положение операционной платформы, либо заданное наклоненное, либо меняющее свое положение по сигналам программного устройства (по сигналу репитора). Модульное исполнение позволяет создать климатические, температурные условия, исключить влияние трехосной качки фюзеляжа и максимально погасить вибрацию основания. Использование по каждой оси электрически соединенных гироскопических сенсоров с поплавковым подвесом, включенных по двухканальной схеме, позволяет стабилизировать мгновенное угловое положение панели операционного стола (в том числе стохастических по структуре), а не в среднем за какой-то промежуток времени.

Таким образом, госпиталь мобильного базирования, с помощью новых свойств, повышает оперативность медицинской помощи пострадавшему на месте происшествия (боевых действий, природных катастроф, чрезвычайных ситуаций и т. п.).

6. Результаты исследования

6.1. Построение математической модели. Гироскопы с двухканальной автокомпенсацией влияния внешних помех, без общей отрицательной обратной связи. В эксплуатационных условиях трехосная гиросtabilизированная платформа подвержена воздействию внешних кинематических возмущений в виде трехосных колебаний фюзеляжа, обычно стохастических по своей структуре. Наличие перекрестных связей между каналами стабилизации по гироскопическим моментам $(-H_1\beta_1\omega_y)$, $(-H_2\beta_2\omega_x)$ и $(-H_3\beta_3\omega_y)$ приведут к возникновению собственных уходов платформы при отклонении гироскопов относительно осей их подвеса на углы β_1 , β_2 и β_3 (рис. 3). По величине это будут наиболее существенные погрешности стабилизации.

Известно, что устранение этого влияния в гиросtabilизаторах достигается использованием в каждом канале стабилизации двух гироскопов, кинематически связанных между собой с помощью зубчатых секторов или шарнирного сочленения (антипараллелограмма) [18]. Такой метод имеет тот существенный недостаток, что наличие кинематической связи между гироскопами, нагруженной подавляемыми в ней моментами, приводит к увеличению моментов сил сухого трения, поэтому он практически неприменим при использовании в гиросtabilизаторе поплавковых гироскопов [19].

Двухканальный метод уменьшения в гиросtabilизаторе влияния перекрестных связей по гироскопическому моменту также основан на применении в каждом канале стабилизации двух гироскопов, но с тем отличием, что они лишены кинематической связи между собой, а соединены электрически и, таким образом, свободны от указанного недостатка и ограничений распространенного метода.

Сущность двухканального метода заключается в использовании в каждом из каналов стабилизации вместо одного двух одинаковых и одинаково ориентированных двухстепенных гироскопов с противоположным направлением вращения их роторов и формировании управляющего сигнала сенсора гироскопа в виде разности углов прецессии двух гироскопов.

Дальнейшим совершенствованием метода является введение общей отрицательной обратной связи для двух гироскопов по сумме углов их поворота. Преимущества таких схем отмечены в работе [20].

Уравнения движения платформы с использованием по каждому стабилизации пары электрически соединенных сенсоров примут вид:

$$\begin{aligned} A\dot{\omega}_x + f_x\omega_x - H_{11}\dot{\beta}_{11} + H_{12}\dot{\beta}_{12} - k_1F_1(\beta_{11} - \beta_{12}) &= M_x; \\ C'_{11}\ddot{\beta}_{11} + f_{11}\dot{\beta}_{11} + H_{11}\omega_x &= M_{z11} - H_{11}\beta_{11}\omega_y; \\ C'_{12}\ddot{\beta}_{12} + f_{12}\dot{\beta}_{12} - H_{12}\omega_x &= M_{z12} + H_{12}\beta_{12}\omega_y; \\ B\dot{\omega}_y + f_y\omega_y + H_{21}\dot{\beta}_{21} - H_{22}\dot{\beta}_{22} + k_2F_2(\beta_{21} - \beta_{22}) &= M_y; \\ C'_{21}\ddot{\beta}_{21} + f_{21}\dot{\beta}_{21} - H_{21}\omega_y &= M_{z21} - H_{21}\beta_{21}\omega_x; \\ C'_{22}\ddot{\beta}_{22} + f_{22}\dot{\beta}_{22} + H_{22}\omega_y &= M_{z22} + H_{22}\beta_{22}\omega_x; \\ C\dot{\omega}_z + f_z\omega_z + H_{31}\dot{\beta}_{31} - H_{32}\dot{\beta}_{32} + k_3F_3(\beta_{31} - \beta_{32}) &= M_z; \\ C'_{31}\ddot{\beta}_{31} + f_{31}\dot{\beta}_{31} - H_{31}\omega_z &= M_{x31} - H_{31}\beta_{31}\omega_y; \\ C'_{32}\ddot{\beta}_{32} + f_{32}\dot{\beta}_{32} + H_{32}\omega_z &= M_{x32} + H_{32}\beta_{32}\omega_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где H_{ij} — кинетические моменты гироскопических сенсоров; A, B, C — моменты инерции платформы относительно своих осей; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ — угловые скорости фюзеляжа; C'_{ij} — моменты инерции гироскопов относительно выходной оси; β_{ij} — углы поворота гироскопа относительно оси прецессии; f_x, f_y, f_z — коэффициенты демпфирования; F_i — функции стабилизации; M_x, M_y, M_z — моменты на осях платформы; M_{zij}, M_{xij} — моменты на выходной оси гироскопа.

Считая угловое движение вертолета стационарным процессом, возмущающие моменты на осях представим в виде:

$$M_x(t) = m_x + \tilde{M}_x(t); \quad M_y(t) = m_y + \tilde{M}_y(t), \quad (2)$$

где m_i — математические ожидания возмущающих моментов; $\tilde{M}_i(t)$ — центрированные случайные функции времени.

Проанализируем работу только двух связанных каналов стабилизации, которым соответствуют первые шесть уравнений системы (1), поскольку связи между всеми каналами имеют одинаковую внутреннюю структуру. Решения ищем методом последовательных приближений:

$$\begin{aligned} \omega_x &= \omega_x^0 + X_1 + \dots; & \omega_y &= \omega_y^0 + Y_1 + \dots; \\ \beta_{11} &= \beta_{11}^0 + \delta'_{11} + \dots; & \beta_{12} &= \beta_{12}^0 + \delta'_{12} + \dots; \\ \beta_{21} &= \beta_{21}^0 + \xi'_{21} + \dots; & \beta_{22} &= \beta_{22}^0 + \xi'_{22} + \dots. \end{aligned} \quad (3)$$

Найдем математическое ожидание угловой скорости ухода платформы ω_x , используя метод шумовых функций [21].

Нулевое приближение. С учетом соотношений (3), получаем:

$$\begin{aligned} \beta_{11}^0 &= m_1 + \tilde{\beta}_{11}^0(t); & \beta_{12}^0 &= m_2 + \tilde{\beta}_{12}^0(t); & \omega_y^0 &= m_3 + \tilde{\omega}_y^0(t); \\ \beta_{21}^0 &= m_4 + \tilde{\beta}_{21}^0(t); & \beta_{22}^0 &= m_5 + \tilde{\beta}_{22}^0(t); & \omega_x^0 &= m_6 + \tilde{\omega}_x^0(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Первое приближение. Подставляя выражения (4) в исходные уравнения (1), получаем две новые независимые системы, одинаковые по структуре. На вход первой подаются случайные возмущения:

$$\begin{aligned} Z_1(t) &= M_{z11} - H_{11}\beta_{11}^0(t)\omega_y^0(t); \\ Z_2(t) &= M_{z12} + H_{12}\beta_{12}^0(t)\omega_y^0(t). \end{aligned} \quad (5)$$

Математические ожидания величин Z_1 и Z_2 определяются формулами:

$$\begin{aligned} m_{z1} &= (-m_{\tau11} + m_{\text{д}11}) - H_{11}[m_1 m_2 + K_{13}(0)]; \\ m_{z2} &= (-m_{\tau12} + m_{\text{д}12}) - H_{12}[m_2 m_3 + K_{23}(0)], \end{aligned} \quad (6)$$

где $m_{\tau i}$, $m_{\text{д}i}$ ($i=1, 2$) — математические ожидания моментов трения и дисбаланса на осях прецессии гироскопов; $K_{13}(0)$, $K_{23}(0)$ — значения корреляционных функций связи переменных $\beta_{11}^0, \beta_{12}^0, \beta_{21}^0, \beta_{22}^0, \omega_y^0$ при $\tau=0$.

Вследствие того, что в передаточной функции цепи стабилизации присутствует свободный член, то $m_3=0$ и выражение (6) упрощается:

$$\begin{aligned} m_{z1} &= (-m_{\tau11} + m_{\text{д}11}) - H_{11}K_{13}(0); \\ m_{z2} &= (-m_{\tau12} + m_{\text{д}12}) + H_{12}K_{23}(0). \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, в случае использования двух гироскопов в каждом канале стабилизации, математическое ожидание угловой скорости ухода платформы относительно исходного положения существенно уменьшается, по сравнению со схемой с одним гироскопом. В том случае, когда параметры каждой пары гироскопов одинаковы, тогда в первом приближении собственные уходы платформы от влияния перекрестных связей по гироскопическому моменту будут отсутствовать, и погрешности стабилизации станут определяться лишь вредными моментами на осях прецессии каждой пары гироскопов.

6.2. Оценка эффективности двухканального метода и пути его дальнейшего совершенствования. При использовании двухканального метода в эксплуатационных условиях, значения параметров инерциальных сенсоров имеют тенденцию к определенному изменению. Возникающий разброс значений параметров может послужить причиной ухудшения показателей двухканальной схемы. Если обеспечить неизменным исходное равенство параметров гироскопов, тогда эта проблема решается.

Вместе с тем, практическая реализация подбора приборов с одинаковыми характеристиками, процедура сложная и ненадежная, к тому же, требующая систематического контроля.

Средством решения данного вопроса представляется схемное решение, а именно — введение для каждой пары гироскопов общей отрицательной обратной связи по сумме выходных сигналов гироскопов. Практически это позволяет уравнивать значения углов поворота β ; сенсоров и добиться желаемого.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Установка панели операционного стола на трехосную гиросtabilizированную платформу позволит создать горизонтальную плоскость на транспортном средстве и оказать немедленную медицинскую помощь пострадавшему.

Основным показателем эффективности формирования горизонтальной площадки является отсутствие ее

дрейфа относительно осей подвеса. Вместе с тем, инерциальные сенсоры, двухстепенные гироскопы, а также перекрестные связи по каналам стабилизации, вносят существенную ненадежность на конечный результат.

У сенсоров на качающемся основании возникают дополнительные погрешности, которые транслируются в погрешности стабилизации. А перекрестные связи платформы по гироскопическим моментам, в свою очередь, вносят погрешности стабилизации.

Двухканальная автокомпенсация влияния внешних помех обеспечивает сенсорам полную (или почти полную) инвариантность по отношению к качающемуся основанию — фюзеляжу. Электрическое соединение, к тому же, позволяет использовать для каждой оси стабилизации малогабаритные поплавковые гироскопы, обладающие высокой виброустойчивостью и надежностью. Наконец, двухканальная автокомпенсация влияния помех позволяет уменьшать мгновенные значения стохастических возмущений.

Достоинства — при необходимости можно задавать программированное движение платформы панели операционного стола, а также высокая точность построения горизонтальной поверхности операционного стола.

Недостатки — ограниченное количество необходимого медицинского оборудования из-за малого объема транспортного средства.

Применение возможно в военной технике для боевых машин — танков, транспортеров, для палубной авиации. Позволяют автономно строить стабилизированную площадку заданного направления в пространстве без дополнительных информационных сведений. В проведенном исследовании рассмотрены вопросы гиросtabilizированной платформы при построении триортогональной системы координат на подвижных объектах, а также возможность применения гиросtabilizированной платформы для медицинских целей, а именно на вертолете для оказания своевременной медицинской помощи.

8. Выводы

1. Проанализирована точность сохранения заданного положения панели операционного стола. Обеспечение на транспортном средстве, в частности на вертолете, построения горизонтальной платформы с помощью трехосной гиросtabilizированной платформы вполне реализуемая задача, позволяющая добиться комфортных условий для проведения безотлагательной операции и, при этом, ни погодные условия, ни качка не повлияют на исходно заданное положение.

2. Проведены стендовые испытания в лабораторных условиях. Повышение точности стабилизации платформы в пространстве целесообразно ориентировать на автокомпенсационные решения, в частности на двухканальный метод, которые позволяют существенно повысить качество стабилизации и автономно решают вопросы уменьшения влияния внешних помех не только в среднем за определенный промежуток времени, а постоянно, нивелируя мгновенные влияния помех.

3. Предложено введение общей для каждой пары гироскопов глубокой отрицательной обратной связи по сумме их углов прецессии, которое практически полностью устраняет влияние перекрестных связей на собственные уходы платформы.

Литература

1. Операційний стіл мобільного шпиталю [Текст]: пат. 109383 Україна, МПК (2015.01) / Мельник В. М., Карачун В. В., Шибецький В. Ю.; заявник і патентовласник: Мельник В. М., Карачун В. В., Шибецький В. Ю. — № а201411683; заявл. 28.10.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15. — 6 с.
2. Одинцов, А. А. Об уменьшении погрешностей интегрирующего гироскопа, вызванных угловыми колебаниями основания [Текст] / А. А. Одинцов // Известие вузов. Приборостроение. — 1971. — Т. XIV, № 2. — С. 34–37.
3. Назаров, Б. И. О погрешностях гиросtabilизаторов [Текст] / Б. И. Назаров // Известие АН СССР, ОТН. Техническая кибернетика. — 1963. — № 2. — С. 81–86.
4. Karachun, V. V. Influence of diffraction effects on the inertial sensors of a gyroscopically stabilized platform: three-dimensional problem [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nik // International Applied Mechanics. — 2012. — Vol. 48, № 4. — P. 458–464. doi:10.1007/s10778-012-0533-y
5. Karachun, V. V. Vibration of a plate under an acoustic load [Text] / V. V. Karachun // Soviet Applied Mechanics. — 1988. — Vol. 24, № 11. — P. 1110–1115. doi:10.1007/bf00889149
6. Karachun, V. V. Special features of the state of stress and strain of plates with finite dimensions under acoustic load [Text] / V. V. Karachun // Strength of Materials. — 1990. — Vol. 22, № 10. — P. 1512–1516. doi:10.1007/bf00767241
7. Mel'nik, V. N. Some Aspects of the Gyroscopic Stabilization in Acoustic Fields [Text] / V. N. Mel'nik, V. V. Karachun // International Applied Mechanics. — 2002. — Vol. 38, № 1. — P. 74–80. doi:10.1023/a:1015336009482
8. Barbour, N. M. Inertial Navigation Sensors [Electronic resource]: Report / N. M. Barbour. — Cambridge, 2010. — 25 p. — Available at: \www/URL: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA581016>
9. Nwe, T. T. Application of an Inertial Navigation System to the Quad-rotor UAV using MEMS Sensors [Text] / T. T. Nwe et al. // Engineering and Technology. — 2008. — Vol. 42. — P. 578–582.
10. Woodman, O. J. An introduction to inertial navigation [Electronic resource]: Technical Report № 696 / O. J. Woodman. — Cambridge, 2007. — 37 p. — Available at: \www/URL: <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>
11. Le Manh Hung, V. Indoor Navigation System for Handheld Devices [Text] / V. Le Manh Hung. — Worcester, 2009. — 198 p.
12. Casinovi, G. Gyroscope sensing and self-calibration architecture based on signal phase shift [Text] / G. Casinovi, A. Norouzpour-Shirazi, M. Dalal, F. Ayazi // Sensors and Actuators A: Physical. — 2016. — Vol. 241. — P. 1–11. doi:10.1016/j.sna.2016.01.045
13. Lőrincz, I. Identification of error sources in high precision weight measurements of gyroscopes [Text] / I. Lőrincz, M. Tajmar // Measurement. — 2015. — Vol. 73. — P. 453–461. doi:10.1016/j.measurement.2015.05.034
14. Zhang, J. Modelling of Rate Gyroscopes with Consideration of Faults [Text] / J. Zhang, J. Jiang // Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes 2006. — Elsevier BV, 2007. — P. 168–173. doi:10.1016/b978-008044485-7/50029-4
15. McQueen, C. Enhanced care team response to incidents involving major trauma at night: Are helicopters the answer? [Text] / C. McQueen, T. Nutbeam, N. Crombie, F. Lecky, T. Lawrence, K. Hathaway, S. Wheaton // Injury. — 2015. — Vol. 46, № 7. — P. 1262–1269. doi:10.1016/j.injury.2015.03.026
16. Foster, N. A. Comparison of helicopter versus ground transport for the interfacility transport of isolated spinal injury [Text] / N. A. Foster, D. M. Elfenbein, W. Kelley, C. R. Brown, C. Foley, J. E. Scarborough, S. N. Vaslef, M. L. Shapiro // The Spine Journal. — 2014. — Vol. 14, № 7. — P. 1147–1154. doi:10.1016/j.spinee.2013.07.478
17. Данилин, В. П. Гироскопические приборы [Текст]: учеб. пос. / В. П. Данилин; Минвуз СССР. — М.: Высшая школа, 1965. — 539 с.
18. Зельдович, С. М. Автокомпенсация инструментальных погрешностей гиросистем [Текст]: моногр. / С. М. Зельдович, М. И. Малтинский, И. И. Окон, Я. Г. Остроумов. — Л.: Судостроение, 1976. — 255 с.
19. Ишлинский, А. Ю. Механика гироскопических систем [Текст]: моногр. / А. Ю. Ишлинский. — М.: АН СССР, 1963. — 562 с.
20. Бесекиерский, В. А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации [Текст]: моногр. / В. А. Бесекиерский, Е. А. Фабрикант. — Л.: Судостроение, 1968. — 387 с.
21. Молотков, Г. П. Применение шумовых функций для исследования нелинейной системы, имеющей множительное звено [Текст] / Г. П. Молотков // Известие АН СССР, ОТН. Техническая кибернетика. — 1963. — № 2. — С. 31–37.

СТВОРЕННЯ В САЛОНІ ВЕРТОЛЬОТУ НЕЗБУРЕНОЇ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПАНЕЛІ ОПЕРАЦІЙНОГО СТОЛУ ШПИТАЛЮ МОБІЛЬНОГО БАЗУВАННЯ

Проаналізована технічна можливість побудови шпиталю мобільного базування на транспортному засобі, зокрема, у модульному виконанні на вертольоті. Показано, що тривісна гіроскопічна платформа здатна відтворити горизонтальну площину. Доведено, що точність відтворення може бути збільшена шляхом ліквідації впливу перехресних в'язів по гіроскопічним моментам. Найбільш ефективним рішенням цієї задачі є створення двоканальної автокомпенсації впливу зовнішніх перешкод.

Ключові слова: тривісна гіроскопічна платформа, двоканальна автокомпенсація, перехресні в'язі, інерціальний сенсор, гіроскоп.

Мельник Вікторія Николаевна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна, e-mail: karachun11@i.ua.

Карачун Володимир Владимирович, доктор технічних наук, професор, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Шибецький Владислав Юрьевич, кандидат технічних наук, асистент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Мельник Вікторія Миколаївна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Карачун Володимир Володимирович, доктор технічних наук, професор, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Шибецький Владислав Юрійович, кандидат технічних наук, асистент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Mel'nick Viktorij, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: karachun11@i.ua.

Karachun Volodimir, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Shybetckij Vladislav, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine