

09, сентябрь 2015

УДК 621.376.32

Моделирование работы автономного устройства фиксации высоты

Кичигин А. А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»*

Научный руководитель: Глазков В.В., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»
kafsm5@bmstu.ru*

В данной работе проводится разработка математической модели автономного устройства фиксации высоты, которое используется в высокоскоростных малоразмерных летающих объектах. Устройство должно удовлетворять следующим требованиям:

- 1) высота фиксации $R = 6$ м;
- 2) погрешность фиксации менее 1 м.

В качестве зондирующего колебания используется линейная частотная модуляция (ЛЧМ) сигнала, с помощью которой удастся достичь высокого разрешения по дальности и скорости.

На принятие решение системой оказывают значительное влияние следующие факторы:

- шум на входе приемника, характеризуется отношением сигнал/шум (ОСШ);
- паразитная амплитудная модуляция (ПАМ) ЛЧМ колебания, которая возникает вследствие неравномерности модуляционной характеристики и искажений в тракте передачи сигнала;
- сигнал просачивания, который возникает из-за конечной развязки между приемной и передающей антеннами;
- наличие обратного хода модуляционного напряжения $T_{обр}$.

В процессе моделирования нужно изучить их влияние и определить предельные значения, при которых сохраняется работоспособность системы.

Используя информацию о подлете высокоскоростного малоразмерного объекта к поверхности земли (рис. 1) в [1] вычисляются необходимые параметры устройства (табл. 1).

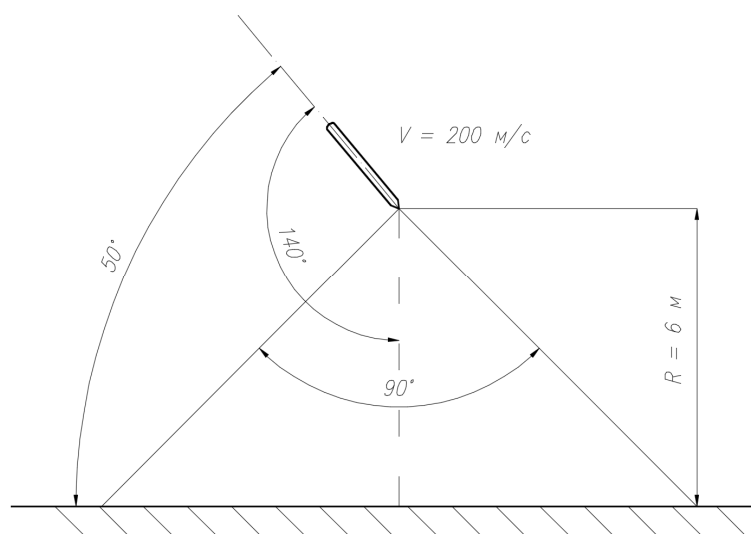


Рис. 1. Параметры подлета высокоскоростного малоразмерного объекта к поверхности

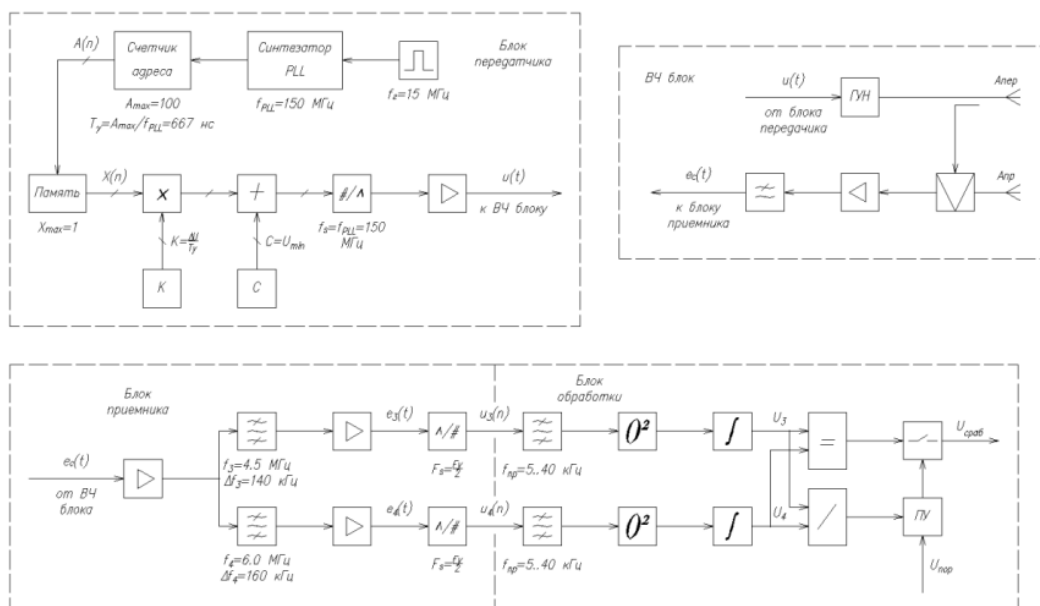
Таблица 1

Основные параметры автономного устройства фиксации высоты

Название параметра	Значение параметра
Ослабление зондирующего сигнала	– 62 дБ
Диапазон доплеровских частот	от 3 до 32 кГц
Период модуляции	667 нс
Частоты рабочих гармоник	4,5 и 6,0 МГц
Девияция частоты ЛЧМ сигнала	87,5 МГц

Автономное устройство фиксации высоты можно состоит из следующих функциональных узлов (рис 2):

- 1) ВЧ блок;
- 2) блок передатчика;
- 3) блок приемника;
- 4) блок обработки.



Блок передатчика должен формировать модуляционное напряжение (пилообразное напряжение) и подавать его на ВЧ блок. ВЧ блок генерирует ЛЧМ колебание и излучает его, затем принимает эхо-сигнал, выделяет сигнал разностной частоты и передает его в блок приемника. Блок приемника принимает сигнал от ВЧ блока и выделяет рабочие гармоники и передает их в блок обработки. Блок обработки выделяет амплитуды гармоник и сравнивает их между собой, он также содержит запирающий канал.

$$B_m = \left| \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{R}{\Delta R} - m \right) \right]}{\pi \left(\frac{R}{\Delta R} - m \right)} \right|, \quad (1)$$

Для обеспечения функции селекции по дальности с большой крутизной, используется многоканальная обработка. Она заключается в следующем: выделяются две соседние гармоники сигнала разностной частоты и сравниваются между собой. По мере уменьшения расстояния до поверхности амплитуда старшей гармоники будет

уменьшаться, а младшей – увеличиваться. При достижении необходимого расстояния R они становятся равными, и требуемая высота фиксируется (рис. 3).

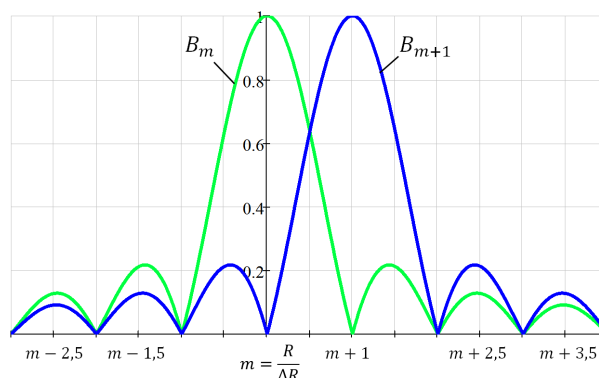


Рис. 3. Зависимость амплитуд соседних гармоник от расстояния

Для математического моделирования автономного устройства фиксации высоты используется программа Systemvue [3]. В математической модели, кроме функциональных узлов устройства, добавятся (рис. 4):

- блок отражения от поверхности;
- блок полосовой помехи.

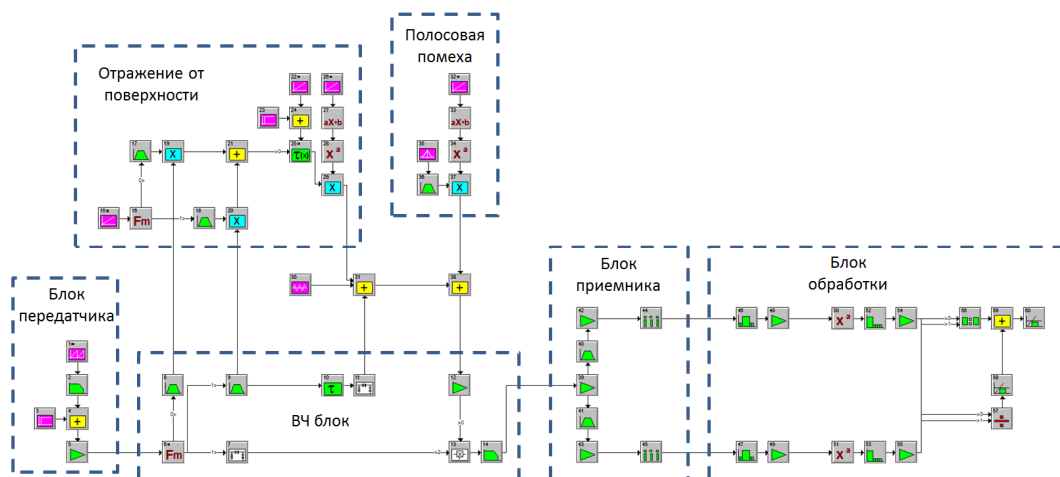


Рис. 4. Модель автономного устройства фиксации высоты в Systemvue

Блок отражения от поверхности моделирует ослабление ЛЧМ сигнала, его запаздывание и Доплеровское смещение. Блок полосовой помехи моделирует наличие шума на входе приёмной антенны.

В качестве результатов моделирования используются следующие контрольные точки:

- 1) спектр сигнала разностной частоты на выходе ВЧ блока (Token 14 рис. 4);
- 2) амплитуды третьей и четвертой гармоник сигнала разностной частоты в блоке обработки (Token 54, 55 рис. 4);
- 3) сигнал фиксации – выход блока обработки (Token 60 рис. 4).

Спектр сигнала разностной частоты на выходе ВЧ блока при расстоянии между снарядом и поверхностью земли равным шести метрам, приведен на рис. 5.

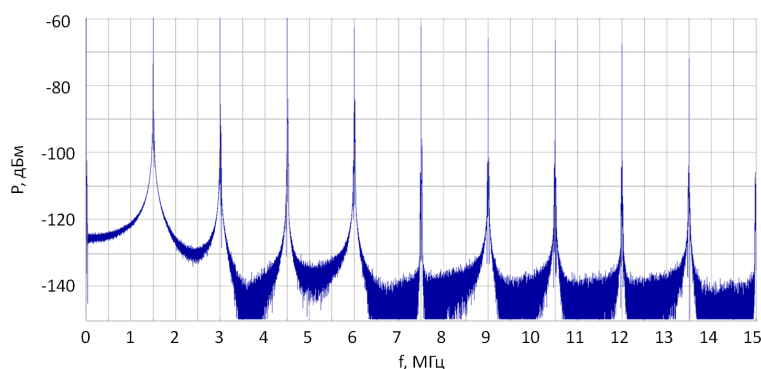


Рис. 5. Спектр сигнала разностной частоты

Анализ спектра показал, что он содержит только частоты, кратные частоте модуляции. Причем полезный сигнал должен быть смещен на спектр Доплера. Чтобы его увидеть отобразим только диапазон рабочих частот от 4 МГц до 6,5 МГц (рис. 6).

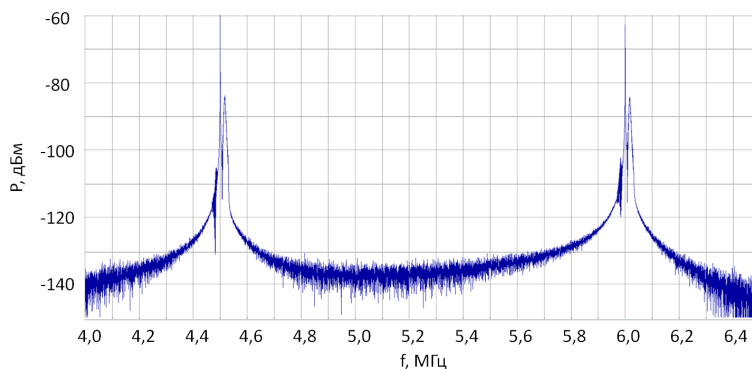


Рис. 6. Спектр сигнала разностной частоты в диапазоне рабочих гармоник

Полезная составляющая смещена, а на частоте кратной частоте модуляции выделяется паразитная составляющая (сигнал развязки и ПАМ). Полезные составляющие третьей и четвертой гармоник практически равны при требуемом расстоянии в шесть

метров. Спектр сигнал полезной составляющей имеет колоколообразную форму и диапазон частот от 3 кГц до 32 кГц.

При полноценном моделировании устройства с параметрами ОСШ = 0 дБ, $T_{обр} = 50$ нс, Развязка = 54 дБ получены следующие результаты рис 7.

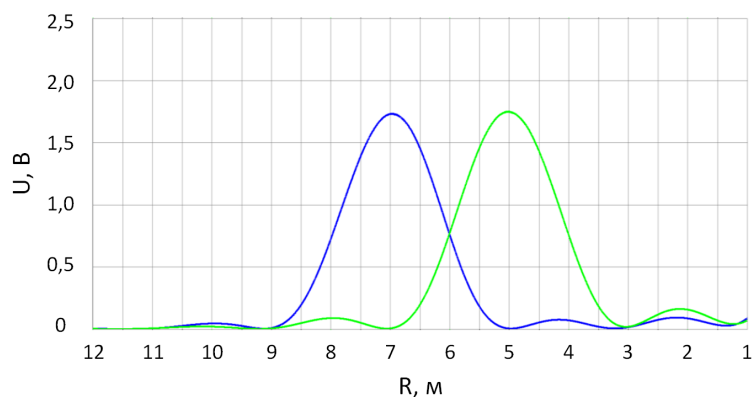


Рис. 7. Амплитуды гармоник (— 3-я, — 4-я)

Амплитуды гармоник соответствуют рис. 3. Они становятся равными на требуемом расстоянии шесть метров.

Далее исследуется влияние шума на входе приемника, наличие ПАМ, сигнала просачивания и обратного хода модуляционного пилообразного напряжения $T_{обр}$. Результаты приведены на рис. 8-15.

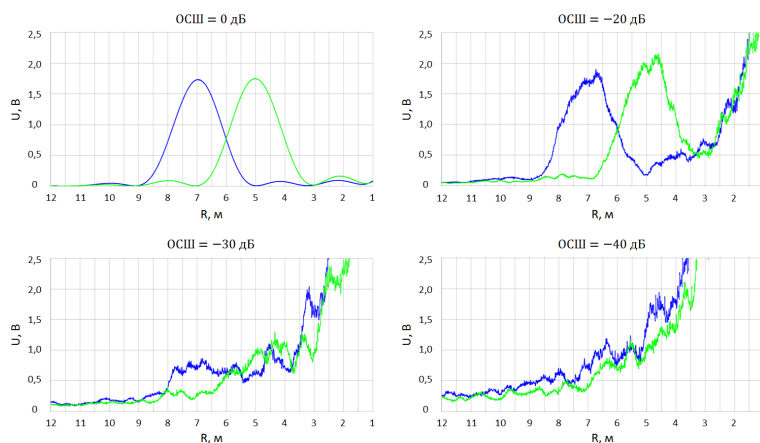


Рис. 8. Влияние шума на амплитуды гармоник (— 3-я, — 4-я)

При уменьшении ОСШ зависимость амплитуд от расстояния искажается, и сами амплитуды сливаются, что может вызвать ложные срабатывания на расстояниях больших требуемого.

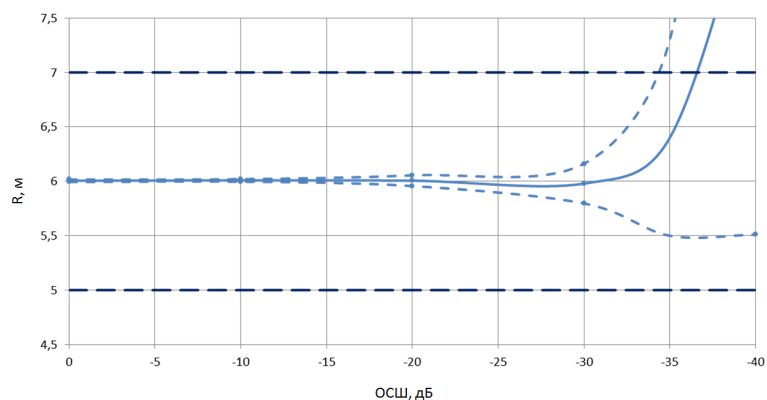


Рис. 9. Зависимость оценки расстояния от ОСШ

(— среднее значение, - - - отклонение)

При низком ОСШ увеличивается разброс фиксируемого расстояния, и происходят ложные срабатывания. Система работает с приемлемой погрешностью при ОСШ выше минус 30 дБ, поэтому предлагаемое автономное устройство фиксации высоты обладает высокой помехозащищенностью.

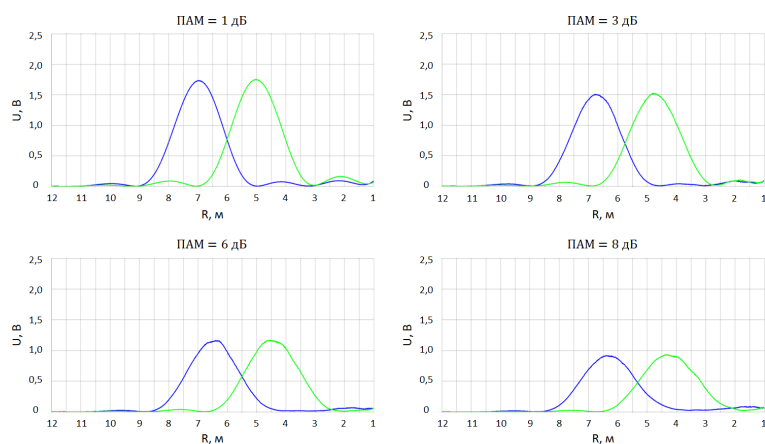


Рис. 10. Влияние ПАМ на амплитуды гармоник (— 3-я, — 4-я)

Увеличение ПАМ приводит к уменьшению размаха амплитуд, что приведет к уменьшению помехозащищенности системы, также точка пересечения смещается в сторону более малых расстояний, поэтому появится систематическая погрешность измерения.

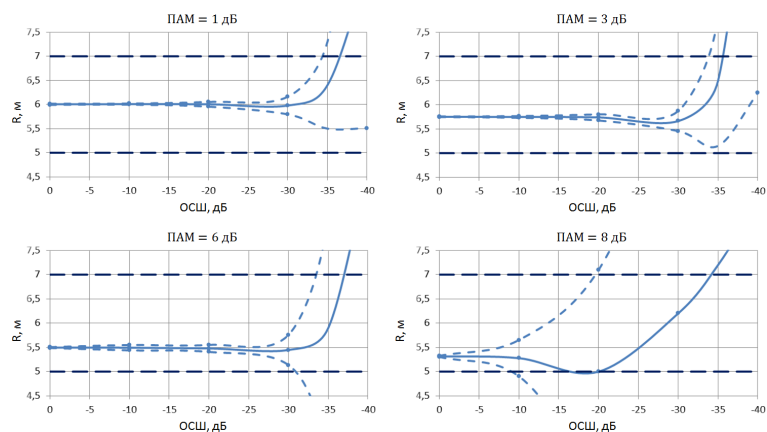


Рис. 11. Оценка расстояния при различных значениях ПАМ

(— среднее значение, ---- отклонение)

Высокий уровень ПАМ увеличивает разброс фиксации расстояния и приводит к систематической погрешности. Приемлемым значением ПАМ является менее 6 дБ.

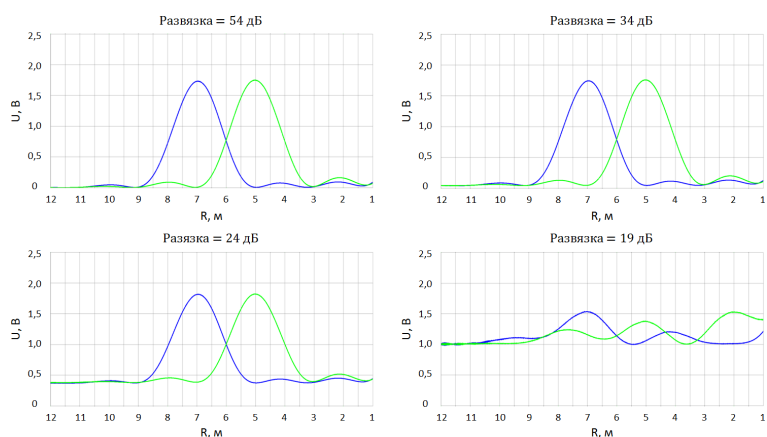


Рис. 12. Влияние сигнала просачивания на амплитуды гармоник (— 3-я, — 4-я)

Уменьшение развязки между антеннами уменьшает размах гармоник, что приведет к уменьшению помехозащищенности, также появляется постоянная составляющая и запирающий канал может не сработать, что приведет к отказу системы.

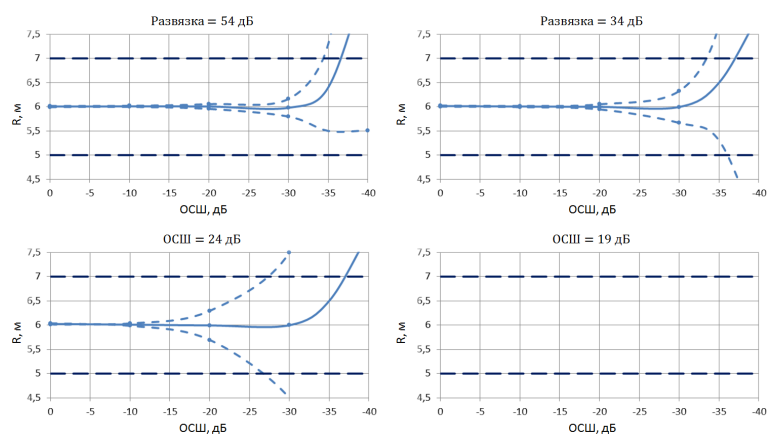


Рис. 13. Оценка расстояния при различных значениях развязки
(— среднее значение, ---- отклонение)

Малая развязка между приемной и передающей антеннами приводит к увеличению разброса срабатывания, а при значении 19 дБ система не срабатывает. Приемлемым значением развязки является более 34 дБ.

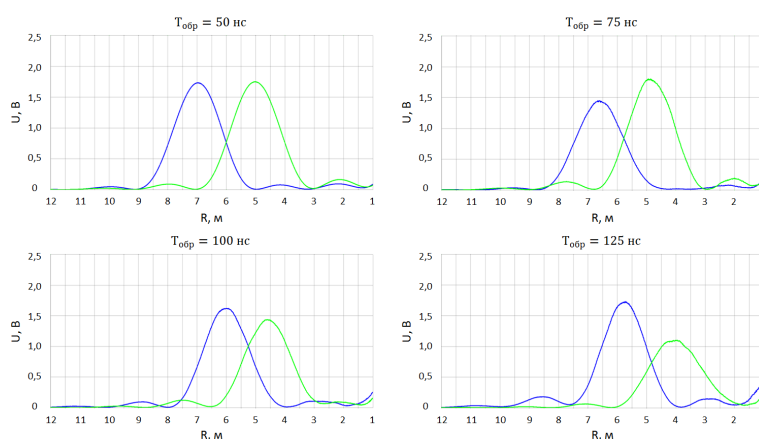


Рис. 14. Влияние $T_{обр}$ на амплитуды гармоник (— 3-я, — 4-я)

Увеличение длительность обратного хода модуляционного напряжения приводит к изменению соотношения между гармониками, что уменьшит помехозащищенность, также точка пересечения смещается в сторону меньших расстояний, что приведет к систематической ошибке.

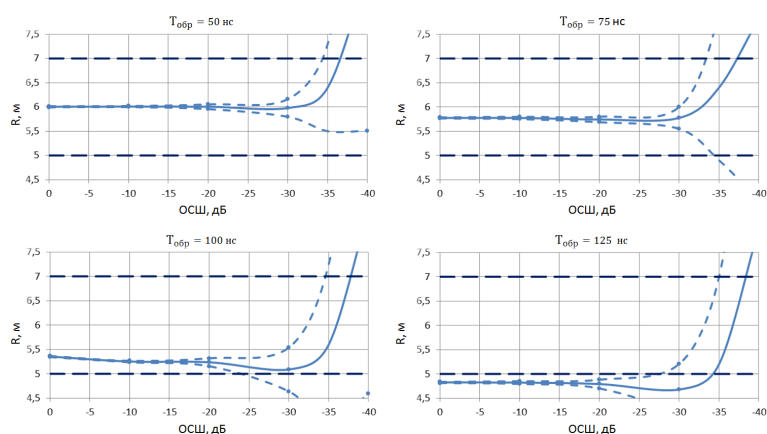


Рис. 15. Оценка расстояния при различных значениях $T_{обр}$

(— среднее значение, ---- отклонение)

Большое значение $T_{обр}$ приводит к значительной систематической ошибке и незначительному увеличению разброса. Приемлемым значением является менее 100 нс.

Полученные допустимые значения шума на входе приемника, паразитных составляющих сигнала (ПАМ и сигнал просачивания), а также обратного хода модуляционного напряжения составляют:

- 1) $ОСШ > -30$ дБ;
- 2) $ПАМ < 6$ дБ;
- 3) Развязка > 34 дБ;
- 4) $T_{обр} < 100$ нс.

Таким образом, предложенное автономное устройство фиксации высоты, обладает высокой помехозащищенностью и низкими требованиями к тракту системы.

Список литературы

1. Справочник по радиолокации / под. ред. М.И. Сколника В 2 кн. Кн. 1. М.: Техносфера, 2014. 672 с.
2. Климашев Б.М., Петров И.П. Устройства ближней локации с непрерывными сигналами. Куйбышев: Куйбышевский политехнический институт им. В.В. Куйбышева, 1974. 51 с.
3. Разевиг В.Д., Лаврентьев Г.В., Златин И.Л. SystemView – средство системного проектирования радиоэлектронных устройств / под ред. В.Д. Разевига. Изд-во: Горячая Линия – Телеком, 2002. 352 с.