

ния цинксодержащих отходов // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2013. – № 8. – С. 129-136.

4. Жунусова Г.Ж., Кальянова О.А., Алтайбаев Б.Т. и др. Цементация меди, кадмия, кобальта и никеля из цинксодержащих сульфатных растворов от автоклавного выщелачивания цинксодержащих отходов // Сборник докладов 5-й Международной научно-практической конференции «Наука и общество». – Лондон, 25-26 ноября 2013 г.

5. Снурников А.П. Гидрометаллургия цинка. – М.: Металлургия, 1981. – 384 с.

6. Патент № 2389810, RU. Способ получения оксида цинка из слабоконцентрированных растворов / Л.Г. Баратов, Л.А. Воропанова, Ю.И. Кондратьев, К.К. Хулелидзе. – Опубл. 20.05.2010 г.

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОНАВИГАЦИИ

© Калюжный А.Т.*

Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск

Выполнен анализ дальномерного и разностно-дальномерного методов определения взаимного положения трактора-лидера и трактора-дублера электромеханическими и индукционными средствами. Показана необходимость измерения угла бокового скольжения трактора как при дублирном, так и при автономном автоматическом вождении.

Ключевые слова: сельскохозяйственная электронавигация, автоматизация тракторных агрегатов, линия возможного положения, интервал, дистанция.

Современные достижения микроэлектроники позволяют успешно автоматизировать не только стационарные, но и мобильные технологические процессы, выполняемые транспортно-технологическими машинами. Среди которых важное место принадлежит сельскохозяйственным машинно-тракторным агрегатам и комбайнам (МТА), выполняющим операции почвообработки, ухода за растениями и уборки урожая. Но если автоматизация и коснулась этих процессов, то лишь в незначительной степени, что объясняется сложностью автоматизации управления движением. Что, в свою очередь, является следствием отсутствия сельскохозяйственной навигации, как науки об инструментальных методах и технических средствах определения места нахождения, пространственной ориентации и параметров движения МТА в

* Доцент кафедры Электрификации и автоматизации сельского хозяйства, кандидат технических наук.

процессе выполнения ими полевых работ. Поэтому формирование теории сельскохозяйственной навигации является актуальной задачей, решать которую удобно путем исследования взаимной навигации МТА при дублирном вождении.

Взаимное положение лидера и дублера характеризуется интервалом, т.е. взаимным боковым смещением, и дистанцией. А также взаимными углами курса (рыскания), крена и галопирования (в авиации – тангажа), измеряемыми между одноименными осями тракторов. Главной является задача определения отклонения интервала от требуемого значения с точностью до сотых долей метра, что необходимо для обеспечения надлежащего качества выполнения полевых работ.

Дистанция и интервал измеряются по взаимно перпендикулярным направлениям, поэтому могут быть измерены в прямоугольной системе координат XOY, оси OX и OY которой параллельны поперечной и продольной осям одного из тракторов.

Прямоугольную систему координат можно задать на плоскости с помощью двух точек A и B, расположенных на оси OX на расстоянии $2a$ друг от друга, рис. 1.

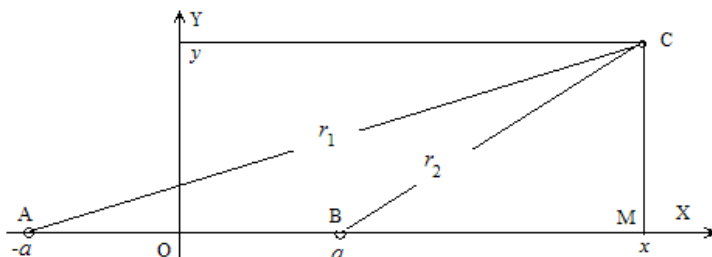


Рис. 1. Вычисление координат точки C в прямоугольной системе координатами XOY

Значение координаты x точки C можно определить по величине расстояний r_1 и r_2 . Действительно, для прямоугольных треугольников ACM и BCM можно записать:

$$\begin{aligned} y^2 &= r_1^2 - (x + a)^2 = r_1^2 - x^2 - 2ax - a^2; \\ y^2 &= r_2^2 - (x - a)^2 = r_2^2 - x^2 + 2ax - a^2. \end{aligned}$$

Вычтя из первого уравнения второе, получим [1, с. 197]:

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2}{4a}. \quad (1)$$

Для реализации алгоритма (1) требуется как минимум два измерителя расстояний r_1 и r_2 , которые являются навигационными параметрами p этих устройств:

$$p_1 = r_1; p_2 = r_2.$$

Алгоритм вычисления координаты x по измеренным значениям расстояний:

$$x = K(p_1^2 - p_2^2)$$

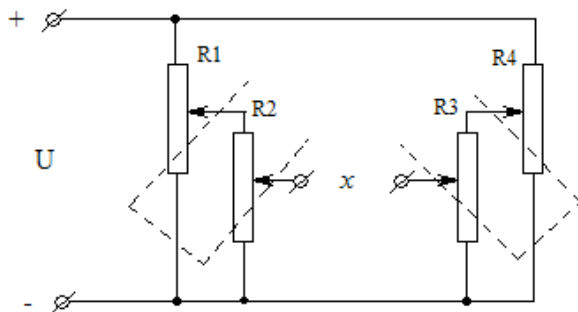


Рис. 2. Электрическая схема аналогового электромеханического навигационного устройства измерения координаты x

Для измерения расстояний могут использоваться различные физические явления. Так, алгоритм (1) можно реализовать электромеханическим навигационным устройством, электрическая схема которого приведена на рис. 2. Здесь расстояния r_1 и r_2 измеряются при помощи гибкой нити и линейных потенциометров R1 и R4, а квадраты расстояний вычисляются потенциометрами R2 и R3, находящимися на одной оси с потенциометрами R1 и R4. Математическая операция вычитания реализуется определением координаты x по разности потенциалов средних движков R2 и R3.

Определенным недостатком прямоугольной системы координат является отсутствие информации о знаке координаты y :

$$y = \sqrt{r_1^2 - (x+a)^2} = \sqrt{r_2^2 - (x-a)^2}.$$

Этот недостаток отсутствует в полярной системы координат, которая может быть задана одной точкой на продольной оси лидера или дублера, и направлением этой оси:

$$x = r \sin \alpha, y = r \cos \alpha.$$

Реализация этого алгоритма также возможна аналоговыми электромеханическими средствами. Так, полярные координаты можно измерять при помощи гибкой нити и линейного и синусно-косинусного вращающихся трансформаторов, последовательное включение которых позволяет реализовать операцию умножения [2]. Применение цифровых энкодеров позволяет решать эту задачу электронными средствами.

Достоинством электромеханических устройств взаимной навигации МТА является предельная простота, низкая цена, высокая точность и надежность, ремонтпригодность, а недостатком – снижение маневренности и некоторая трудоемкость комплектования группы МТА. От этого недостатка свободны электронные дальномеры, не требующие механической связи между лидером и дублером. Например – оптические (лазерные) или радиотехнические, но особенности применения таких устройств для взаимной навигации МТА исследованы недостаточно.

Бесконтактным способом расстояния между МТА можно измерять с помощью переменного магнитного поля. Так, в точке С можно расположить источник навигационного магнитного поля в виде круговой рамки с током, и измерять напряженность Н этого поля в точках А и В; по измеренным значениям можно вычислять расстояния r_1 и r_2 [3, с. 207]:

$$r = \sqrt[3]{\frac{M}{H}} \cdot \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta},$$

где М – магнитный момент рамки;

θ – зенитный угол между осью рамки и направлением на точку измерения напряженности магнитного поля.

При горизонтальном расположении рамки $\cos \theta = 0$, поэтому (1) принимает вид [4]:

$$x = \frac{M^{2/3} (H_1^{-2/3} - H_2^{-2/3})}{4a}.$$

При реализации этого алгоритма источниками погрешности являются нестабильность магнитного момента рамки и коэффициента передачи индукционных измерителей напряженности, внешние электромагнитные поля, влияние почвы и близлежащих металлических предметов, акустические шумы и вибрация. Количественный анализ влияния всех возмущающих воздействий на точность местоопределения дублера требует проведения дополнительных исследований, поэтому здесь ограничимся качественным рассмотрением вопроса.

Магнитный момент рамки $M = IWS/4\pi$, где I – ток рамки, W – количество витков, S – площадь среднего витка рамки. И если количество витков – величина постоянная, то этого нельзя сказать о токе или площади рамки, электрическое сопротивление и геометрические размеры которой зависят от температуры окружающей среды.

Напряженность магнитного поля в точке измерения зависит от вторичных магнитных полей, создаваемых токами индукции в почве и близлежащих проводящих телах. Возмущением являются не сами по себе вторичные магнитные поля, а их нестабильность – погрешность может быть вызвана

существенным локальным изменением проводимости грунта или проезжающим вблизи сторонним транспортным средством.

Отрицательное влияние нестабильности магнитного момента рамки и вторичных магнитных помех можно сравнительно легко устранить при помощи обратной связи в цепи питания рамки. При этом в качестве сигнала обратной связи следует использовать напряженность магнитного поля в фиксированной относительно рамки точке.

Напряженность магнитного поля Земли в сотни и тысячи раз превышает напряженность полезного сигнала в точке измерения. Будучи постоянным, оно не создает электрической помехи, однако в некоторых случаях может изменять магнитную проницаемость сердечника и коэффициент передачи индукционных преобразователей (датчиков напряженности).

Основными источниками внешних электромагнитных полей являются электрооборудование самоходных машин, линии электропередач, вибрация индукционного преобразователя в магнитном поле Земли. Эффективным средством борьбы с такими помехами являются полосовые электрические фильтры.

Ориентационные помехи обусловлены креном рамки и отклонением угла θ от 90° . При этом значение напряженности в точке измерения возрастет на величину

$$\Delta H = \sqrt{1 + 3(\sin \Delta\theta)^2}.$$

Так, если $\Delta\theta = 3^\circ$, то напряженность возрастет на 0,4 %, а вычисленные значения расстояний r_1 , r_2 и координат x , y – на 0,13 %.

Вышесказанное справедливо при измерении модуля вектора напряженности. Однако на практике может найти применение измерение проекции вектора напряженности на вертикальную ось. В этом случае измеряемой величиной будет тангенциальная составляющая вектора напряженности:

$$H_0 = M \sin\theta / r^3,$$

и крен рамки, например, на 3° уменьшит значение напряженности H_0 на 0,14 %; аналогичное влияние окажет и крен датчика напряженности.

Перепад высот рамки и датчиков напряженности не создает помех при измерении модуля вектора напряженности; при измерении проекции вектора напряженности величина погрешности определится фактическим значением зенитного угла θ .

Рамку можно расположить на дублере, а напряженность измерять на лидере, но в этом случае потребуются дополнительный канал связи между ними для передачи навигационной информации на дублер. Кроме того, изменится реакция дублера на рыскание лидера и характер движения по криволинейным траекториям. Так, если при расположении рамки на лидере траектория дублера сглаживает искривления траектории лидера, то при рас-

положении рамки на дублере его траектория будет усиливать все искривления траектории лидера при его рыскании [5, с. 35]. Поэтому расположение рамки на дублере может быть оправдано только при переездах, так как снижает вероятность столкновения дублера с объезжаемым препятствием.

При движении агрегатов колонной выполняется условие $r_1 \approx r_2$, поэтому представляется возможным формировать сигнал траекторного рассогласования непосредственно по разности расстояний. Так как о величине расстояния однозначно свидетельствует напряженность магнитного поля, то сигнал рассогласования можно формировать непосредственно по разности напряженностей в точках А и В, что позволяет создавать предельно простые устройства взаимной навигации:

$$\delta = H_1 - H_2.$$

Выразив значения напряженностей через координаты x и y , получим:

$$\delta = \frac{M}{\sqrt{(y^2 + (a-x)^2)^3}} - \frac{M}{\sqrt{(y^2 + (a+x)^2)^3}}.$$

Чувствительность K навигационных устройств равна отношению приращения сигнала рассогласования δ к вызвавшему его приращению измеряемой координаты x :

$$K = \frac{d\delta}{dx} = 3M \left(\frac{a-x}{\sqrt{y^2 + (a-x)^2}^5} + \frac{a+x}{\sqrt{y^2 + (a+x)^2}^5} \right).$$

Если $x \ll a$, что обычно имеет место, выражение для чувствительности индукционных навигационных устройств принимает вид:

$$K = 6M \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}^5}.$$

Отсюда следует, что при $y = 0$ чувствительность обратно пропорциональна четвертой степени базы измерения $2a$. При $a \ll y$ чувствительность обратно пропорциональна y в пятой степени. Поэтому изменение дистанции в два раза изменит чувствительность и ширину зоны нечувствительности системы траекторного управления в 32 раза. Это требует корректировки коэффициента усиления сигнала рассогласования в зависимости от дистанции [6].

При полной идентичности каналов измерения напряженности в точках А и В условию $\delta = 0$ удовлетворяет прямая, совпадающая с осью ОУ. Но в действительности коэффициенты передачи датчиков напряженности могут различаться в N раз: $H_2 = NH_1$. При этом условию $\delta = 0$ соответствует:

$$N = \sqrt{\frac{y^2 + (a+x)^2}{y^2 + (a-x)^2}}.$$

После возведения обеих частей этого равенства в степень $2/3$ и преобразования получим:

$$x^2 + y^2 - 2ax \frac{N^{2/3} + 1}{N^{2/3} - 1} + a^2 = 0.$$

Геометрическим местом точек, координаты которых удовлетворяют этому уравнению, является окружность. Координаты центра и радиус окружности:

$$y = 0; x = a \frac{N^{2/3} + 1}{N^{2/3} - 1}; R = 2a \frac{N^{1/3}}{N^{2/3} - 1}.$$

Так, если $2a = 2$ м и $N = 1,01$, то центр окружности лежит на расстоянии $x = 301,4986$ м от начала системы координат, а радиус $R = 301,497$ м. Поэтому при изменении дистанции от 3-х до 10 м отклонение дублера от оси ОУ возрастет с 0,015 м до 0,166 м.

Навигационное устройство может обладать дрейфом нуля, в результате которого фактический алгоритм формирования сигнала траекторного управления принимает вид:

$$\delta = H_1 - H_2 + H_0. \quad (2)$$

Численное решение (2) при $H_0 = H_1 / 100$ при $y = 10$ м приведено на рис. 3.

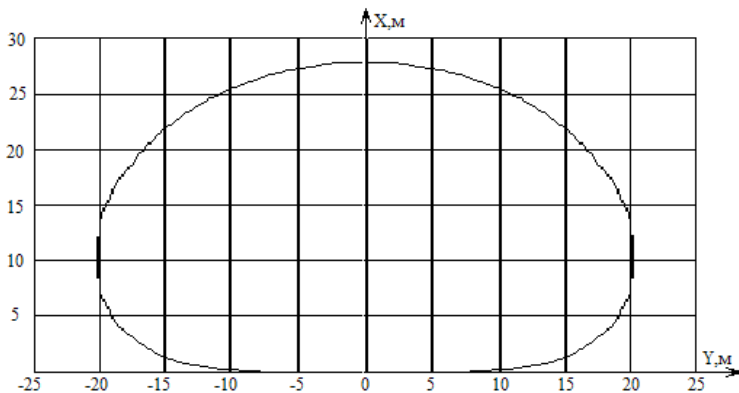


Рис. 3. Линия возможного положения рамки в системе координат OXY при наличии аддитивной погрешности, равной 1 % от значения напряженности при $y = 10$ м, и базе измерения $2a = 2$ м

Как видно, аддитивная погрешность превращает линию возможного положения рамки из бесконечной прямой в замкнутую кривую каплевидной формы на несмачиваемой поверхности; в этом примере линия возможного положения проходит через точку с координатами $x = 0,17$ м; $y = 10$ м.

Так как сигнал траекторного рассогласования зависит от пространственной ориентации осей системы координат, то важное значение приобретает точность установки измерительной базы $2a$ (точек А и В, рис.1) на тракторе. Так, если дистанция y изменяется на 6 м в диапазоне 3...9 м, а допустимая дополнительная погрешность вследствие изменения дистанции не должна превышать 0,03 м, то погрешность установки базы не должна превышать $0,03 / 6 = 0,005$ радиан, или 0,3 углового градуса. При длине базы $2a = 2$ м это соответствует продольному смещению одного из датчиков напряженности относительно второго на $0,005 \cdot 2 = 0,01$ м.

Выше предполагалось, что вектор скорости трактора, на котором расположено начало системы координат, совпадает с его продольной осью. В действительности это не так – направление вектора скорости «плавает», образуя с продольной осью некоторый угол β бокового скольжения. Величина этого угла зависит от бокового увода шин колесного трактора, износа движителей гусеничного трактора, макрорельефа, асимметричности тягового сопротивления нагрузки трактора и других причин, достигая одного градуса и более. Поэтому для обеспечения требуемой точности автоматического управления траекторией движения систему координат следует привязывать не к конструктивным осям, а к вектору скорости трактора [7]. Это требование справедливо в равной мере как при дублирном, так и при автономном автоматическом вождении, если точка «визирования», т.е. отслеживания плановой траектории, смещена вперед относительно точки прицепа нагрузки трактора на расстояние до 10 м и более.

Несмотря на определенные недостатки индукционных устройств взаимной навигации МТА, их достоинством является работоспособность в магнитном поле как рамки, так и длинного подземного проводника с током. Это позволяет использовать такие устройства для управления движением не только при групповом переезде автоматических МТА с одного участка на другой, но и при их автономной, независимой друг от друга, работе на поле.

Список литературы:

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Сколника; пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. Том 4. Радиолокационные станции и системы / Под ред. М.М. Вейсбейна. – М.: «Сов. Радио», 1978. – 376 с.
2. А.с. СССР №751344, опубл. 30.07.1980 г., БИ № 28.
3. Калужный А.Т. Теория индукционной сельхознавигации: магнитное поле круговой рамки // Новое слово в науке: перспективы развития: материалы науч.-практ. конф. (Чебоксары, 10 сент. 2014 г.) / редкол.: О.Н. Широков и др. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2014. – 364 с.

4. А.с. СССР № 1246911, опубли. 30.07.1986 г., Б.И. № 28.
5. Калужный А.Т. Точность автоматического вождения самоходных машин // Механизация и электрификация сельского х-ва. – 1981. – № 11.
6. А.с. СССР № 835320, опубли. 07.06.1981 г., БИ № 21.
7. А.с. СССР № 1233828, опубли. 30.5.1986 г., БИ № 20.

АРТЕФАКТЫ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

© Коваленко Г.Д.*

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск

Даются результаты изучения следов направленного термического воздействия из дальнего космоса на месте предполагаемого древнего центра космической связи вблизи озера Утичье-3 на территории Ширинского района республики Хакасия.

Ключевые слова: мегалитические сооружения, импактиды, Утичье-3, брекчии, ретранслятор.

Ранее нами показано, что на территории Хакасии обнаружены артефакты, идентифицированные как следы космической деятельности внеземных цивилизаций [1]. К ним отнесены: мегалитические сооружения, места заготовки строительных материалов для них, петроглифы с изображениями космических кораблей и генетической селекции диких обитателей Сибири. По содержанию стронция в донных отложениях 700-летней давности, наличию импактидов в береговых грунтах озера Ши́ра и других признаков было высказано предположение о нанесении ядерных ударов из космоса со стороны внеземных цивилизаций [2].

В самостоятельной экспедиции 2014 года при участии сотрудников СибГАУ исследовались новые артефакты на озере Утичье-3, расположенного восточнее озера Ши́ра. Цель исследования – выявление признаков, связанных с древними техногенными разрушениями в окрестностях указанных озер.

Внимание уделялось: поиску возможных остатков мегалитических сооружений на прибрежных ландшафтах; содержанию импактных частиц, признакам остаточной радиации, степени намагниченности береговых грунтовых проб.

Область поиска однозначно определилась по присутствию на юго-западном побережье озера, в подножье горы Белокаменной, характерных камен-

* Доцент кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», кандидат технических наук, доцент.