
УДК 621.391

Модель ошибки в каналах связи автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения

Шавин А.С.

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197082, Россия

e-mail: shavin88@mail.ru

Аннотация

В статье представлена вероятностная модель искажения информации в каналах связи автоматизированных систем подготовки и пуска. Предложена математическая модель помехи в виде комбинации аддитивного белого гауссового шума и случайной импульсной помехи. Разработанная модель отражает зависимость вероятности искажения одного символа от параметров канала связи и параметров помех.

Ключевые слова: автоматизированная система подготовки и пуска, последовательный интерфейс, вероятность искажения одного символа, аддитивный белый гауссовый шум, импульсная помеха.

1. Введение

Современные автоматизированные системы подготовки и пуска ракет космического назначения (АСПП РКН) необходимо рассматривать как совокупность взаимосвязанных между собой технических средств связи и автоматизации, предназначенных для согласованной работы по выполнению задач управления технологическим процессом подготовки и пуска РКН. При проведении подготовки и пуска

РКН обмен информационными сигналами между АСУ (автоматизированной системой управления) и бортовой аппаратурой (БА) происходит в цифровом виде по экранированным проводным линиям. В технических заданиях на современные АСПП РКН отсутствуют требования по помехоустойчивости каналов связи и достоверности передачи информации. Для формирования и обоснования соответствующих требований необходима разработка математических моделей каналов связи. Ключевым параметром для оценки помехоустойчивости цифровых систем передачи данных является вероятность искажения одного символа – P_e .

Последовательный интерфейс RS-485 активно применяется в промышленной автоматизации и используется для связи со смежными подсистемами и БА в АСПП РКН «Союз-2», в автоматизированной системе управления подготовкой ракеты-носителя (АСУП РН) «Ангара». RS-485 – рекомендованный стандарт передачи данных по двухпроводному полудуплексному многоточечному последовательному симметричному каналу связи [1].

Интерфейс RS-485 характеризуется следующими особенностями:

- для приема/передачи данных используются два равнозначных сигнальных провода, провода обозначаются латинскими буквами «A» и «B»;
- последовательный обмен данными идет в обоих направлениях (поочередно);
- на выходе приемопередатчика изменяется разность потенциалов, при передаче «1» разность потенциалов между сигнальными проводами «A» и «B» положительная, при передаче «0» разность потенциалов отрицательная. На рис. 1 представлена форма сигнала интерфейса RS-485. На рис. 1 обозначены U_{ab} – разность по-

тенциалов между проводами «А» и «В»; V – амплитуда выходного сигнала; y , $-y$ – верхняя и нижняя границы зоны нечувствительности интерфейса RS-485;

– если дифференциальный уровень сигнала между контактами «А» и «В» не превышает ± 200 мВ, то считается, что сигнал в линии отсутствует (числовые значения могут отличаться в зависимости от стандартизации). На рис. 1 представлен принцип формирования дискретных символов «0» и «1»;

В системах передачи информации передаваемые сигналы претерпевают различные нежелательные изменения, в результате которых выходной сигнал отличается от входного и сообщения воспроизводятся с ошибками. Случайные изменения сигнала обусловлены помехами. В реальных каналах многие из помех действуют одновременно, что затрудняет анализ процесса передачи сигналов и для его облегчения пользуются упрощенными моделями [2]. Однако, построение математических моделей ошибок в каналах связи (адекватных реальным условиям), которые обладают определенной универсальностью к типам каналов и описываются малым числом параметров, а также допускают экспериментальную проверку, представляет собой актуальную задачу [2].

В каналах связи АСПП РКН, с учетом условий эксплуатации и особенностей аппаратной реализации, имеют место аддитивные помехи: флуктуационные и импульсные.

Флуктуационные помехи порождаются различного рода флуктуациями, т.е. случайными отклонениями значений физических величин от их средних значений. Сумма большого числа любых помех от различных источников также имеет флуктуационный характер [3]. Флуктуационная помеха часто представляется нормаль-

ным или гауссовским распределением, так как является суммой большого числа независимых колебаний. А в соответствии с предельной теоремой теории вероятности закон распределения суммы случайных величин приближается к нормальному [4].

Импульсные помехи (ИП) представляют собой последовательность импульсов случайной амплитуды, длительности и со случайными моментами появления отдельных импульсов [5]. Источниками ИП могут быть наводки от силовых цепей переменного тока, работа электроприводов, контакторов.

Предлагается рассмотреть канал с фоновым аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ) и случайной ИП. Совместная помеха определяется выражением:

$$z(t) = n(t) + \gamma(t), \quad (1)$$

где $n(t)$ – фоновый гауссов шум, $\gamma(t)$ – ИП.

Согласно модели Шейфера, Хэтфилда и Ханга: $\gamma(t)$ – случайный процесс, описывающий импульсный шум, который представляется в виде цепи Маркова с двумя состояниями « a » и « b »: $\gamma(t) = 0$, с вероятностью $p(a)$; $\gamma(t) = n_1(t)$, с вероятностью $p(b)$ [6], где $n_1(t)$ – амплитуда ИП, изменяющаяся по нормальному закону распределения.

В известной модели Миддлтона моменты появления импульсов подчиняются пуассоновскому распределению, а источники ИП независимы как по пространству, так и по времени [6].

Таким образом, наиболее адекватной моделью изучения искажения информации в каналах связи АСПП РКН представляется модель в виде комбинации АБГШ и

случайной ИП, амплитуда которой изменяется по нормальному закону, а моменты появления импульсов – по закону Пуассона.

2. Моделирование процесса передачи информации

Рассмотрим процесс передачи информации по каналу RS-485 как совокупность несовместных событий:

– событие S_1 – событие, заключающееся в появлении «1» на приемной стороне, т.е. $U_{ab} > y$ (рис. 1);

– событие S_0 – событие, заключающееся в появлении «0» на приемной стороне, т.е. $U_{ab} < -y$ (рис. 1);

– событие $S_{o.c}$ – событие, заключающееся в отсутствии сигнала на приемной стороне, т.е. $-y < U_{ab} < y$ (рис. 1).

$P(1), P(0), P(o.c)$ – вероятности перечисленных событий.

Мгновенная амплитуда суммарного шума – z . Следовательно, событие S_z – событие, заключающееся в появлении в канале связи аддитивной совместной помехи с мгновенной амплитудой z .

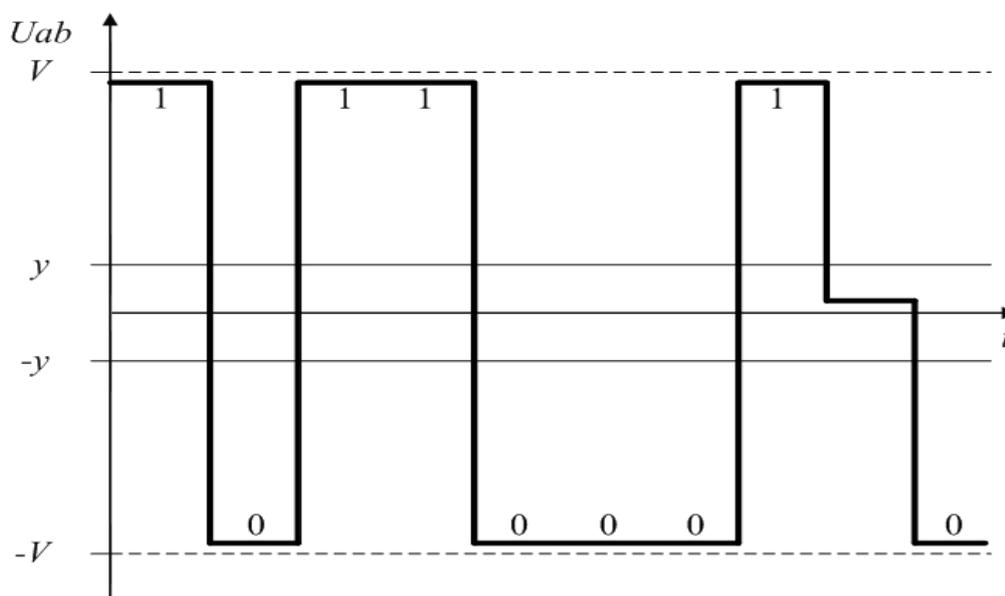


Рис. 1. Форма сигнала интерфейса RS-485

Передаваемый сигнал подвергается искажающему воздействию совместной помехи, вследствие чего, согласно особенностям интерфейса RS-485 (рис. 1), возможны следующие комбинации искажений передаваемых символов:

$$\text{искажение «1»} \begin{cases} 1 \rightarrow 0, & \text{если } z < -V - y, \\ 1 \rightarrow \text{о.с.}, & \text{если } -V - y \leq z \leq -V + y; \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{искажение «0»} \begin{cases} 0 \rightarrow 1, & \text{если } z > V + y, \\ 0 \rightarrow \text{о.с.}, & \text{если } V + y \geq z \geq V - y, \end{cases}$$

где о.с. – условное обозначение отсутствия сигнала на приемной стороне.

Так как помеха имеет аддитивный характер, искажения символов возможны при условии, что мгновенная амплитуда помехи примет значения из определенных интервалов, которые представлены на рис. 2.

Событие S_z может происходить с одним из несовместных событий $S_1, S_0, S_{\text{о.с.}}$.

Далее определим условные вероятности или вероятности искажений:

– $P\{S_z / S_1\} = P\{z > V + y\}$ – условная вероятность появления помехи при условии, что произошло событие S_1 (рис. 2);

– $P\{S_z / S_0\} = P\{z < -V - y\}$ – условная вероятность появления помехи при условии, что произошло событие S_0 (рис. 2);

– $P_0\{S_z / S_{\text{о.с.}}\} = P\{V - y < z < V + y\}$ – условная вероятность появления помехи при условии, что произошло событие $S_{\text{о.с.}}$ (рис. 2);

– $P_1\{S_z / S_{\text{о.с.}}\} = P\{-V - y < z < -V + y\}$ – условная вероятность появления помехи при условии, что произошло событие $S_{\text{о.с.}}$ (рис. 2).

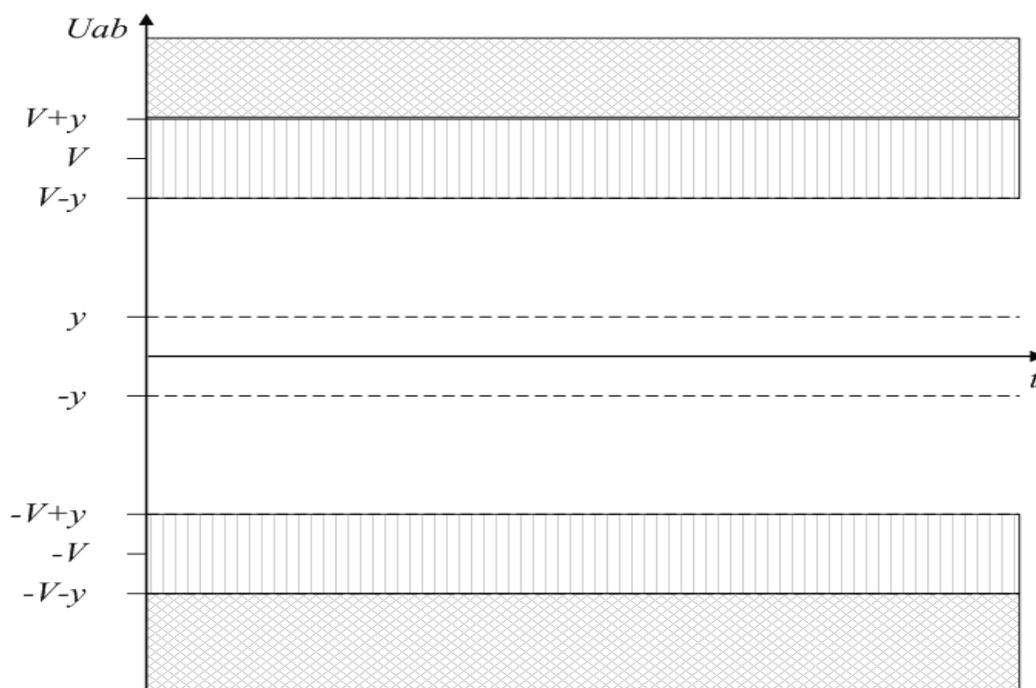


Рис. 2. Интервалы значений мгновенной амплитуды z

Далее по формуле полной вероятности определим вероятность искажения одного символа:

$$P_e(z) = P(0)P\{z < -V - y\} + P(1)P\{z > V + y\} + P(\text{о. с.})P\{-V - y < z < -V + y\} + P(\text{о. с.})P\{V - y < z < V + y\}. \quad (3)$$

Будем считать, что для суммарной помехи положительные и отрицательные мгновенные значения встречаются одинаково часто [3], поэтому математическое ожидание $m = 0$. Следовательно, выражение (2) примет вид:

$$P_e(z) = (P(0) + P(1))P\{z > V + y\} + 2P(\text{о. с.})P\{V - y < z < V + y\}. \quad (4)$$

3. Разработка вероятностной модели помех в канале связи

Рассмотрим действия помех в канале связи, как распределения двумерных случайных величин (СВ): $(N_{\text{АБГШ}}, T_{\text{АБГШ}})$ – для АБГШ и $(N_{\text{ИП}}, T_{\text{ИП}})$ – для ИП. Двухмерная СВ – совокупность двух одномерных величин, которые принимают значения

в результате проведения одного и того же опыта. Двухмерная функция распределения двухмерной СВ равна вероятности совместного выполнения двух событий. Первая СВ N – это мгновенная амплитуда помехи, вторая СВ T – это моменты времени появления помехи. Одномерные СВ, составляющие двухмерную СВ совместны и независимы. АБГШ является фоновым шумом и действует постоянно. ИП действует в моменты времени согласно закону Пуассона.

Моделируя события появления помех, каждому событию отведем область на оси Op размером, совпадающим с вероятностью события (рис. 3). На рис. 3 обозначены: $P(T_{\text{АБГШ}})$ – вероятность появления АБГШ, $P(T_{\text{ИП}})$ – вероятность появления ИП, $P(T_{\text{АБГШ}}\bar{T}_{\text{ИП}})$ – вероятность появления АБГШ без ИП, $P(T_{\text{АБГШ}}T_{\text{ИП}})$ – вероятность совместного появления АБГШ и ИП.

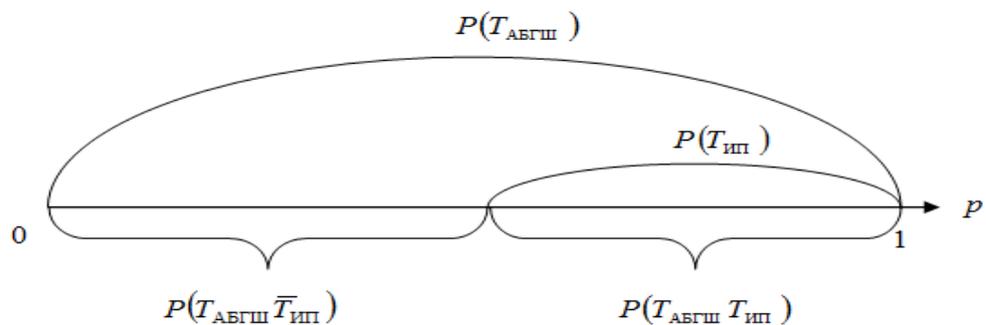


Рис. 3. Схема моделирования совместных событий

Моделируя помехи как двухмерные СВ, запишем двухмерную плотность распределения для ИП:

$$f_{\text{ИП}} = f_{\text{ИП}}(n_{\text{ИП}})f_{\text{ИП}}(t_{\text{ИП}}),$$

$$f_{\text{ИП}} = \varphi(n_1; m, \sigma_1)\phi(x; \mu),$$

где $\varphi(n_1; m, \sigma_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{(n_1 - m)^2}{2\sigma_1^2}}$ – плотность распределения нормального закона;

$\phi(x; \mu) = e^{-\mu} \frac{\mu^x}{x!}$, – вероятность того, что событие осуществится x раз (рас-

пределение Пуассона) [4].

$$\mu = \lambda \tau;$$

λ – средняя частота следования импульсов;

τ – длительность информационного сигнала;

σ_1 – среднеквадратическое отклонение амплитуды ИП;

x – кратность появления импульса помехи (для модели вероятности искажения одного символа $x = 1$).

Запишем двумерную плотность распределения для АБГШ:

$$f_{\text{АБГШ}} = f_{\text{АБГШ}}(n_{\text{АБГШ}}) f_{\text{АБГШ}}(t_{\text{АБГШ}}),$$

$$f_{\text{АБГШ}} = \varphi(n; m, \sigma) (1 - \phi(x; \mu)),$$

где σ – среднеквадратическое отклонение амплитуды АБГШ.

Далее необходимо определить закон распределения амплитуды суммарной помехи. Согласно выражению (1) СВ z является суммой двух независимых СВ, следовательно закон распределения z будет представлять собой композицию законов распределения слагаемых [4]. Для непрерывных и независимых СВ композиция плотностей распределения находится с помощью операции свертки:

$$f_z = f_{\text{АБГШ}} * f_{\text{ИП}}.$$

СВ n и n_1 распределяются по нормальному закону. Нормальный закон распределения является устойчивым, т.е. обладает теми же свойствами, что и его композиция [4]. Таким образом, композиция плотностей распределения примет вид:

$$f_z = \phi(x; \mu)(1 - \phi(x; \mu))\phi\left(z; m, \sqrt{\sigma^2 + \sigma_1^2}\right).$$

Определив плотность распределения для суммарной помехи z , можно переписать выражение (4), учитывая, что вероятность попадания нормально распределенной случайной величины в заданный интервал определяется с помощью интеграла Лапласа – Гаусса [4]:

$$P\{a < X < b\} = \Phi_0\left(\frac{b - m}{\sigma}\right) - \Phi_0\left(\frac{a - m}{\sigma}\right),$$

где $\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$,

$$P_e(\mu, \sigma, \sigma_1) = (P(0) + P(1))(\phi(x; \mu)(1 - \phi(x; \mu))) \left(1 - \Phi_0\left(\frac{V + y}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_1^2}}\right) \right) + 2P(\text{o.c.})(\phi(x; \mu)(1 - \phi(x; \mu))) \left(\Phi_0\left(\frac{V + y}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_1^2}}\right) - \Phi_0\left(\frac{V - y}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_1^2}}\right) \right). \quad (5)$$

Выражение (5) является вероятностной моделью искажения одного символа при передаче информации по последовательному интерфейсу RS-485. Модель отражает зависимость вероятности искажения одного символа P_e от характеристик помех и параметров интерфейса: V и y – параметры интерфейса; μ , σ и σ_1 – характеристики помех.

6. Заключение

Предложенный подход к моделированию является достаточно гибким, и применим для различных проводных каналов связи. Также возможно использование различных законов распределения для описания помех. Предложенная модель имеет удобную форму для дальнейшей модернизации, а так же для проверки ее адекватности на натурном или компьютерном эксперименте. Разработанная модель может быть использована при формировании требований к помехоустойчивости каналов связи АСПП РКН, а также для разработки рекомендаций по использованию помехоустойчивых кодов в АСПП РКН, так как достоверность информационного обмена обеспечивает устойчивость и непрерывность процессов управления подготовкой и пуском РКН.

Список используемых источников

1. RS-485 рекомендованный стандарт электрических характеристик генераторов и приемников для использования в балансных многоточечных системах. <http://www.softelectro.ru/rs485.html> (accessed 9.04.2014).
2. Буга Н.Н. Статистическая теория связи. / Н.Н.Буга, А.А.Казаков. – Ленинград: ВИКИ им.А.Ф.Можайского, 1979. – 341 с.
3. Поставной В.И. Теория передачи сигналов. – М.: МО СССР, 1985. – 264 с.
4. Справочник по вероятностным расчетам / Г.Г.Абезгауз, А.П.Третьяков, Ю.Н.Копенкин, И.А.Коровина.–М.: МО СССР, 1970.–536 с.
5. Тутевич В.Н. Телемеханика. – М.: «Энергия», 1973. – 384 с.
6. Важенин Н.А. Феноменологические модели импульсных помех от стационарных плазменных двигателей / Электронный журнал «Труды МАИ», 2013, № 66, <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=40277>