

А. С. Прокопов, Е. С. Брискин

О ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДВУХСЕКЦИОННОГО РОБОТА*

Волгоградский государственный технический университет

proas98@mail.ru, dtm@vstu.ru

Рассматривается движение робота, состоящего из двух секций, связанных между собой стержнем переменной длины, шарнирно закрепленным в центре масс каждой из секций. Переменность длины стержня обеспечивается работой актуатора.

Каждая из секций робота непрерывно взаимодействует с плоской горизонтальной поверхностью шаровыми опорами, обеспечивающими минимальность сил сопротивления движению. На секциях симметрично установлены четыре управляемые тормозные опоры, обеспечивающие в определенные моменты времени надежный контакт с поверхностью. Каждая из секций может совершать вращательное движение вокруг соответствующей тормозной опоры.

Ключевые слова: двухсекционные роботы, голономная связь, тормозные стойки.

A. S. Prokopov, E. S. Briskin

ABOUT THE POSITIONING ACCURACY OF A TWO-SECTION ROBOT

Volgograd State Technical University

The motion of a robot consisting of two sections and interconnected by a rod of variable length pivotally fixed in the center of mass of each sections is considered. The variable length is ensured by the operation of the actuator.

Each of the sections of the robot continuously interacts with a flat horizontal surface with ball bearings, which ensure a minimum of resistance forces to movement. Four controllable brake supports are symmetrically installed on the sections, ensuring reliable contact with the support surface at certain points in time. In this case, each of the sections can rotate around the corresponding brake support.

Keywords: two-section robots, holonomic communication, brake racks.

Введение

Известные мобильные роботы могут состоять как из одного твердого тела, на котором размещены движители, энергетические установки, исполнительные механизмы и так далее, так из систем сочлененных твердых тел [1]. В качестве движителей могут быть использованы традиционные колесные и гусеничные [2], а также шагающие, обладающие преимуществом по профильной и опорной проходимости

[3–6]. К шагающеподобным движителям можно отнести и движители, обеспечивающие периодическое заклинивание на цилиндрической опорной поверхности [7].

Рассматривается двухсекционный робот, перемещающийся по горизонтальной шероховатой поверхности за счет работы актуатора. На каждом из этапов одна секция неподвижна за счет взаимодействия всех тормозных опор с опорной поверхностью, а другая может пово-

© Прокопов А. С., Брискин Е. С., 2024.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00477, <https://rscf.ru/project/24-21-00477/>

рачиваться вокруг одной из опор. Остальные опоры на этой секции свободно перемещаются по опорной поверхности.

Таким образом, движение двухсекционного робота осуществляется в соответствии с алгоритмом последовательной работы приводов:

тормозных на каждой из платформ и привода актуатора (рис. 1).

Нумерация опор для каждой платформы двухсекционного робота начинается с левой верхней опоры по часовой стрелке. Нумерация платформ идет слева направо.

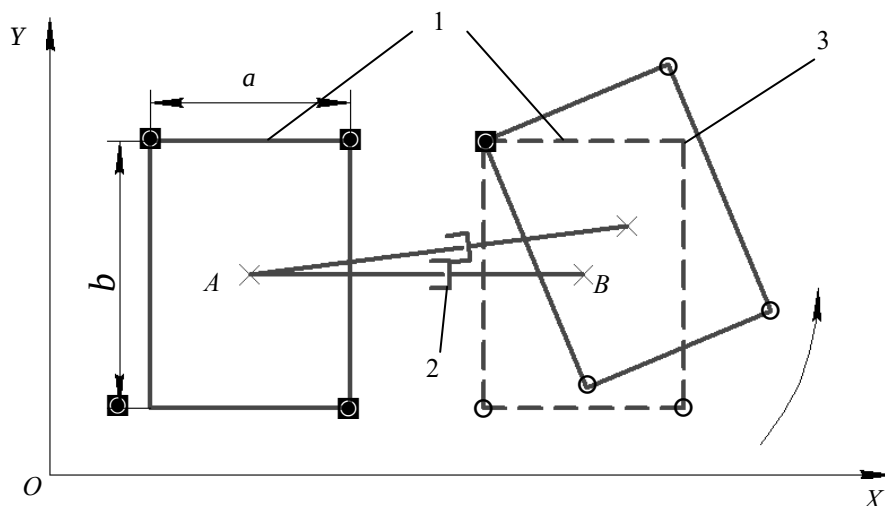


Рис. 1. Кинематическая схема двухсекционного робота:
A, B – точки закрепления стержней на роботах; 1 – платформы двухсекционного робота;
2 – актуатор; 3 – тормозные управляемые опоры: ■ – заторможенные; ○ – свободные

Постановка задачи

Рассматриваются методы управления двухсекционным роботом, обеспечивающие в среднем поступательное движение каждой из секций с прямолинейным движением их центров масс и оценкой отклонений их движения от программного режима.

Управление роботом

Движение робота заключается в последовательной работе актуатора, обеспечивающего изменение расстояния между центрами масс каждой из секций с торможением одной из опор на перемещаемой секции и торможением всех опор на неподвижной секции.

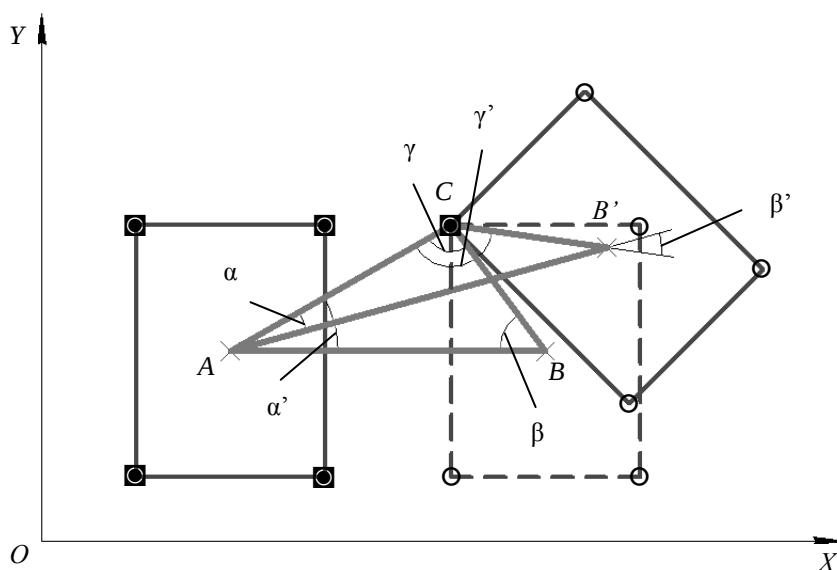


Рис. 2. Основные размеры для вычисления следующего положения

На рис. 1 приведен пример поворота вокруг первой опоры на второй перемещаемой платформе при работе актуатора с целью увеличения длины AB .

На рис. 2 представлена геометрическая схема, необходимая для вычисления следующего положения подвижной платформы: исходная длина актуатора $AB = L$; расстояние от центра неподвижной платформы до фиксированной опоры подвижной платформы – AC ; от фиксированной опоры подвижной платформы до центра подвижной платформы – CB ; углы α , β , γ треугольника, образованного длинами AB , AC и CB . Для следующего положения: длина актуатора AB' ; расстояние от центра неподвижной платформы до фиксированной опоры подвижной платформы – AC , от фиксированной опоры подвижной платформы до центра подвижной платформы – CB' ; углы α' , β' , γ' треугольника, образованного длинами AB' , AC и CB' .

При торможении одной из опор перемещаемой секции можно определить углы до начала изменения длины актуатора в соответствии с формулами:

$$\alpha = \frac{AC^2 + AB^2 - CB^2}{2 \cdot AC \cdot AB}, \quad (1)$$

$$\beta = \frac{CB^2 + AB^2 - AC^2}{2 \cdot AB \cdot CB}, \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{AC^2 + CB^2 - AB^2}{2 \cdot AC \cdot CB}. \quad (3)$$

После изменения длины актуатора определяются новые углы:

$$\alpha' = \frac{AC^2 + AB'^2 - CB'^2}{2 \cdot AC \cdot AB'}, \quad (4)$$

$$\beta' = \frac{CB'^2 + AB'^2 - AC^2}{2 \cdot AB' \cdot CB'}, \quad (5)$$

$$\gamma' = \frac{AC^2 + CB'^2 - AB'^2}{2 \cdot AC \cdot CB'}. \quad (6)$$

Движение робота

Приближенно прямолинейное движение центра масс робота достигается за счет последовательной работы приводов. В табл. 1 условно обозначены работающие приводы, обеспечивающие движение: номер фиксированной платформы – I; номер фиксированной опоры на подвижной платформе – II; изменение длины актуатора от предыдущего положения – III, в условных единицах.

Таблица 1

Действия приводов для обеспечения в среднем прямолинейного движения центров масс робота

№ шага	Действия приводов и актуатора											
	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3			Вариант 4		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	1	1	+3	1	2	+3	1	1	+2	1	1	+4
2	1	4	+3	1	3	+3	1	4	+2	1	4	+4
3	2	2	-3	2	2	-3	2	2	-2	2	2	-4
4	2	3	-3	2	3	-3	2	3	-2	2	3	-4
5	1	4	+3	1	3	+3	1	4	+2	1	4	+4
6	1	1	+3	1	2	+3	1	1	+2	1	1	+4
7	2	3	-3	2	3	-3	2	3	-2	2	3	-4
8	2	2	-3	2	2	-3	2	2	-2	2	2	-4

Примечание: +k – удлинение; –k – укорочение на k единиц.

Анализ результатов

Количественный анализ курсовых колебаний, возникающих при поступательном движении двухсекционного робота, для различных вариантов движения представлен в табл. 2. Приведены среднеквадратичные отклонения в условных единицах продольных ΔX_{ci} , поперечных ΔY_{ci} и угловых $\Delta \varphi_{ci}$ перемещений за

160 циклов работы актуатора для робота с параметрами $a = 30$; $b = 40$; начальной длиной отрезка $AB = 50$ (размеры указаны в условных единицах).

На графиках (рис. 3–8) представлены изменения продольных, поперечных и угловых координат при движении двухсекционного робота в зависимости от номера шага.

Таблица 2

Среднеквадратичные отклонения

№ платформы	Действия приводов и актуатора											
	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3			Вариант 4		
	ΔX_{ci}	ΔY_{ci}	$\Delta \varphi_{ci}$	ΔX_{ci}	ΔY_{ci}	$\Delta \varphi_{ci}$	ΔX_{ci}	ΔY_{ci}	$\Delta \varphi_{ci}$	ΔX_{ci}	ΔY_{ci}	$\Delta \varphi_{ci}$
1	0,10	2,22	8,52	0,10	2,22	8,51	0,05	1,48	5,67	0,16	2,96	11,38
2	0,06	2,24	8,62	0,03	2,25	8,63	0,03	1,50	5,74	0,11	2,99	11,51

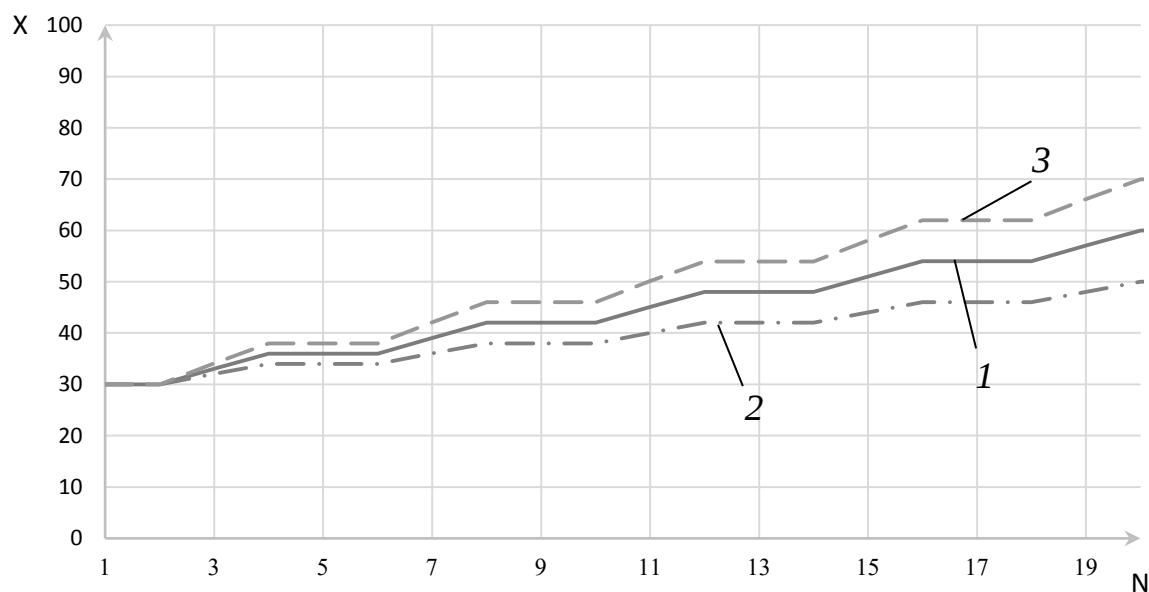


Рис. 3. Изменение продольной координаты центра масс первой платформы различных вариантов:
1 – вариант 1; 2 – вариант 3; 3 – вариант 4

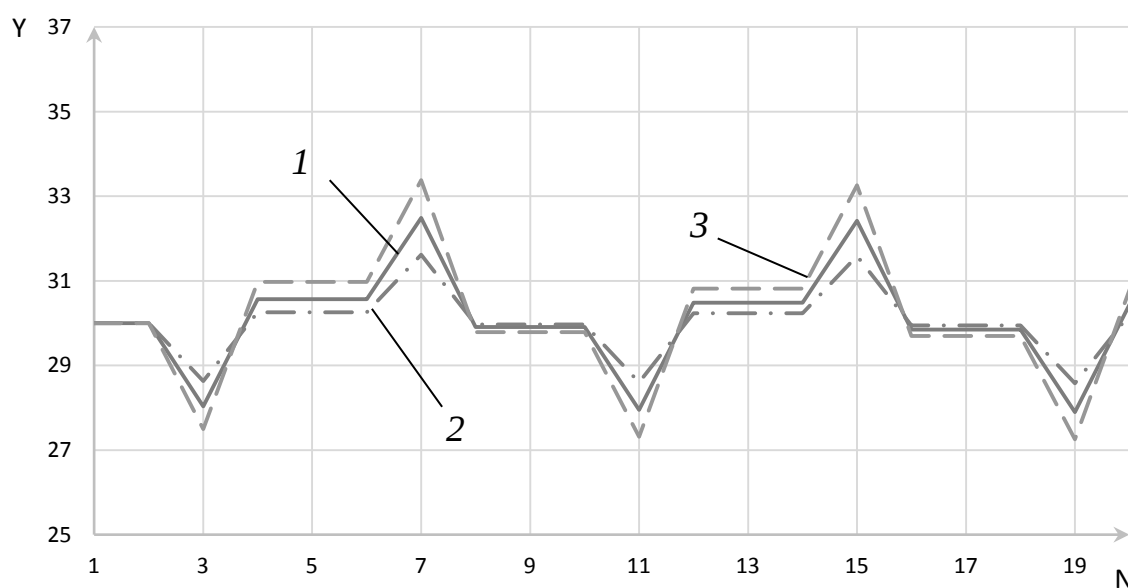


Рис. 4. Изменение поперечной координаты центра масс первой платформы различных вариантов:
1 – вариант 1; 2 – вариант 3; 3 – вариант 4

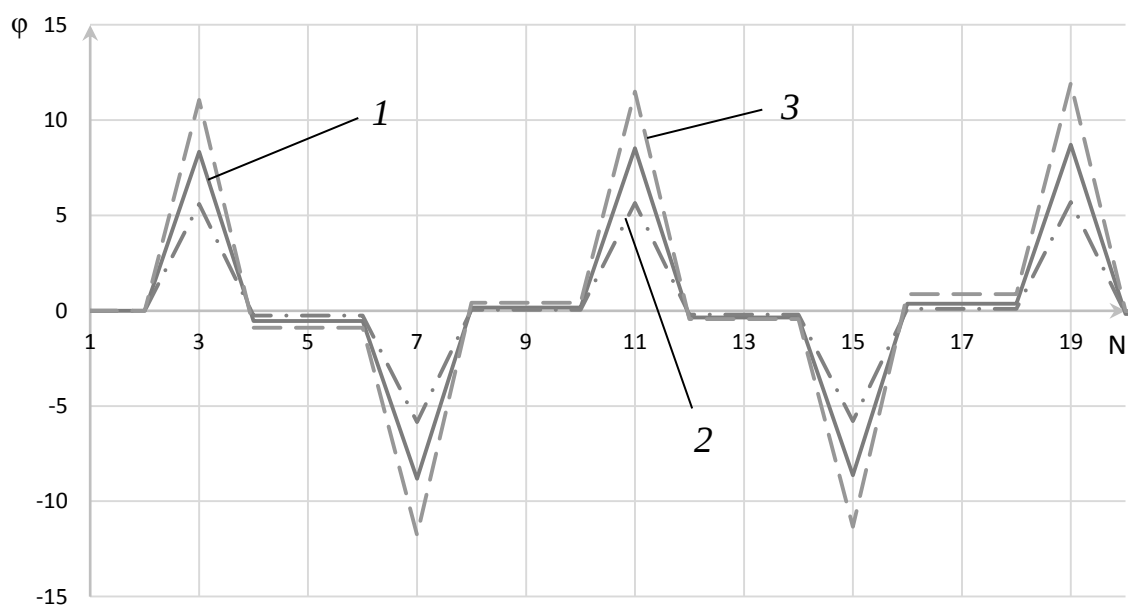


Рис. 5. Изменение угловой координаты центра масс первой платформы различных вариантов:
1 – вариант 1; 2 – вариант 3; 3 – вариант 4

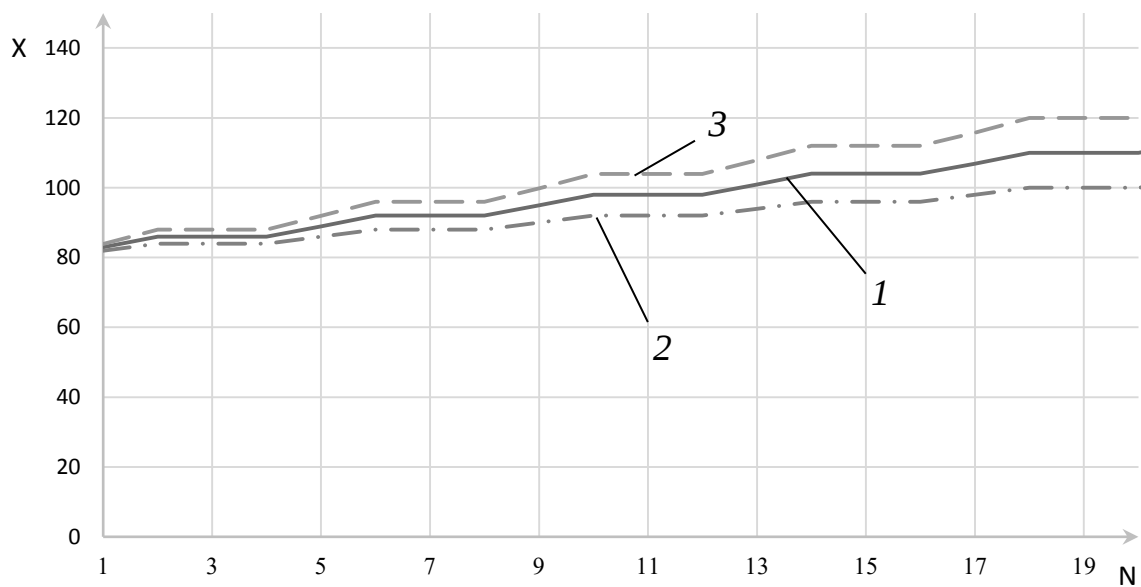


Рис. 6. Изменение продольной координаты центра масс второй платформы различных вариантов:
1 – вариант 1; 2 – вариант 3; 3 – вариант 4

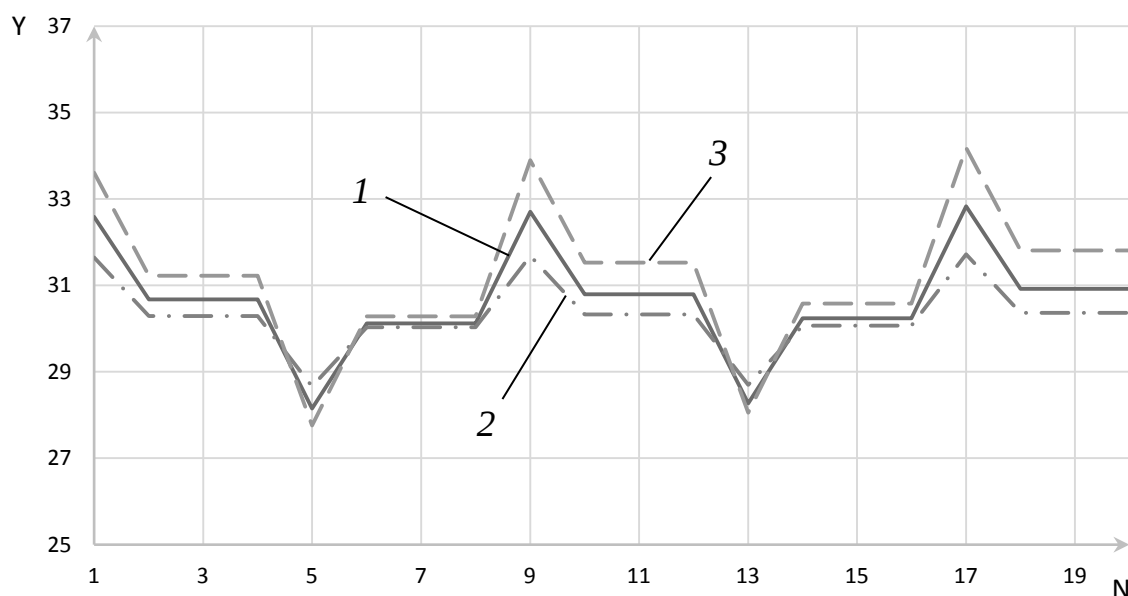


Рис. 7. Изменение поперечной координаты центра масс второй платформы различных вариантов:
1 – вариант 1; 2 – вариант 3; 3 – вариант 4

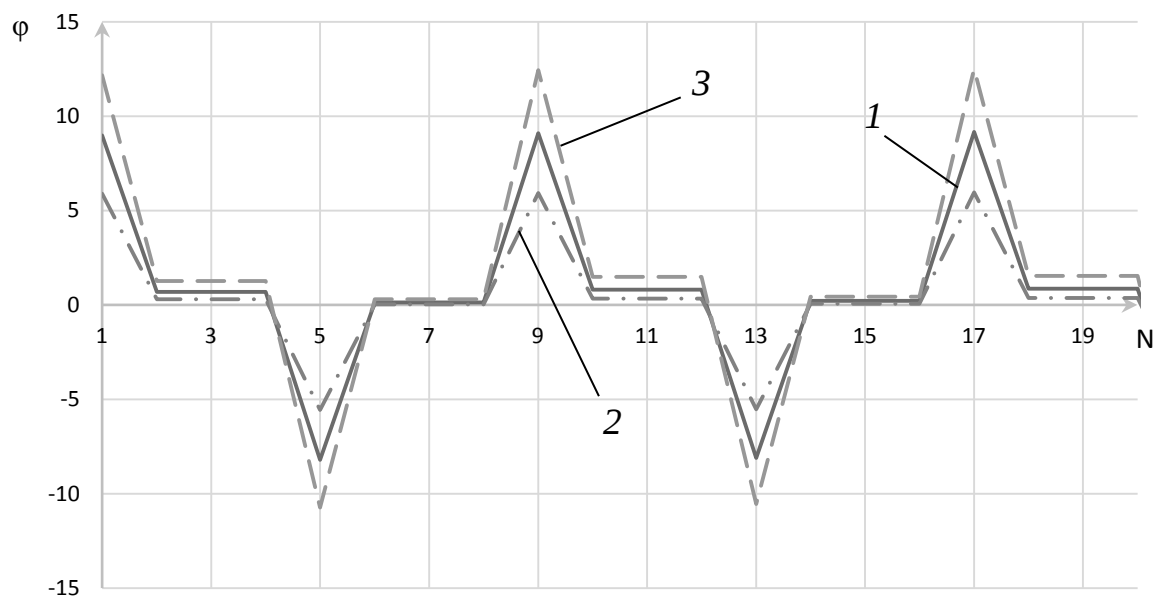


Рис. 8. Изменение угловой координаты центра масс второй платформы различных вариантов:
1 – вариант 1; 2 – вариант 3; 3 – вариант 4

Разница значений координат для вариантов 1 и 2 мала, поэтому вариант 2 не представлен на графиках изменения координат платформ двухсекционного робота из-за совпадения с вариантом 1.

Выводы

Рассмотренный метод организации движения двухсекционного робота обеспечивает, в среднем, реализацию программного движе-

ния. С увеличением хода актуатора на каждом шаге увеличиваются отклонения от программного режима, однако уменьшается средняя скорость движения.

Полученные результаты позволяют ставить задачу о выборе оптимального режима движения, состоящего в компромиссе между скоростью, энергоэффективностью и точностью осуществления программного режима движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Юревич, Е. И.* Основы робототехники / Е. И. Юревич. – СПб., 2005. – 416 с.

2. *Павловский, В. Е.* Исследование динамики и синтез управления колесными аппаратами с избыточной подвижностью / В. Е. Павловский, Д. В. Шишканов // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2006. – № 12. – С. 1–28.

3. *Охоцимский, Д. Е.* Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата / Д. Е. Охоцимский, Ю. Ф. Голубев. – М. : Наука, 1984. – 310 с.

4. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 1. Концепция проектирования / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, В. В. Жога [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 5. – С. 22–27.

5. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 2. Динамика движения шагающих машин серии «Восьминог» / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, В. В. Жога [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 6. – С. 19–26.

6. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 3. Алгоритмы управления движением шагающих машин серии «Восьминог» и экспериментальные исследования / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, В. В. Жога [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 7. – С. 13–18.

7. *Бордюгов, Д. В.* Об управлении движением мобильного робота с движителями, работающими на эффекте периодического закливания / Д. В. Бордюгов, Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4 (275) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – С. 23–28.