

Национальный исследовательский университет
«МЭИ»
Институт радиотехники и электроники
Кафедра радиотехнических систем
Основы теории радиосистем и комплексов радиоуправления

Лабораторная работа №4
«Исследование алгоритмов линейного терминального
управления»

Группа: ЭР-15-15
Бригада: №4
ФИО студентов: Жеребин В.Р.
Хвостова Ю.А.

Москва
2020

Цель работы

При математическом синтезе алгоритмов управления успех во многом зависит от умения представить реальную физическую задачу в формализованном математическом виде. Целью лабораторной работы является сравнение характеристик нескольких алгоритмов управления, синтезированных при различных критериях оптимизации и математических моделях объекта управления.

Домашнее задание

Построить графики зависимостей коэффициентов N от t_n ($0 < t_n < 4$ с) для алгоритмов 3, 4, 6, 7, полагая $c = c_x = 1$; $T = 0,2; 0,4$ с.

Алгоритм 3. Принимается модель маневрирующей цели, учитывается инерционность УО и используется критерий минимума энергозатрат на управление при нулевом конечном промахе.

$$N = \frac{6 \cdot B^2 \cdot (e^{-B} - 1 + B)}{2 \cdot B^3 - 6 \cdot B^2 + 6 \cdot B + 3 - 12 \cdot B \cdot e^{-B} - 3 \cdot e^{-2 \cdot B}},$$
$$B = \frac{t_n}{T}.$$

Алгоритм 4. Принимается модель маневрирующей цели, безынерционная модель УО, условие нулевого промаха и критерий оптимизации вида.

$$N = 2 \cdot q^2 \cdot \frac{\operatorname{sh}(2 \cdot q) + \sin(2 \cdot q)}{\operatorname{sh}(2 \cdot q) - \sin(2 \cdot q)}, \quad q = \sqrt{\frac{c}{2}} \cdot t_n$$

Алгоритм 6. Принимается модель маневрирующей цели, безынерционная модель УО и используется критерий оптимизации.

$$N = \frac{c \cdot t_n}{1 + c \cdot t_n}$$

Алгоритм 7. Принимается модель маневрирующей цели, безынерционная модель УО.

$$N = \frac{c_x \cdot t_n^3}{1 + c_x \cdot \frac{t_n^3}{3}}$$

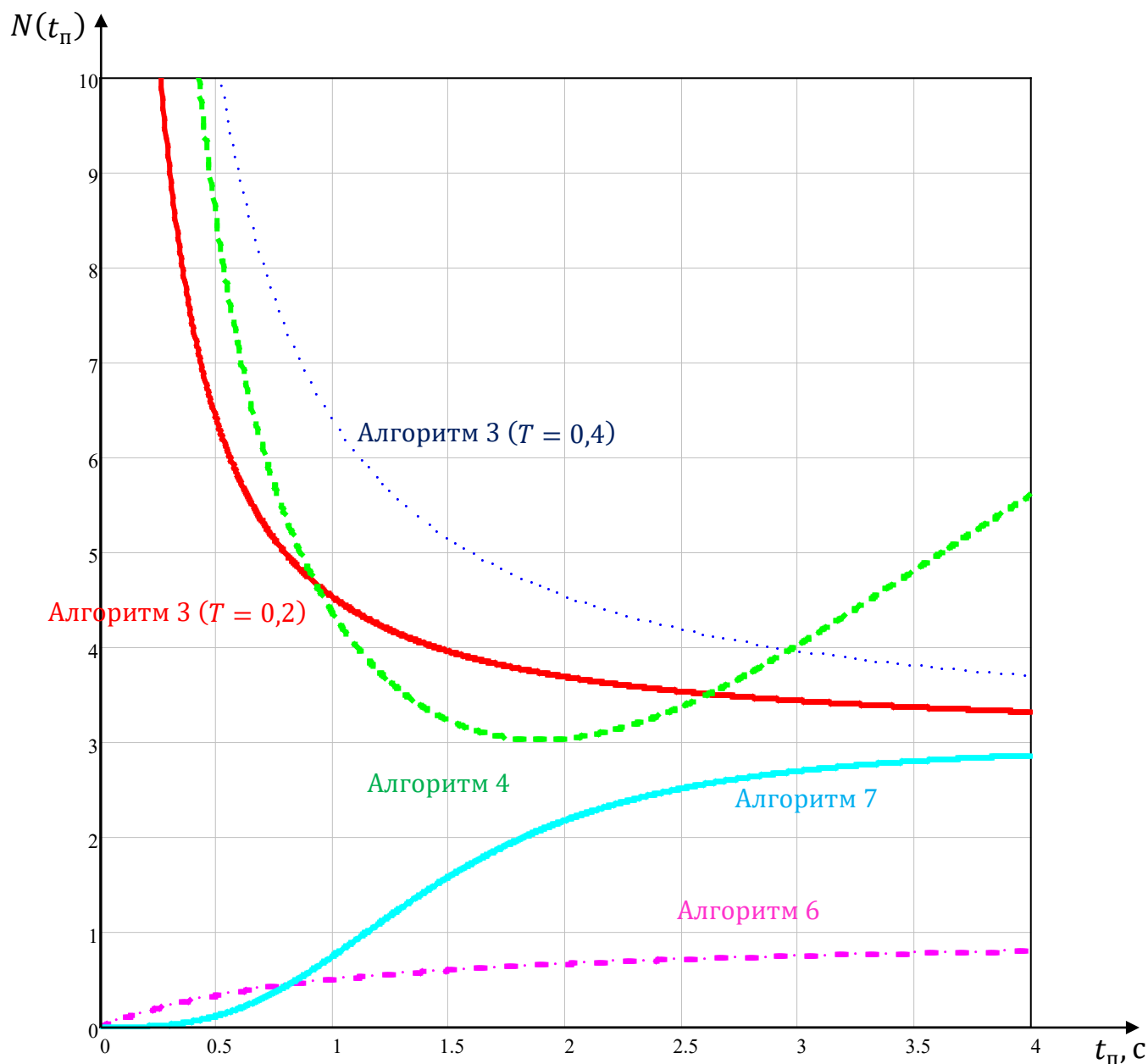


Рисунок 1 – графики зависимостей коэффициентов $N(t_{\text{п}})$ для различных алгоритмов

Как видно из рисунка 1, коэффициент N стремится к значению 3 при увеличении $t_{\text{п}}$ для алгоритмов номер 3 и 7. У алгоритма 6 коэффициент N стремится к 1. Алгоритм 4 имеет минимум, равный 3, около $t_{\text{п}} \approx 1,8$ с.

Лабораторное задание

1. Используя безынерционную модель УО выполнить сравнение алгоритмов для трех типов входных возмущений:

- а) $v_{ц} = 80 \text{ м/с}$, $a_p = 0 \text{ м/с}^2$;
- б) $v_{ц} = 0 \text{ м/с}$, $a_p = 80 \text{ м/с}^2$;
- в) $v_{ц} = 80 \text{ м/с}$, $a_p = 80 \text{ м/с}^2$;

Таблица 1. Результаты измерений при $v_{ц} = 80 \text{ м/с}$, $a_p = 0 \text{ м/с}^2$

Алгоритм №	1	2	3	4	5	6	7
Конечный промах, м	0	0	0,81	78,11	0	0	19,96
Среднеквадратическое ускорение, м	34,64	34,64	62,99	66,87	149,81	49,39	33,47

Таблица 2. Результаты измерений при $v_{ц} = 0 \text{ м/с}$, $a_p = 80 \text{ м/с}^2$

Алгоритм №	1	2	3	4	5	6	7
Конечный промах, м	34,18	0	2,18	183,28	0	0	13,31
Среднеквадратическое ускорение, м	114,35	69,28	87,27	92,22	149,81	78,33	71,06

Таблица 3. Результаты измерений при $v_{ц} = 80 \text{ м/с}$, $a_p = 80 \text{ м/с}^2$

Алгоритм №	1	2	3	4	5	6	7
Конечный промах, м	60,46	0	3,63	315,66	0	0	33,81
Среднеквадратическое ускорение, м	130,54	104,31	117,06	109,65	149,81	106,11	101,17

Выводы:

Алгоритм 1 (алгоритм пропорционального наведения с $N=3$) при скоростях цели отличной от нуля, в конечный момент времени, имеет ненулевой промах.

Алгоритм 2 (алгоритм пропорционального наведения со смещением) показывает нулевой промах для всех случаев.

Алгоритм 3 (учитывает инерционность УО) показывает значение конечного промаха порядка единиц метров.

Алгоритм 4 показывает самые большие значения конечного промаха, из-за того, что с ростом коэффициента c увеличивается вес квадрата текущего промаха в критерии, что должно приводить к спрямлению траектории наведения.

Алгоритм 5 показывает нулевой промах для всех случаев. Команды управления в этом алгоритме могут иметь только 3 значения: $-u_{max}$, 0, u_{max} .

Алгоритм 6 (алгоритм пропорционального наведения со смещением с $N=1$) показывает нулевой промах для всех случаев.

Алгоритм 7 показывает значение конечного промаха порядка десятков метров.

2. Выполнить исследования, указанные в предыдущем пункте, для инерционной модели динамики УО при $T=0,2$ и $T=0,4$.

Таблица 4. Результаты измерений при $v_c = 80$ м/с, $a_p = 0$ м/с²

Алгоритм №	1	2	3	4	5	6	7	T
Конечный промах, м	-0,1	-0,1	0,24	101,82	0,19	0	16,26	0,2
	-0,11	-0,11	-0,65	118,24	0,60	0,04	10,24	0,4
Среднеквадратическое ускорение, м	37,02	37,02	37,07	62,83	65,61	51,21	35,87	0,2
	39,86	39,86	39,11	57,76	65,22	52,62	37,55	0,4

Таблица 5. Результаты измерений при $v_c = 0$ м/с, $a_p = 80$ м/с²

Алгоритм №	1	2	3	4	5	6	7	T
Конечный промах, м	65,63	0	0,47	225,51	0,22	0	15,23	0,2
	97,98	-0,26	-1,34	255,74	0,93	1	11,84	0,4
Среднеквадратическое ускорение, м	115,22	74,03	74,13	89,90	93,41	82,03	75,30	0,2
	112,40	79,39	78,37	85,61	94,57	85,83	78,11	0,4

Таблица 6. Результаты измерений при $v_c = 80$ м/с, $a_p = 80$ м/с²

Алгоритм №	1	2	3	4	5	6	7	T
Конечный промах, м	105,51	-0,04	1,99	374,79	-0,16	0,05	38,21	0,2
	149,84	4,95	13,20	416,88	-6,58	-4,98	48,50	0,4
Средне-квадратическое ускорение, м	131,36	115,53	114,97	107,62	123,27	116,08	108,83	0,2
	128,63	129,59	123,05	103,71	130,65	129,61	114,58	0,4

Вывод: при учете инерционности УО алгоритмы ведут себя аналогичным образом, как безынерционные. В среднем значения конечного промаха и среднеквадратического ускорения больше, чем в безынерционной ОУ, и они увеличиваются с ростом T.

3. Для безынерционной динамики УО исследовать влияние коэффициентов c и cx в алгоритмах 4, 6, 7 на характер процессов наведения для двух типов входных возмущений:

а) $v_{ц} = 80$ м/с, $a_p = 0$ м/с²;

б) $v_{ц} = 0$ м/с, $a_p = 80$ м/с²;

Таблица 7. Результаты измерений при $v_{ц} = 80$ м/с, $a_p = 0$ м/с²

Алгоритм №	4	6	7	$c = cx$
Конечный промах, м	307,81	0	259,89	0,01
	78,11	0	19,96	1
	22,38	0	0,28	100
Среднеквадратическое ускорение, м	12,21	34,64	6,51	0,01
	66,87	49,39	33,47	1
	74,32	108,42	39,80	100



Рисунок 2 – графики ускорения ракеты $a_p(t)$ для $c = 0,01; 1; 100$ для алгоритма 4

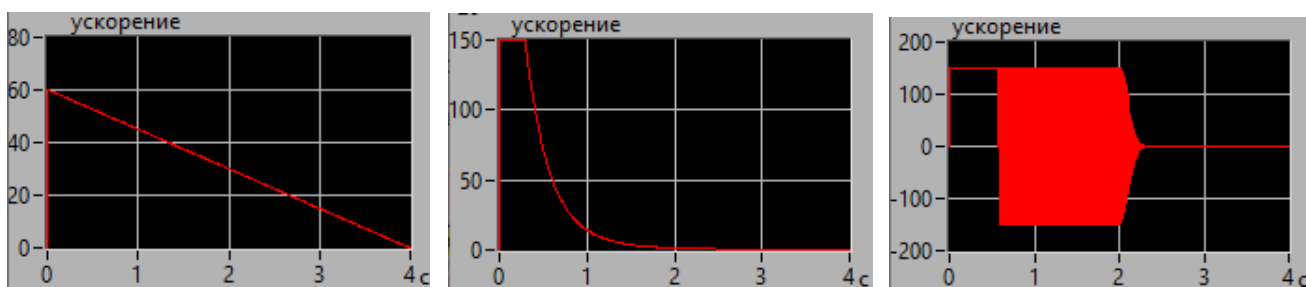


Рисунок 3 – графики ускорения ракеты $a_p(t)$ для $c = 0,01; 1; 100$ для алгоритма 6

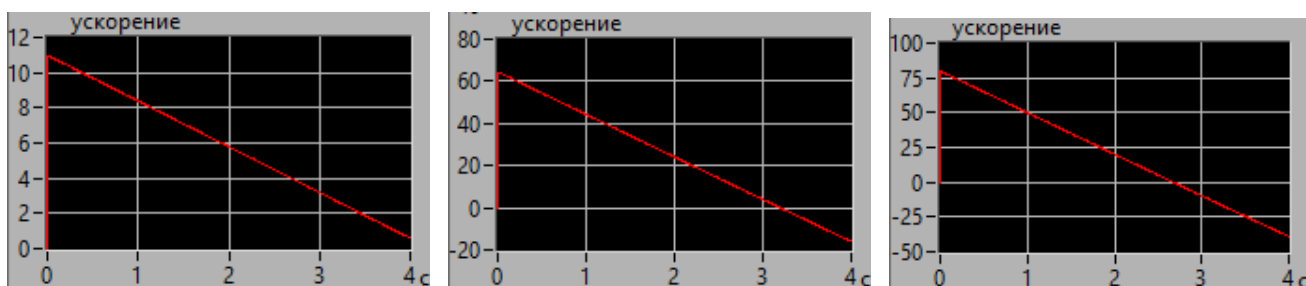


Рисунок 4 – графики ускорения ракеты $a_p(t)$ для $c = 0,01; 1; 100$ для алгоритма 7

Таблица 8. Результаты измерений при $v_{ц} = 0$ м/с, $a_p = 80$ м/с²

Алгоритм №	4	6	7	$c = cx$
Конечный промах, м	615,66	0	509,58	0,01
	183,28	0	13,31	1
	87,10	0	0,01	100
Среднеквадратическое ускорение, м	19,39	69,28	14,18	0,01
	92,22	78,33	71,06	1
	101,54	108,26	79,70	100



Рисунок 5 – графики ускорения ракеты $a_p(t)$ для $c = 0,01; 1; 100$ для алгоритма 4

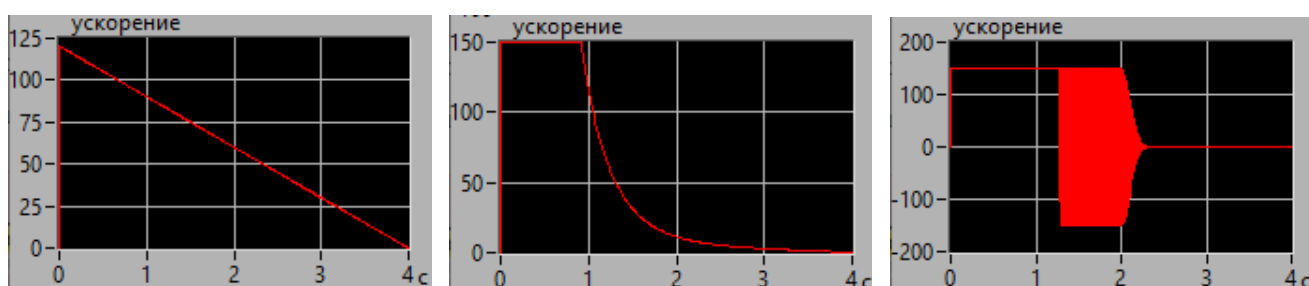


Рисунок 6 – графики ускорения ракеты $a_p(t)$ для $c = 0,01; 1; 100$ для алгоритма 6

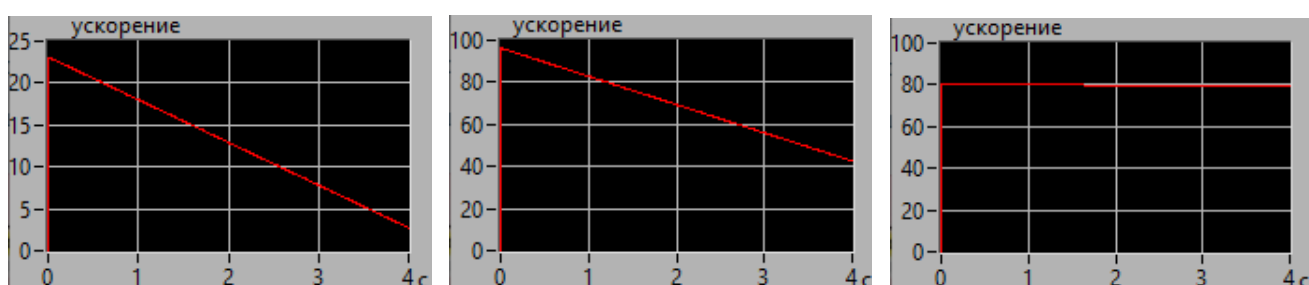


Рисунок 7 – графики ускорения ракеты $a_p(t)$ для $c = 0,01; 1; 100$ для алгоритма 7

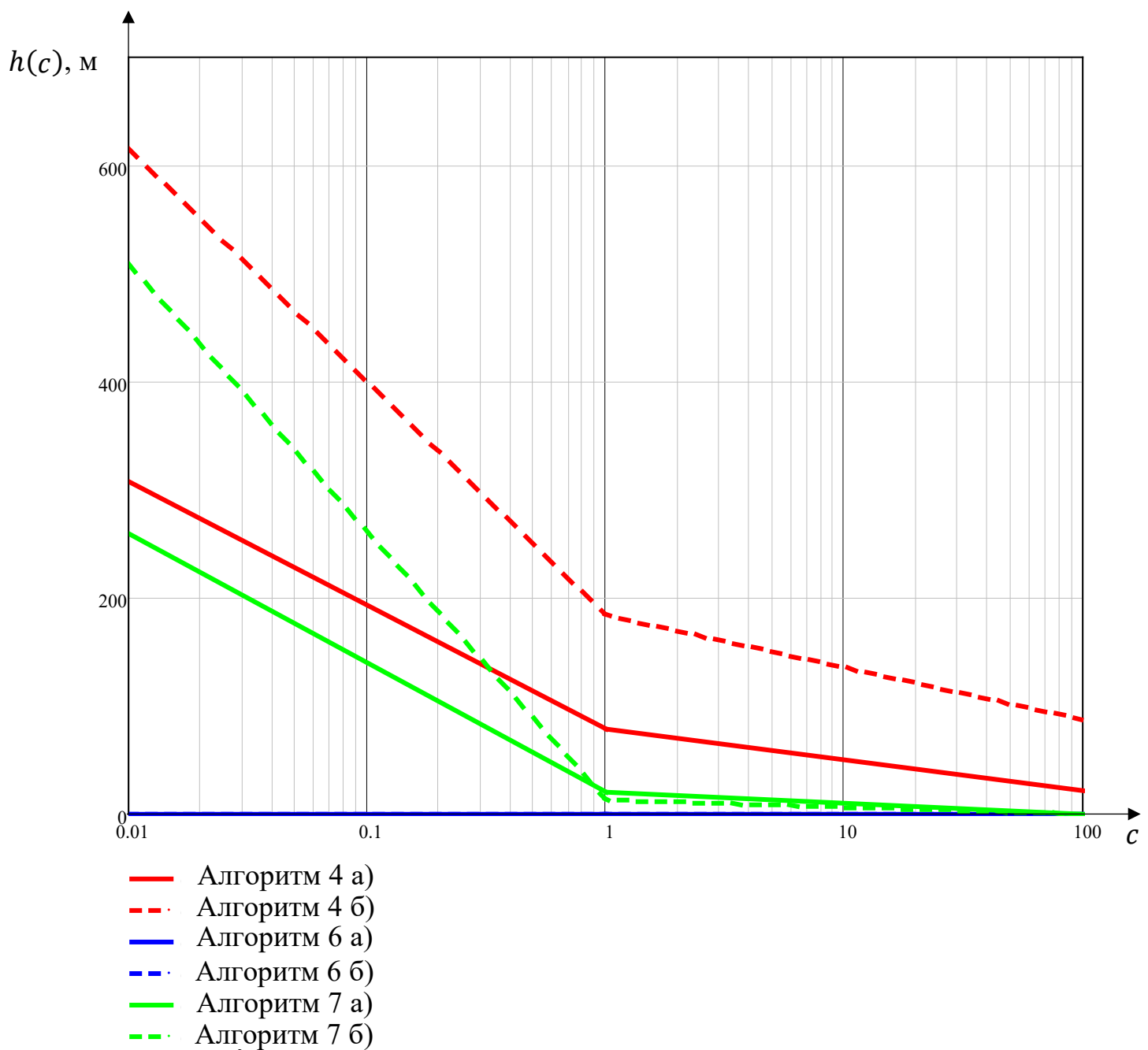


Рисунок 8 – зависимости конечного промаха для алгоритмов от c

Для алгоритмов 4 и 7 значение конечного промаха уменьшается, при увеличении c , *сх.* Конечный промах выше для случая, когда ускорение ракеты $a_p = 80$. У алгоритма 6 значение конечного промаха всегда 0.

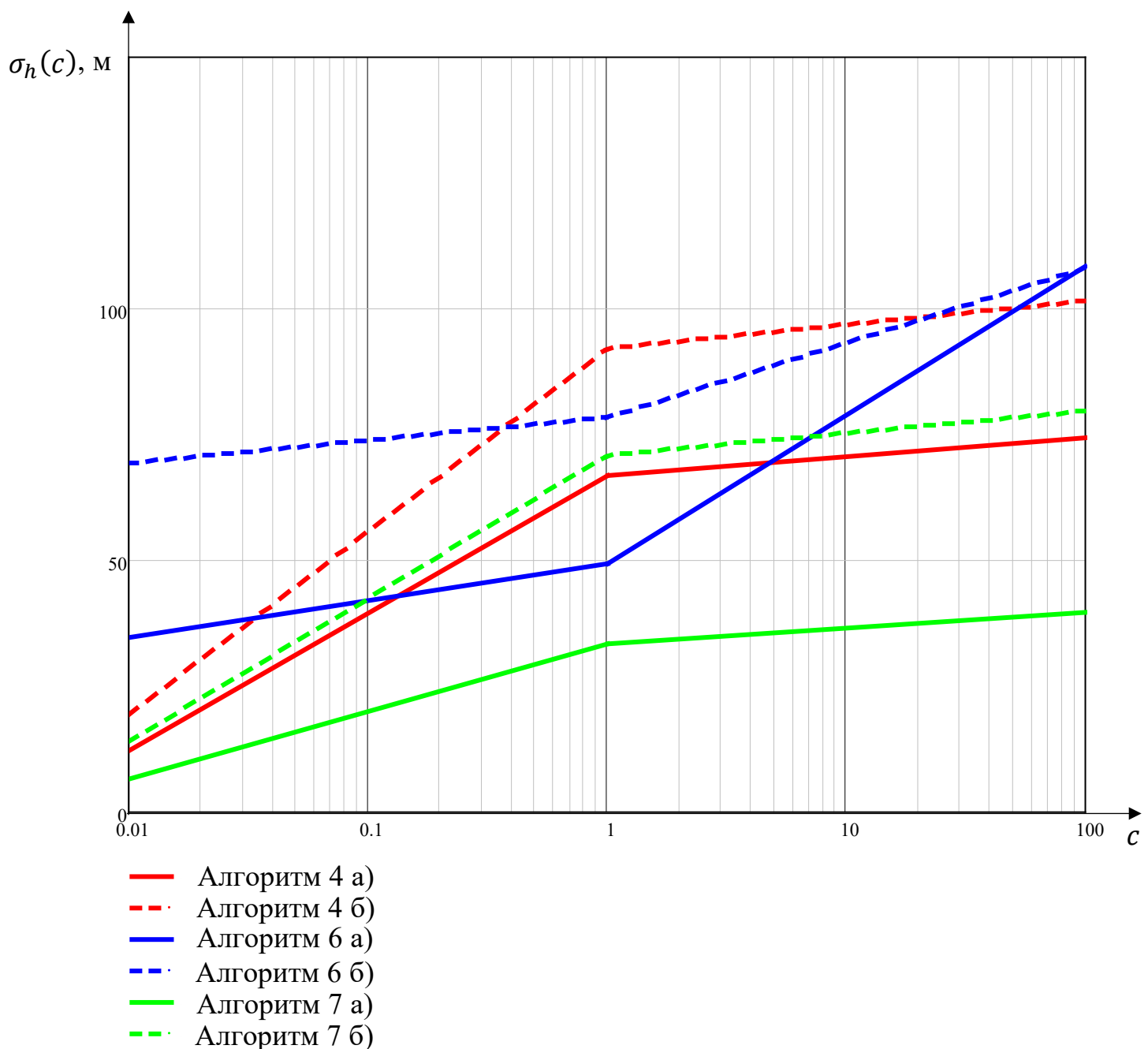


Рисунок 9 – зависимости среднеквадратического ускорения для алгоритмов от c

Для всех алгоритмов значение среднеквадратического ускорения увеличивается, при увеличении c , sx . Среднеквадратическое ускорение выше для случая, когда ускорение ракеты $a_p = 80$.

Таким образом получается, что с ростом c и sx , конечный промах уменьшается, а среднеквадратическое ускорение увеличивается.

4. Для безынерционной динамики УО исследовать влияние коэффициента c_v на характер процессов наведения в алгоритме 7 при $c_x = 100$ для двух типов входных возмущений:

а) $v_{ц} = 80$ м/с, $a_p = 0$ м/с²;

б) $v_{ц} = 0$ м/с, $a_p = 80$ м/с²;

Таблица 9. Результаты измерений при $v_{ц} = 0$ м/с, $a_p = 80$ м/с²

Тип входного возмущения	а)	б)	c_v
Конечный промах, м	0,14	0,28	0,01
	0,21	0,14	1
	0,28	0,01	100
Среднеквадратическое ускорение, м	34,63	69,25	0,01
	36,03	72,06	1
	39,80	79,70	100



Рисунок 10 – графики ошибки по скорости Δv для $c_v = 0,01; 1; 100$ для типа входного возмущения а)



Рисунок 11 – графики ошибки по скорости Δv для $c_v = 0,01; 1; 100$ для типа входного возмущения б)

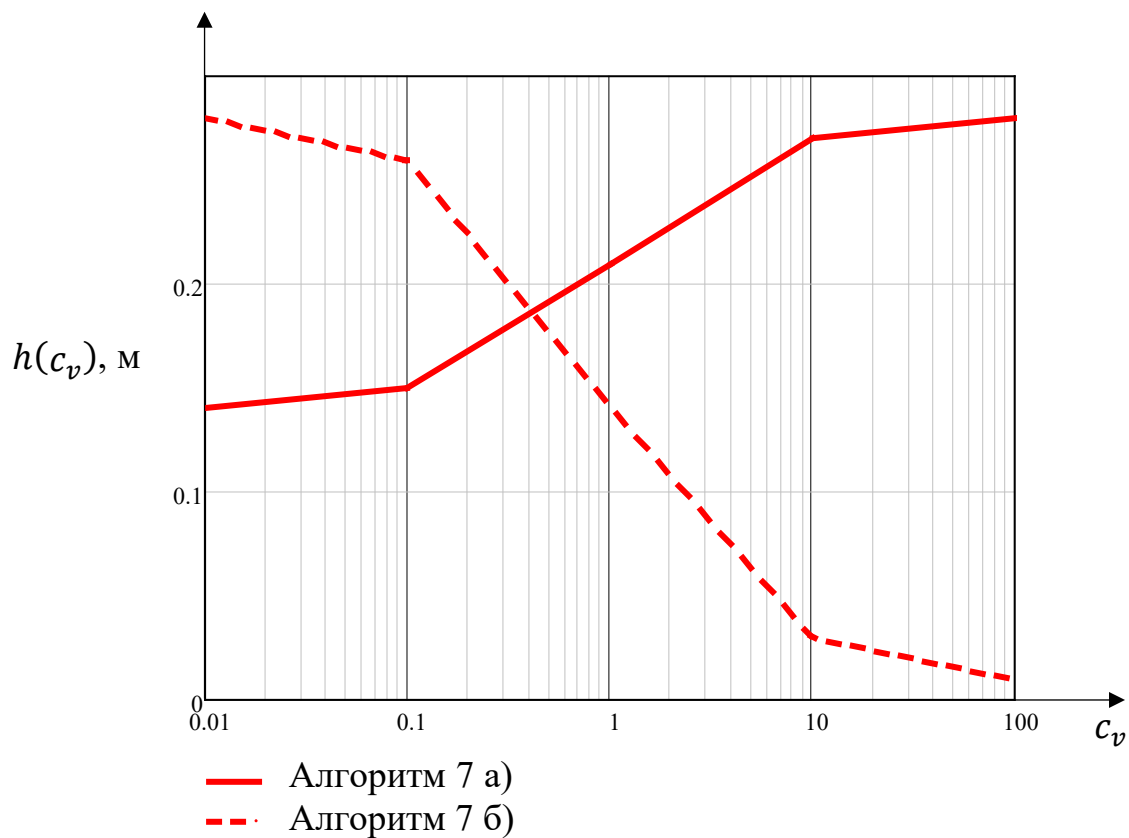


Рисунок 12 – зависимости конечного промаха от c_v

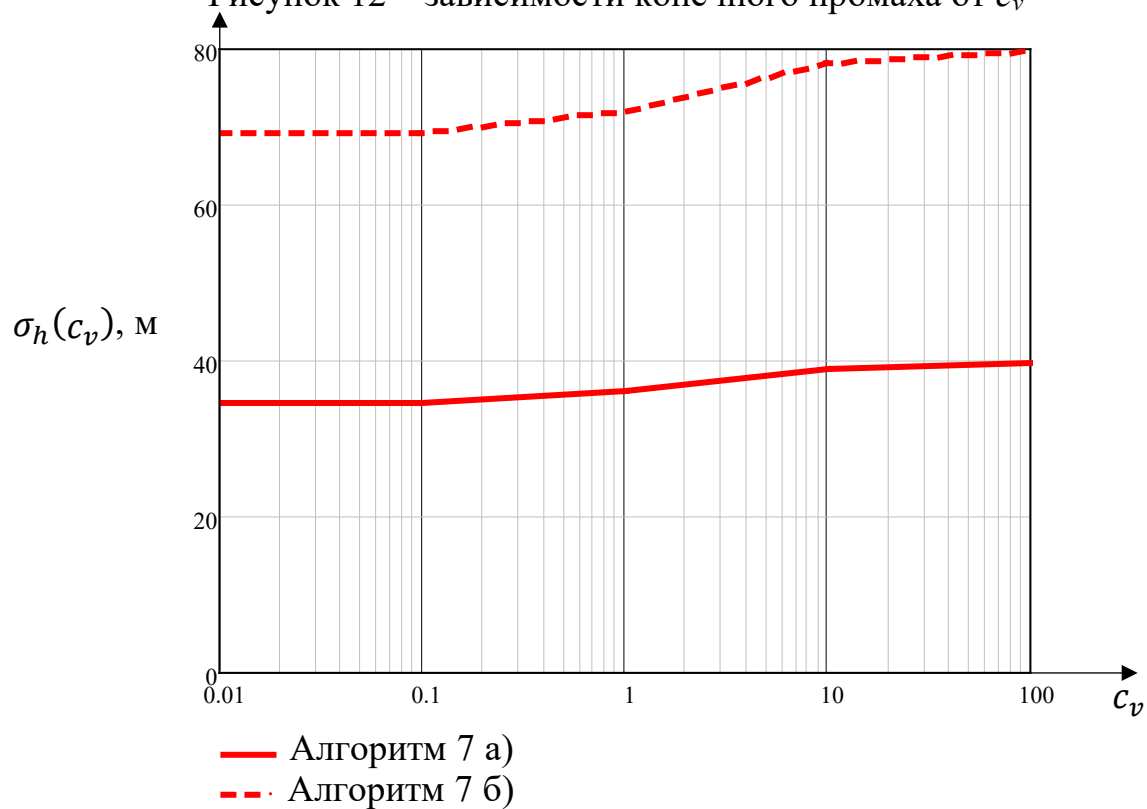


Рисунок 13 – зависимости среднеквадратического ускорения от c_v

Вывод: значение конечного промаха с увеличением c_v для типа входного воздействия а) увеличивается, а для типа б) – уменьшается. Значения среднеквадратического ускорения с увеличением c_v в обоих случаях растет.