

# К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ В ЗАДАЧЕ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. Д. Кононов, А. А. Кононов

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

Поступила в редакцию 03.03.2016 г.

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы, связанные с синтезом алгоритма определения координат мобильного агрегата по данным навигационной системы для выработки сигнала рассогласования реальной траектории движения относительно программно заданной.

**Ключевые слова:** алгоритм, дистанционное управление движением, определение координат, мобильные объекты.

**Annotation.** The problems, bound with synthesis of algorithm of definition of coordinates of a mobile aggregate on datas of a navigator for framing an error signal of an actual trajectory of a motion rather program by given are considered.

**Keywords:** algorithm, full remote control by driving, definition of coordinates, mobile plants.

## ВВЕДЕНИЕ

Для многих видов работ, выполняемых с помощью строительной, землеройной, сельскохозяйственной техники, требуется обработка протяженных участков. При этом часто возникает задача автоматического дистанционного управления мобильными агрегатами (МА), для которой необходимо сформулировать некоторые требования, касающиеся качества работы, выполняемой МА, в частности обработки рабочего участка без пропусков (то есть без временной потери управления), экономичности работы, минимизации затрат энергии, времени и т.п.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выполнения комплекса указанных требований необходимо, в частности, чтобы движение агрегата осуществлялось по оптимальным заданным траекториям. Такими траекториями могут служить спиральная (рис. 1а), загонная (рис. 1б), челночная с пет-

левым разворотом (рис. 1в), челночная реверсивная (рис. 1г).

При дистанционном управлении МА [1, 2] необходимо выбрать такую траекторию движения, которая определяла бы минимальные затраты времени на ее обработку и наименьшие погрешности при выполнении программы на специализированном вычислительном устройстве СВУ. Таким требованиям, очевидно, могут отвечать те траектории, которые имеют наиболее простое математическое описание.

Описанная в [3] радионавигационная система может использоваться для дистанционного управления движением МА как по прямым траекториям, так и обеспечения автоматического разворота с отслеживанием предыдущих траекторий движения.

Текущие декартовы координаты положения МА могут быть определены из решения квадратного уравнения, коэффициенты которого определяются разностями фаз входящих от разных станций [4] сигналов навигационной системы на выходе приемного устройства, расположенного на управляемой машине [5].

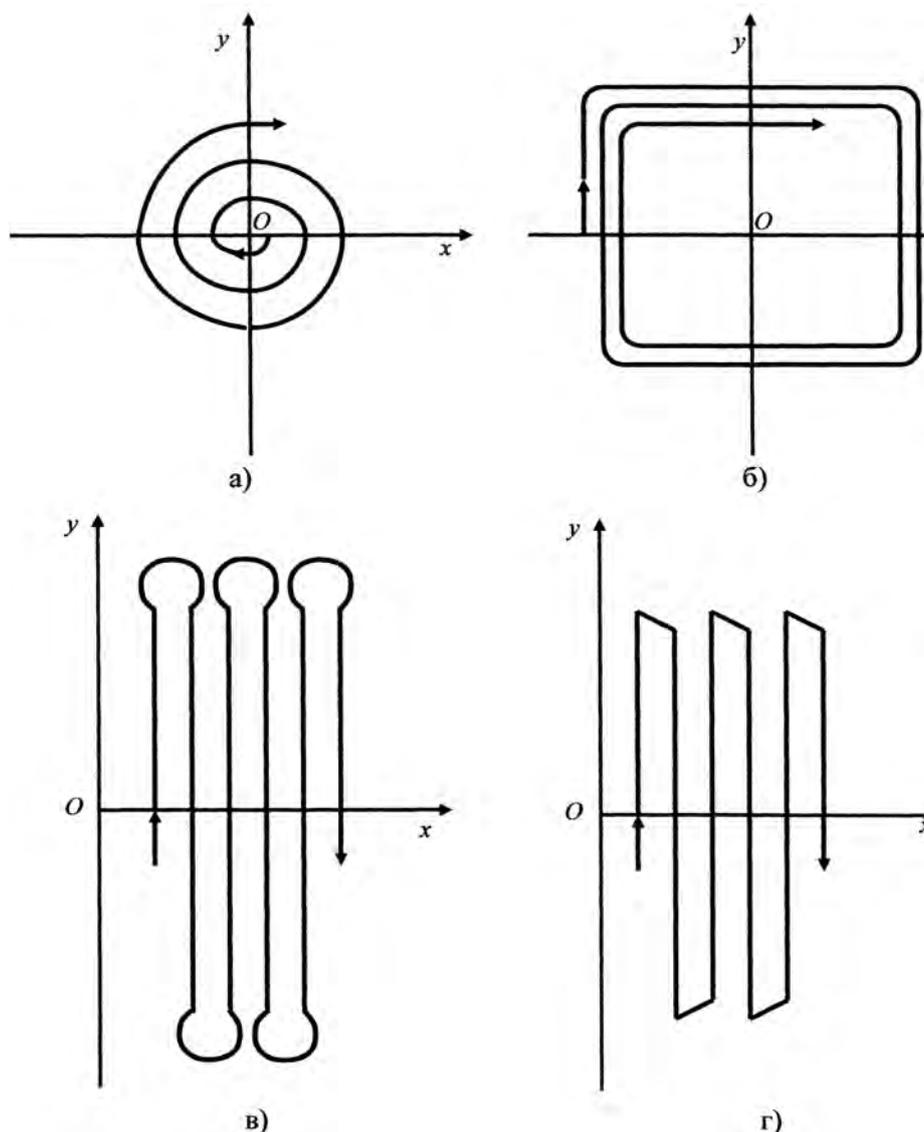


Рис.1. Возможные траектории обработки поверхности

Пусть на участке обработки со сторонами  $D$  расположены станции-излучатели ст1, ст2, ст3 разностно-дальномерной системы (рис. 2). Для определения текущих координат  $x, y$  положения рабочего агрегата обозначим расстояния от МА до ст1, ст2, ст3 соответственно  $r_1, r_2, r_3$ .

На выходе приемного устройства на МА получим величины  $a = r_3 - r_1$  и  $b = r_2 - r_1$ , пропорциональные разности фаз сигналов излучателей ст1-ст3 и ст1-ст2 соответственно. Из геометрических соображений можно записать

$$r_2^2 = (D - y)^2 + r_1^2 - y^2$$

$$r_3^2 = (D - x)^2 + r_1^2 - x^2$$

$$r_1^2 = x^2 + y^2.$$

или

$$r_2^2 - r_1^2 = D^2 - 2Dy$$

$$r_3^2 - r_1^2 = D^2 - 2Dx \quad (1)$$

$$r_1^2 = x^2 + y^2.$$

Систему (1) легко привести к виду

$$a(a + 2r_1) = D^2 - 2Dx$$

$$b(b + 2r_1) = D^2 - 2Dy \quad (2)$$

$$r_1^2 = x^2 + y^2.$$

Исключая  $r_1$ , получим

$$\left( \frac{D^2 - 2Dx - a^2}{2a} \right)^2 = x^2 + y^2, \quad (3)$$

$$\frac{D^2 - 2Dx - a^2}{a} = \frac{D^2 - 2Dy - b^2}{b}. \quad (4)$$

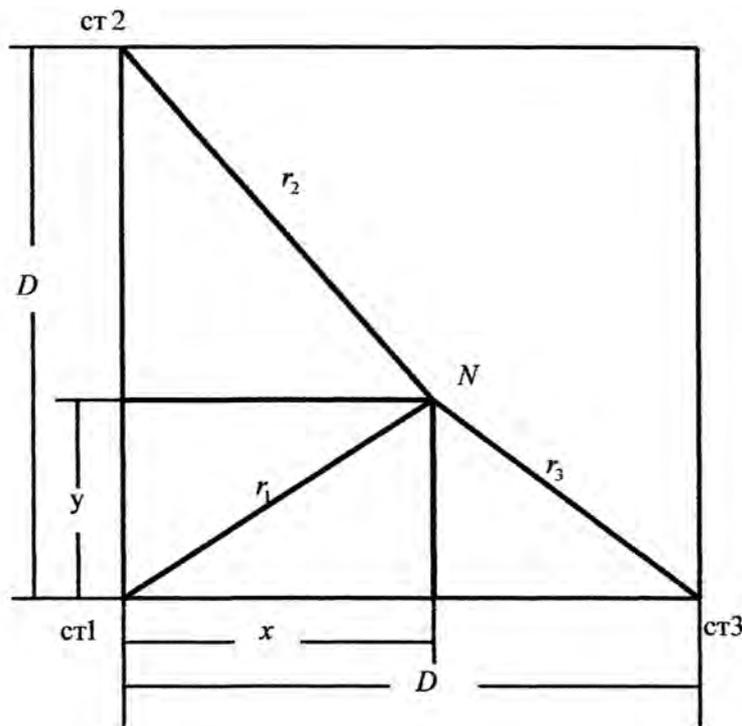


Рис. 2. Геометрическая схема разностно-дальномерной системы определения координат объекта

Определив  $y$  из (4) и подставив его в (3), приходим к уравнению

$$Ax^2 + Bx + C = 0. \quad (5)$$

Аналогично может быть получено уравнение

$$A_1y^2 + B_1y + C_1 = 0. \quad (6)$$

В (5) и (6) соответственно использованы следующие обозначения

$$A = A_1 = a^2 + b^2 + D^2;$$

$$B = \frac{D^2(D^2 - a^2) + b(a - b)(D^2 + ab)}{D};$$

$$B_1 = \frac{D^2(D^2 - b^2) + a(b - a)(D^2 + ab)}{D};$$

$$C = \frac{(a - b)^2(D^2 + ab)^2 - D^2(D^2 - a^2)^2}{4D^2};$$

$$C_1 = \frac{(a - b)^2(D^2 + ab)^2 - D^2(D^2 - b^2)^2}{4D^2}.$$

Из (5), (6) находим текущие значения координат  $x$ ,  $y$  местоположения МА в виде

$$x_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

$$y_{1,2} = \frac{-B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4AC_1}}{2A}.$$

Следует отметить, что при этом из физической сущности в алгоритме расчета используются действительные значения корней уравнения.

Из анализа возможных траекторий движения МА при различных технологических процессах их работы следует, что все траектории движения можно разбить на элементарные участки, которые состоят в общем случае из движения по прямой линии и разворота по определенному закону, имеющему конкретное математическое описание в виде формул, или заданному отдельными дискретными значениями (точками), получаемыми, например, при первом пробном проходе траектории. Такой подход к заданию трассы движения агрегатов соответствует в общем случае заданию движения по прямой в виде уравнения

$$ax + by = c, \quad (7)$$

а уравнение разворота может быть обобщенно представлено как

$$f(x, y) = 0. \quad (8)$$

Полученные в результате вычисления в СВУ координаты  $x$  и  $y$  являются исходными для программы коррекции движения по заданной траектории.

Формирование задания для движения МА и измерение разности фаз сигналов, производимое фазовой навигационной системой, позволяет выработать алгоритм определения отклонения движения агрегата от заданной траектории (рис. 3), включающий в себя следующие элементы:

1 – блок записи исходной информации о размерах рабочего участка, расстоянии между передатчиками навигационной системы, о коэффициентах уравнения первой прямой, ширине захвата рабочего органа и закона разворота МА;

2 – блок формирования задания на начало движения;

3 – блок измерения текущих разностей фаз сигналов;

4, 5, 6 – блоки определения коэффициентов квадратного уравнения;

7, 10 – устройства сравнения;

8 – блок определения рассогласования;

9 – блок перехода к другой части задания;

11 – блок вывода сигнала рассогласования;

12 – регулятор;

13 – исполнительный механизм.

Исходная информация, заложенная в блоке 1, поступает в блок 2 формирования задания на начало движения, в котором выраба-

тывается сигнал для включения блока 3 устройства измерения текущих разностей фаз. После этого информация о разности фаз поступает в блоки 4, 5, 6 определения коэффициентов квадратного уравнения. С учетом анализа разности фаз определяются текущие координаты МА  $x$  и  $y$ , которые поступают на устройство сравнения 7, где происходит смена частей задания траектории движения объекта в зависимости от его местоположения. При необходимости смены задания управление передается в блок 9, где происходит переход к другой части задания, после чего блок 10 производит проверку на окончание обработки заданного участка. В противном случае управление передается блоку 8, где происходит сравнение текущей траектории движения МА с заданной (эталонной) и вырабатывается сигнал рассогласования, который в блоке 11 выводится на регулятор 12 и далее на исполнительный механизм 13. Кроме того, блок 11 формирует сигнал, управляющий блоком 3, и инициирующий повторение цикла.

Выходные сигналы приемника навигационной системы, представляющие разности фаз, соответствующие величинам  $a$  и  $b$ , могут быть преобразованы и выданы для после-

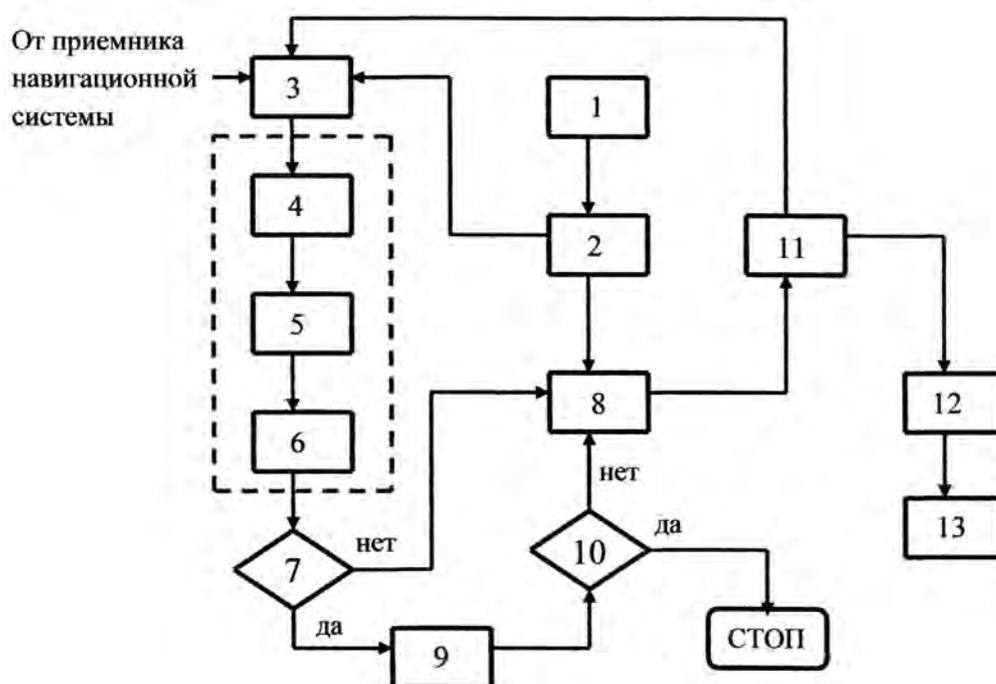


Рис.3. Схема, реализующая алгоритм определения отклонений движения рабочего агрегата от заданной траектории

дующей обработки как в аналоговом, так и в дискретном виде. Анализ возможностей аналоговой обработки сигналов при реализации алгоритма управления, представленного на рис. 3, показывает, что точность вычисления параметров управления не превышает величины  $10^{-3}$ . Использование дискретной обработки выходных сигналов разностно-дальномерной системы позволяет добиться большей точности управления. В связи с этим выходные сигналы фазоизмерительной системы должны быть представлены в цифровом коде и для решения задачи необходимо использовать цифровое вычислительное устройство [6].

Текущие значения координат МА  $x$  и  $y$  можно определить двумя способами. Первый способ заключается в использовании специализированного вычислительного устройства, позволяющего определять текущие значения координат  $x$  и  $y$  путем непрерывного решения уравнений со скоростью, достаточной для заданной точности [7, 8] автоматического дистанционного управления при выбранном виде траектории движения МА.

Второй способ заключается в предварительном разбиении заданной трассы на рабочей поверхности на достаточно большое количество точек, число и расстояние между которыми определяются необходимой точностью управления. После этого по формулам (2) для каждой  $i$ -й точки определяются значения  $a_i^0$  и  $b_i^0$ . Данные полученной матрицы заносятся в память вычислительного устройства, расположенного на подвижном агрегате. Впоследствии в дешифраторе путем сравнения текущих значений  $a_i$  и  $b_i$  с  $a_i^0$  и  $b_i^0$  определяется рассогласование текущих координат движущейся машины.

На практике сначала определяются параметры первого прохода МА, записываемые в качестве эталонных и задающие характер уравнений движения МА. Далее в навигационной системе определяются текущие разности фаз, дающие параметры  $a_i$  и  $b_i$ , исходя из значений которых находятся координаты  $x_i$  и  $y_i$ , отличающиеся от задаваемых на величину ошибки, вычисляемую по формуле

$$d = \sqrt{(x_i^0 - x_i')^2 + (y_i^0 - y_i')^2},$$

где  $x_i^0, y_i^0$  – эталонные;

$x_i', y_i'$  – фактические координаты МА.

При превышении рассогласования допустимых отклонений вырабатывается команда управления на исполнительные механизмы, минимизирующая увод агрегата от заданной траектории.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Программное обеспечение алгоритма определения координат  $x$  и  $y$  подвижного МА реализуется с помощью специализированного вычислительного устройства на базе микропроцессора с использованием языка символического кодирования, содержащего команды и коды, и обеспечивает требования задачи дистанционного управления МА в части достаточной точности автоматического дистанционного управления и оперативности отслеживания уводов от заданной траектории. Так измерение разности фаз цифровым фазометром осуществляется с точностью не хуже  $0,036^\circ$ . Это приводит к определению текущих координат объекта с погрешностью, не превышающей  $\pm 5$  см, что является вполне допустимым для большинства технологических процессов МА. Предлагаемый алгоритм диагностики и коррекции увода МА от заданной траектории обеспечивает выполнение требований автоматического дистанционного управления движением МА.

Для успешной работы комплекса без чрезмерного усложнения аппаратуры необходим точный вывод агрегата в начальную точку для обеспечения повторяемости траекторий движения при повторных циклах обработки, поэтому целесообразно определять координаты в отдельных дискретных точках, а между ними использовать системы слежения.

Системы слежения допускают сочетание предложенных методов с известными. Например, системы пространственной обработки могут ставиться перед системами отслеживания траекторий, что существенно упрощает схемы реализации и увеличивает эффективность комплекса в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононов А. Д., Авдеев Ю. В., Кононов А. А. Алгоритм обработки сигналов датчиков системы следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. – 2009. – № 3–4. – С. 95–99.

2. Авдеев Ю. В., Кононов А. Д., Кононов А. А., Аникин В. Н. К вопросу исследования радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. – 2010. – № 10. – С. 86–92.

3. Кононов А. Д., Кононов А. А. Разработка алгоритма определения координат и сигнала рассогласования в задаче автоматического управления мобильными объектами в дорожном строительстве // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 1. – С. 84–89.

4. Авдеев Ю. В., Кононов А. Д., Кононов А. А., Варданян Н. А. Сравнительный анализ фазовых методов определения координат в задачах дистанционного автоматического управления машинами дорожно-строительного комплекса // Изв. вузов. Строительство. – 2014. – № 1. – С. 86–93.

**Кононов Александр Давыдович** – к.ф.-м.н, проф. кафедры информатики и графики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

Тел.: (473) 293-31-83

Email: kniga16@mail.ru

**Кононов Андрей Александрович** – д.т.н, проф. кафедры информатики и графики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

Тел.: (473) 223-98-36

Email: kniga16@mail.ru

5. Кононов А. Д., Кононов А. А. Исследование возможностей создания координирующего программного устройства для реализации алгоритмов автоматического управления движением мобильных объектов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2015. – № 1. – С. 9–13.

6. Авдеев Ю. В., Кононов А. Д., Кононов А. А., Варданян Н. А. Устройство цифровой обработки выходных сигналов координатной системы для дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. – 2011. – № 10. – С. 74–79.

7. Алгазинов Э. К., Матвеев М. Г., Тюкачев Н. А., Ховив А. М. Модели управления автоматическим повторным включением на электрических подстанциях // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 5–9.

8. Аверина Л. И., Бобрешов А. М., Шуртов В. Д. Адаптивный цифровой метод уменьшения внеполосного излучения усилителей мощности // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 1. – С. 82–88.

**Kononov Alexandr Davydovich** – Candidate of physics.-math. Sciences, Professor of the dept. of Computer science and graphs, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering.

Tel.: (473) 293-31-83

Email: kniga16@mail.ru

**Kononov Andrey Alexandrovich** – Doctor of technical sciences, Professor of the dept. of Computer science and graphs, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering.

Tel.: (473) 223-98-36

Email: kniga16@mail.ru