

значительно увеличивается в диапазоне от 2,5В до 3В; в диапазоне от 3В до 5В практически остаются постоянными.

Список литературы:

1. Алксеев К. Б., Палагута К. А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. - М.: МГИУ, 2008. - 298с.
2. Микросхемы привода бесконтактных двигателей постоянного тока NJR, SITI, ONS. - Журнал "Компоненты и технологии", № 3, 2010.
3. Энциклопедия ремонта. Выпуск 12: Микросхемы для управления электродвигателями. - М.: ДОДЭКА, 1999, 288с.
4. Three-Phase Sensorless Motor Driver with Loading Motor Driver LB11880. SANYO datasheet. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://datasheet.eeworld.com.cn/pdf/SANYO/134901\\_LB11880.pdf](http://datasheet.eeworld.com.cn/pdf/SANYO/134901_LB11880.pdf).

### **Разработка алгоритмов определения ориентации горнопроходческого комбайна и ширины штрека**

Бу Доан Кет

Научный руководитель: Белянин Л. Н., к.т.н., доцент кафедры ТПС  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: doanket14687@gmail.com

На кафедре точного приборостроения разрабатывается система ориентации и навигации горно-проходческого комбайна (ГПК), которая играет очень важную роль в управлении ГПК при строительстве штрека (туннеля). Идея разработки этой системы заключается в использовании двух приборов: наземного прибора ориентации (НПО), установленного под кровлей штрека с известными географическими координатами и прибора ориентации (ПО), установленного на ГПК. Между этими приборами выполняется оптическое взаимовизирование. С помощью встроенного дальномера в НПО определяется расстояние от НПО до ПО. Следовательно, если известны координаты и параметры ориентации НПО, то местоположение и азимут ПО (а именно ГПК) несложно вычислить. В данной статье рассматриваются вопросы, посвященные определению ориентации ГПК, ширины штрека и смещения ГПК от осевой линии штрека.

#### **Определение ориентации ГПК относительно направления вертикали**

Для решения данной задачи принимается аналитический принцип построения опорного направления, который эффективен для неподвижных объектов [1]. При этом акселерометры измеряют только проекции ускорения силы тяжести. В нашем случае ГПК движется, поэтому акселерометры будут измерять кажущееся ускорение, представляющее собой разность между ускорением движения и проекции ускорения силы тяжести на ось чувствительности. Однако, при подключении фильтров нижних частот к выходам акселерометров можно получить сигналы, близкие проекциями ускорения силы тяжести. Такое решение было успешно реализовано в непрерывном гироскопическом инклинометре ИГН100-100/60-А, разработанном в Томском политехническом университете [1].

Известны 3 схемы для определения ориентации объекта: схема с одним акселерометром, определяющая один угол ориентации объекта; схема с двумя акселерометрами и схема с тремя акселерометрами, определяющие два угла отклонения объекта относительно направления вертикали. В нашем случае ГПК отклоняется от вертикали на небольшие углы, поэтому возможно использование схемы с двумя акселерометрами (рис. 1).

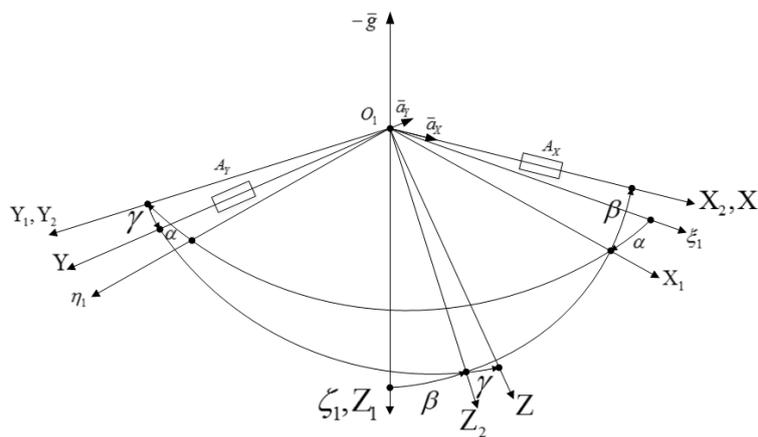


Рисунок 1 - Опорная и связанная системы координат

На рис. 1 обозначено:

- $O_1\xi_1\eta_1\zeta_1$  - горизонтальная, географически ориентированная система координат, при этом начало  $O_1$  является точкой, на которой установлен ПО на ГПК, ось  $O_1\xi_1$  направлена на Север, ось  $O_1\zeta_1$  направлена по истинной вертикали местности и вниз, а ось  $O_1\eta_1$  достраивается так, чтобы получилась правая система координат, т.е. направлена на Восток;

- $O_1XYZ$  - система координат, связанная с ГПК, при этом ось  $O_1X$  направлена параллельно продольной оси ГПК в направлении передней его части, ось  $O_1Y$  перпендикулярна оси  $O_1X$ , параллельна плоскости гусеницы ГПК и вправо, а ось  $O_1Z$  достраивается так, чтобы получилась правая ортогональная система координат, т.е. направлена вниз;

- $\bar{g}$  - вектор ускорения силы тяжести в данной точке;

- $\bar{a}_x, \bar{a}_y$  - проекции вектора кажущегося ускорения на оси  $O_1X$  и  $O_1Y$ ;

Чтобы задать ориентацию ГПК, воспользуемся углами Эйлера–Крылова. За исходное положение ГПК примем такое, при котором оси связанной с ним СК будут совпадать с соответствующими осями СК  $O_1\xi_1\eta_1\zeta_1$ .

Выполним первый поворот связанной СК вокруг оси  $O_1\zeta_1$  в положительном направлении на угол  $\alpha$ . Поворот в положительном направлении означает, что вектор угловой скорости поворота направлен в положительном направлении по оси  $O_1\zeta_1$ . Будем угол  $\alpha$  называть азимутом ГПК. Осям связанной СК после первого поворота присвоим индексы 1. Выполним второй поворот связанной СК вокруг оси  $O_1Y_1$  на положительный угол  $\beta$ . Осям связанной СК после второго поворота присвоим индекс 2. Угол  $\beta$  будем называть углом тангажа ГПК. Выполним третий поворот связанной СК вокруг оси на положительный угол  $\gamma$ . Поскольку после третьего поворота связанная СК заняла необходимую ориентацию (окончательную), осям индексы присваивать не будем. Угол  $\gamma$  будем называть углом крена ГПК.

В данной статье рассматривается только задача определения углов тангажа и крена ГПК. Задача определения азимута ГПК здесь не рассматривается. Считаем, что азимут ГПК известен.

Итак, акселерометры  $A_x$  и  $A_y$  измеряют проекции кажущегося ускорения ГПК ( $a_x$  и  $a_y$ ). Из рис. 1 при неподвижном ГПК имеем:

$$a_x = g \cdot \sin \beta;$$

$$a_Y = g \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma.$$

После несложных тригонометрических преобразований получим:

$$\sin \beta = \frac{a_X}{g}; \cos \beta = \frac{\sqrt{g^2 - a_X^2}}{g}; \operatorname{tg} \beta = \frac{a_X}{\sqrt{g^2 - a_X^2}};$$

$$\sin \gamma = \frac{a_Y}{\sqrt{g^2 - a_X^2}}; \cos \gamma = \frac{\sqrt{g^2 - (a_X^2 + a_Y^2)}}{\sqrt{g^2 - a_X^2}}; \operatorname{tg} \gamma = \frac{a_Y}{\sqrt{g^2 - (a_X^2 + a_Y^2)}}.$$

Следовательно, углы тангажа и крена ГПК могут быть вычислены по следующим формулам:

$$\beta = \arcsin \frac{a_X}{g} \text{ или } \beta = \arccos \frac{\sqrt{g^2 - a_X^2}}{g} \text{ или } \beta = \operatorname{arctg} \frac{a_X}{\sqrt{g^2 - a_X^2}};$$

$$\gamma = \operatorname{arcsin} \frac{a_Y}{\sqrt{g^2 - a_X^2}} \text{ или } \gamma = \arccos \frac{\sqrt{g^2 - (a_X^2 + a_Y^2)}}{\sqrt{g^2 - a_X^2}} \text{ или } \gamma = \operatorname{arctg} \frac{a_Y}{\sqrt{g^2 - (a_X^2 + a_Y^2)}}.$$

Полученные значения являются главными значениями углов тангажа и крена. Однако ГПК отклоняется от вертикали на небольшие углы, которые находятся в первом квадранте. Поэтому эти главные значения также являются значениями самого углов тангажа и крена ГПК.

Следует заметить, что алгоритмы, использующие функцию « $\arcsin$ », имеют высокую точность только при значениях углов, близких нуля; алгоритмы, использующие функцию « $\arccos$ », имеют высокую точность только при значениях углов, близких  $90^\circ$ ; а алгоритмы с использованием функции « $\operatorname{arctg}$ » имеют более широкий диапазон высокой точности. Итак, для вычисления углов тангажа и крена ГПК будем использовать алгоритмы с наибольшим диапазоном точности

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \operatorname{arctg} \frac{a_X}{\sqrt{g^2 - a_X^2}}; \\ \gamma &= \operatorname{arctg} \frac{a_Y}{\sqrt{g^2 - (a_X^2 + a_Y^2)}}. \end{aligned} \right\}$$

В этих формулах, значения  $a_X$  и  $a_Y$  измеряются акселерометрами, а значение  $g$  местности может быть вычислено по формуле [2] при известной широте места.

### Определение ширины штрека и отклонения ГПК от осевой линии штрека

При определении ширины штрека будем полагать, что стенки штрека вертикальны и параллельны друг другу. В этом случае под осевой линией штрека понимается линия, лежащая на подошве штрека и равноудаленная от стенок штрека.

Задача определения ширины штрека будет решена с помощью двух дальномеров, установленных в точке  $O_1$  так, чтобы их оси чувствительности были направлены по оси  $O_1Y$  в противоположных направлениях. В настоящее время широко принимаются лазерные и ультразвуковые дальномеры. Принцип их работы заключается в определении времени, которое затрачивает луч на путь до отражателя и обратно или сдвига фаз между отправленным и отражённым сигналами для вычисления расстояния от излучателя до отражателя. Дальномеры жестко крепятся на ГПК, поэтому при изменении ориентации ГПК

в штреке, направления осей чувствительности дальномеров также меняются свою ориентацию. Точки отражения луча меняют свое положение на стенках штрека.

В данной статье приведём рассуждение об определении фактического расстояния от ГПК до левой стенки штрека. Расстояние до правой стенки определяется аналогично. Введём дополнительную горизонтальную систему координат  $O_1\xi_2\eta_2\zeta_2$ , в которой ось  $O_1\xi_2$  параллельна вертикальной плоскости, в которой находится осевая линия штрека; ось  $O_1\zeta_2$  совпадает с осью  $O_1\zeta_1$ ; а ось  $O_1\eta_2$  достраивается так, чтобы получилась правая система координат (рис. 2). Предположим, что в исходном положении ГПК находится в горизонтальном положении, его продольная ось совпадает с осью  $O_1\xi_2$ . В данном случае ось чувствительности дальномеров совпадают с осью  $O_1\eta_2$ , т.е. она перпендикулярна стенкам штрека. Обозначаем:  $P_0$  (точка отражения луча дальномера) – точка пересечения оси  $O_1Y$  с левой стенкой штрека.

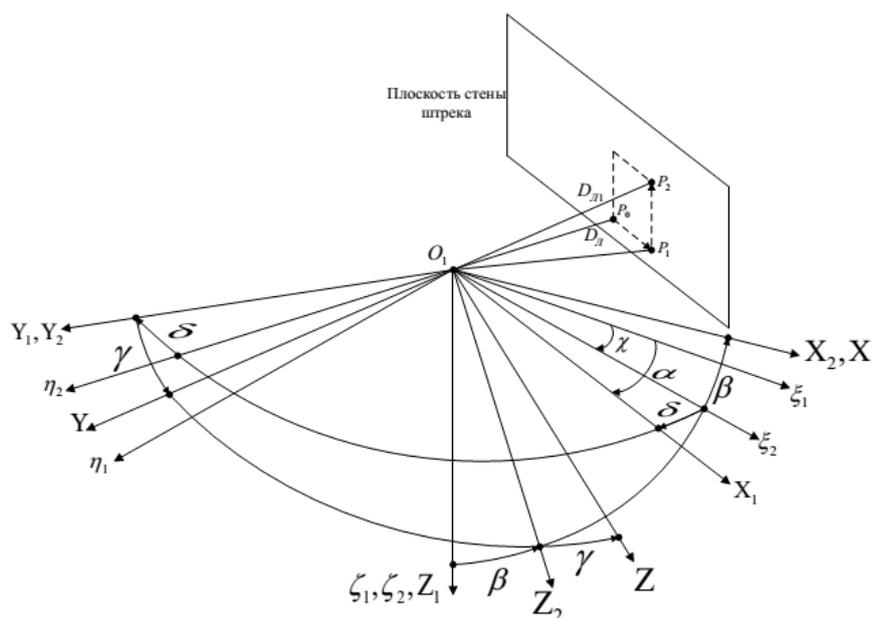


Рисунок 2 - Ориентация ГПК в привязке к осевой линии штрека

$\chi$  - азимут осевой линии штрека;  $D_{л}$  - фактическое расстояние от ГПК до левой стены штрека;  $D_{л1}$  - расстояние, измеренное дальномером

Чтобы задать ориентацию ГПК также воспользуемся углами Эйлера–Крылова. Выполним первый поворот связанной СК вокруг оси  $O_1Z$ , которая в исходном положении совпадает с осью  $O_1\zeta_2$ , в положительном направлении на угол  $\delta$ . Точка пересечения оси  $O_1Y$  с плоскости стенки переместится в новое положение, обозначенное  $P_1$ . Выполним второй поворот связанной СК вокруг оси  $O_1Y_1$ , являющейся новым положением оси  $O_1Y$  после первого поворота, в положительном направлении на угол  $\beta$ . После второго поворота положение точки  $P_1$  не изменится. Выполним третий поворот связанной СК вокруг оси  $O_1X_2$ , являющейся новым положением оси  $O_1X$  после двух первых поворотов, на положительный угол  $\gamma$ . Тогда точка  $P_1$  займёт окончательное положение, обозначенное  $P_2$ .

Итак, длина отрезка  $O_1P_0$  ( $D_L$ ) является фактическим расстоянием от ГПК до левой стенки штрека, а длина отрезка  $O_1P_2$  ( $D_{Л1}$ ) является показанием дальномера. Из рисунка имеем:

$$D_L = D_{Л1} \cdot \cos \delta \cdot \cos \gamma \quad (1)$$

Значение угла  $\delta$  определяется как разность между азимутом ГПК и азимутом осевой линии штрека

$$\delta = \alpha - \chi.$$

Принципы и алгоритмы определения углов  $\alpha$  и  $\chi$  здесь не рассматриваются.

Подставив в формулу (1) значение угла  $\delta$ , получим

$$D_L = D_{Л1} \cdot \cos(\alpha - \chi) \cdot \cos \gamma.$$

Аналогично, фактическое расстояние от ГПК до правой стены штрека определится:

$$D_{П} = D_{П1} \cdot \cos(\alpha - \chi) \cdot \cos \gamma,$$

Тогда ширина штрека будет

$$D = (D_{П1} + D_{Л1}) \cdot \cos(\alpha - \chi) \cdot \cos \gamma.$$

Смещение ГПК от осевой линии штрека может быть найдено по формуле:

$$\Delta = D_L - \frac{1}{2}D = \frac{(D_{Л1} - D_{П1})}{2} \cdot \cos(\alpha - \chi) \cdot \cos \gamma.$$

Знак  $\Delta$  показывает направление смещения ГПК от осевой линии штрека: если  $\Delta$  положителен, то ГПК смещается влево, если отрицателен – вправо по ходу движения ГПК.

В данной работе ориентация ГПК, ширина штрека и смещение ГПК от осевой линии штрека определяются аналитическим методом. Полученные алгоритмы достаточно просты для обработки информации вычислителем.

#### Список литературы

1. Беянин Л. Н., Якимова Е. В. Калибровка модуля акселерометров в условиях неопределенности направления их осей чувствительности. Материалы 1-й всероссийской с международным участием научно-практической конференции по инновациям неразрушающем контроле. 25 – 29 июля 2011г., Горный Алтай. Контроль. Диагностика 2011г. - С. 64 – 70.

2. Беянин Л. Н. Алгоритмы вычислений в непрерывном гироскопическом инклинометре. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: Сб. статей / Под ред. А.К. Хорькова. – Томск: изд-во Том. Ун-та, 2002. –Т2. - С. 50-63.

#### Емкостные накопители энергии

Дамдинов Б.О.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент кафедры ТПС  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: basondeath@mail.ru

В двадцать первом веке технологии в жизни человека играют большую роль. Технологии и нанотехнологии являются фундаментом и основой многих промышленных объектов. Область применения технологий огромна, и она разделяется на несколько областей. Самой популярной и огромной областью является импульсная энергетика. Эта область интересна применением оборудования больших мощностей, которые имеют большой спрос не только в импульсной энергетике, но и в других областях. В импульсной энергетике большое внимание уделяется использованию различных видов накопителей