

**Разработка алгоритма фазовой  
синхронизации ГММС-сигнала с  
изменяющимся частотным сдвигом**

*Евгений Вадимович Дереча*

аспирант ОмГУ им. Ф.М. Достоевского,

младший научный сотрудник АО «ОНИИП»

Омск - 2018

## Введение

В настоящее время в системах доставки информации одну из ключевых позиций занимают спутниковые технологии, и круг задач, решаемых с использованием систем спутниковой связи (ССС), продолжает расширяться. При этом низкоорбитальные ССС позволяют значительно снизить требования к наземной аппаратуре за счет малых высот полета космических аппаратов, а также являются наиболее эффективными в районах с низкой плотностью населения, к которым можно отнести районы крайнего Севера.

Однако для обеспечения надёжной доставки информации необходимо решить ряд задач, возникающих в связи с искажениями радиосигнала в канале спутниковой связи. Одним из видов искажений в ССС, использующих в качестве спутников-ретрансляторов (СР) негеостационарные космические аппараты, является наличие постоянно изменяющегося частотного сдвига, вызванного эффектом Доплера. Наиболее сильно данный эффект проявляется в случае построения систем на основе низкоорбитальных СР. Это значительно усложняет решение задачи синхронизации в процессе обработки принимаемых сигналов при разработке радиостанций, обеспечивающих функционирование указанных систем. Несмотря на достаточно разработанные методы синхронизации сигналов в цифровой связи, всё ещё ведутся исследования в этой области [1].

## Цель

Целью данной работы является разработка алгоритма фазовой синхронизации ГММС-сигнала с изменяющимся частотным сдвигом применительно к низкоорбитальным ССС.

# Существующие алгоритмы

Существует ряд способов восстановления несущей сигнала на основе возведения в степень [2]. Одним из таких способов является 2P-степенной алгоритм [2]. Его обзор приведён в [3]. Там же показано, что данный алгоритм не справляется с синхронизацией при наличии ускорения или большого частотного сдвига. Ещё одним недостатком является необходимость в данном алгоритме предварительной тактовой синхронизации, так как точность тактовой синхронизации существенно влияет на работу данного алгоритма.

Также в работе [3] приведена схема, которая успешно справляется с вышеуказанной задачей синхронизации при наличии изменяющегося частотного сдвига. Однако и она обладает недостатком, связанным с необходимостью тактовой синхронизации.

Существует схема, не требующая в своей основе тактовой синхронизации. Она описана в [4 с. 90]. Данный алгоритм основан на возведении сигнала в степень.

# 1-ая реализация предлагаемого алгоритма

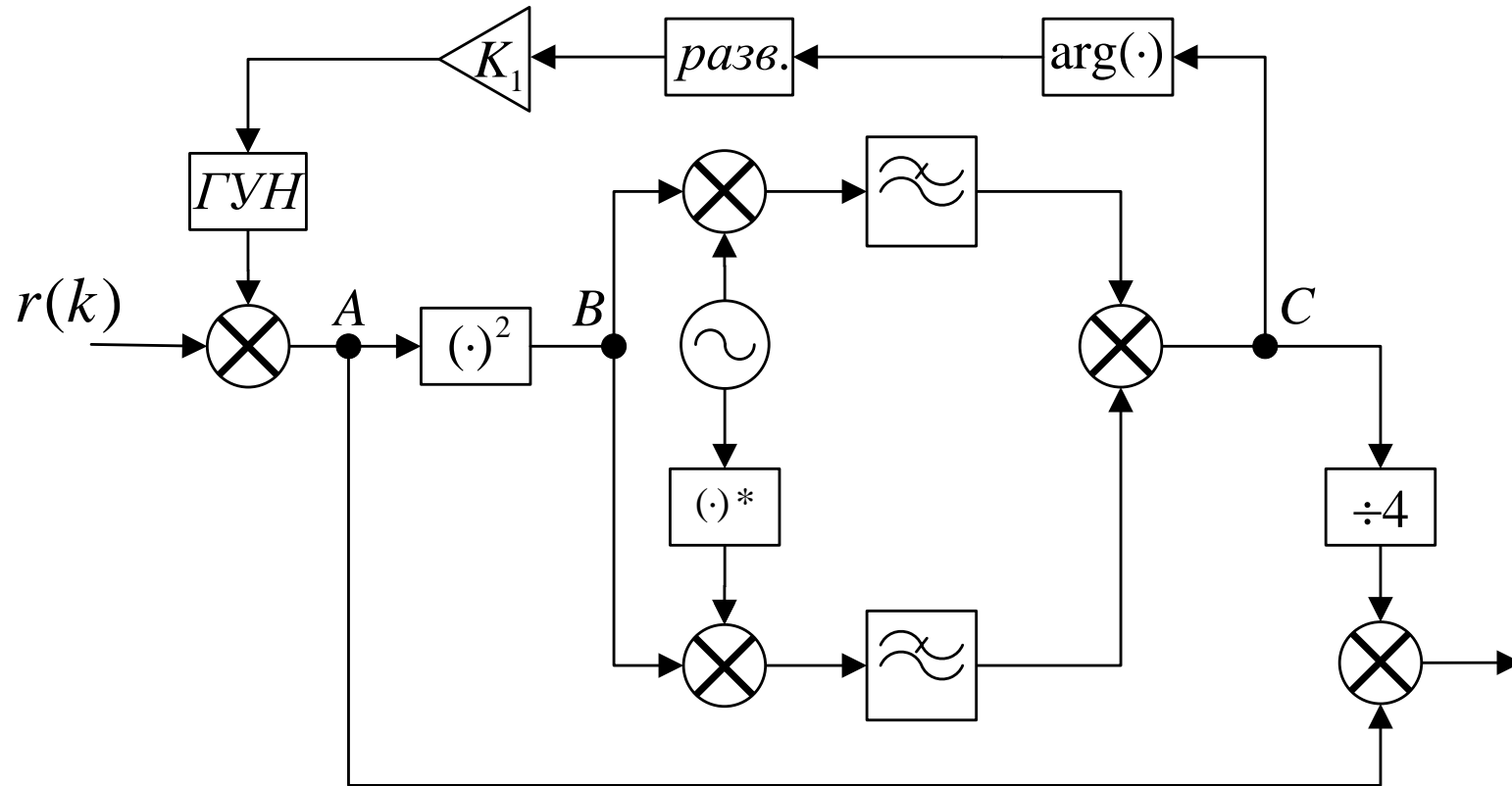
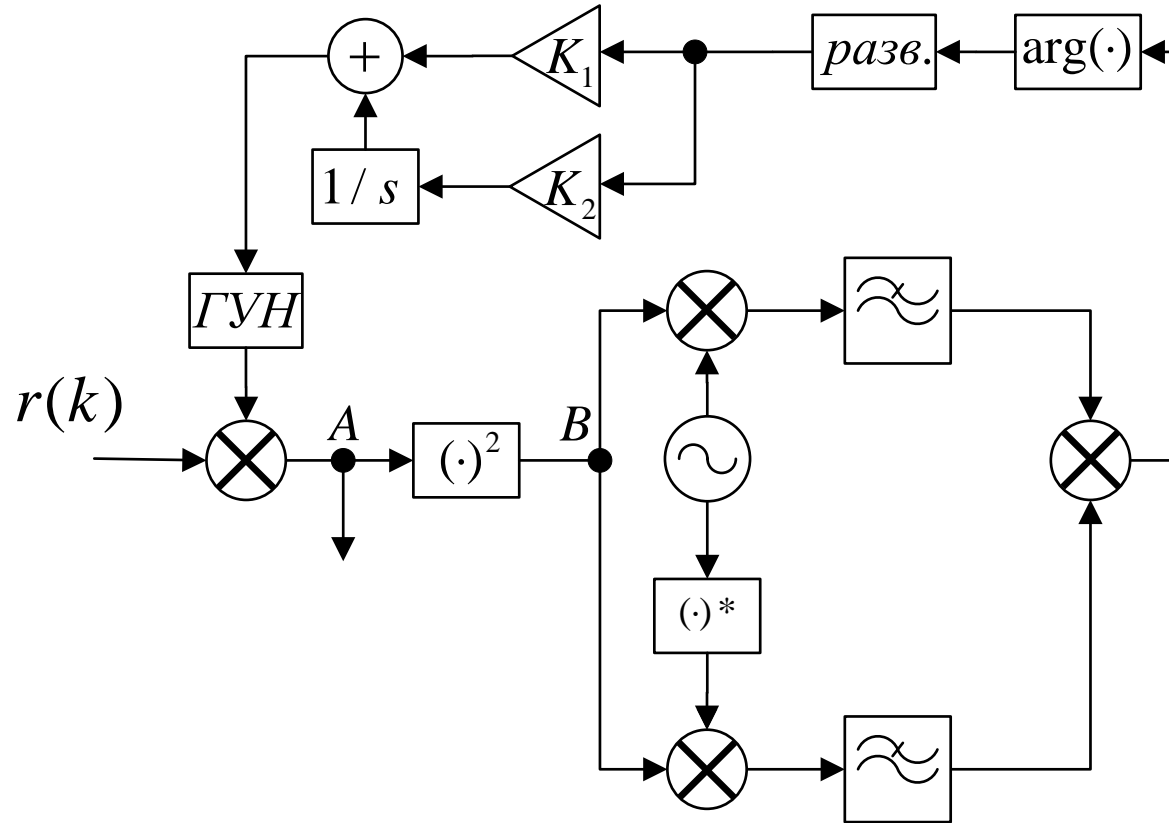


Рис. 1. Структурная схема предлагаемого алгоритма фазовой синхронизации

## 2-ая реализация предлагаемого алгоритма



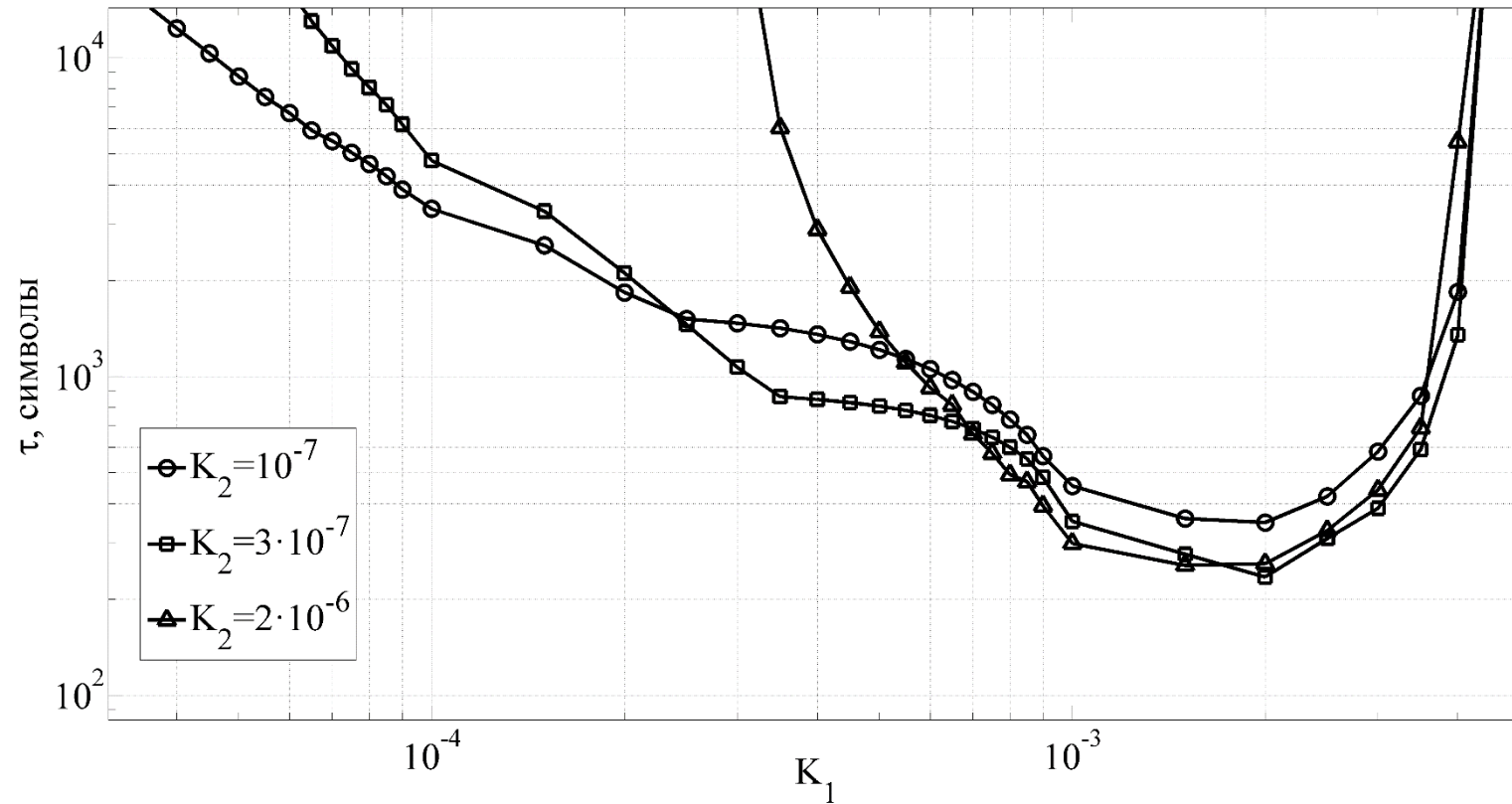
**Рис. 2.** Структурная схема 2-ой реализации предлагаемого алгоритма

# Моделирование

При рассмотрении замкнутых систем синхронизации исследуют переходные процессы. Одной из величин, описывающей переходный процесс является длительность переходного процесса или время регулирования  $\tau$ . Время регулирования  $\tau$  определяется как минимальное время, по истечении которого регулируемая величина  $s(t)$  будет оставаться близкой к установившемуся значению  $s_{уст}$  с заданной точностью  $\Delta$  [5]:

$$\left| s(t) - s_{уст} \right| \leq \Delta$$

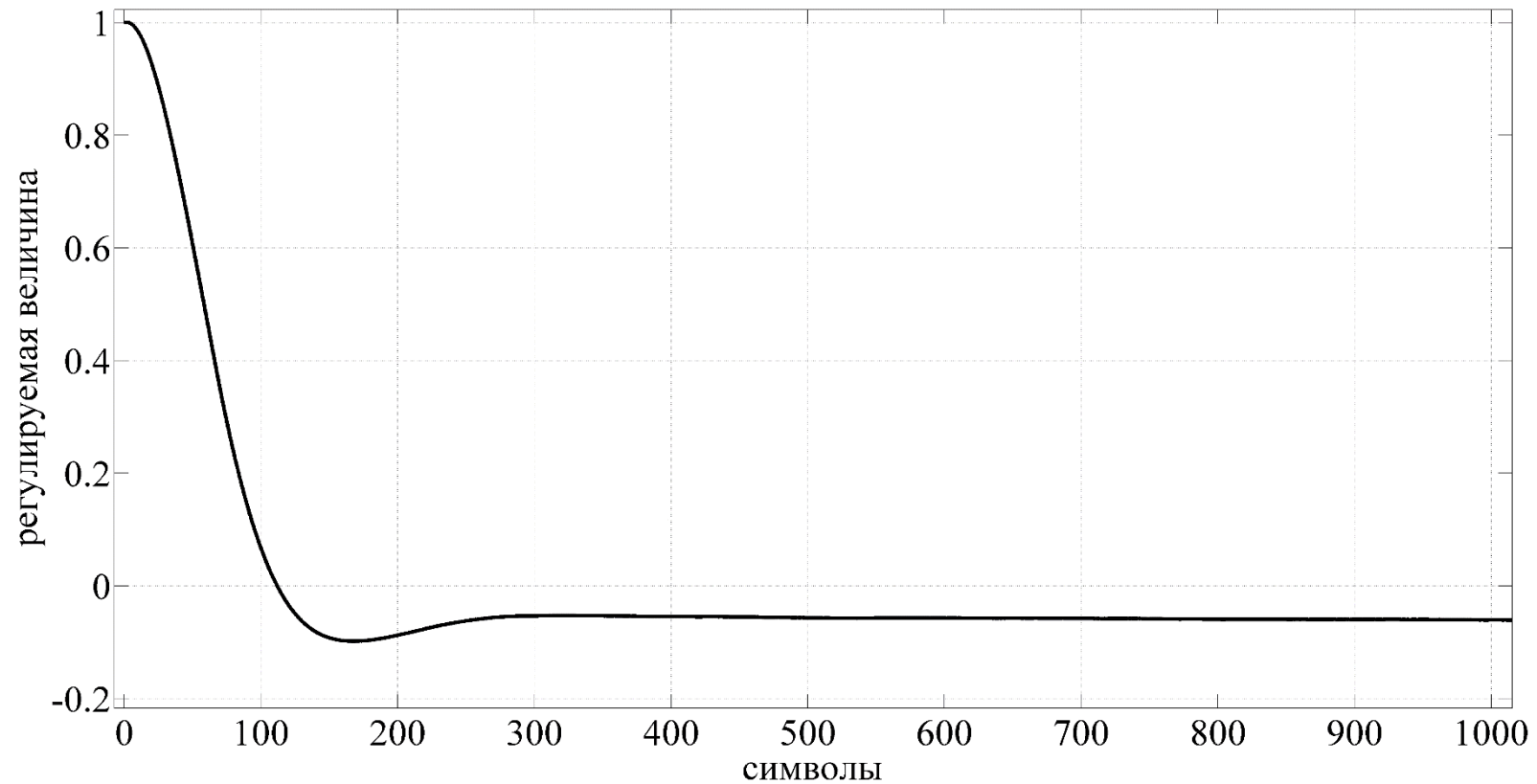
# Зависимость длительности переходного процесса от параметров для 2-ой реализации



**Рис. 3.** Зависимость длительности переходного процесса от к-та  $K_1$  при нескольких значениях  $K_2$

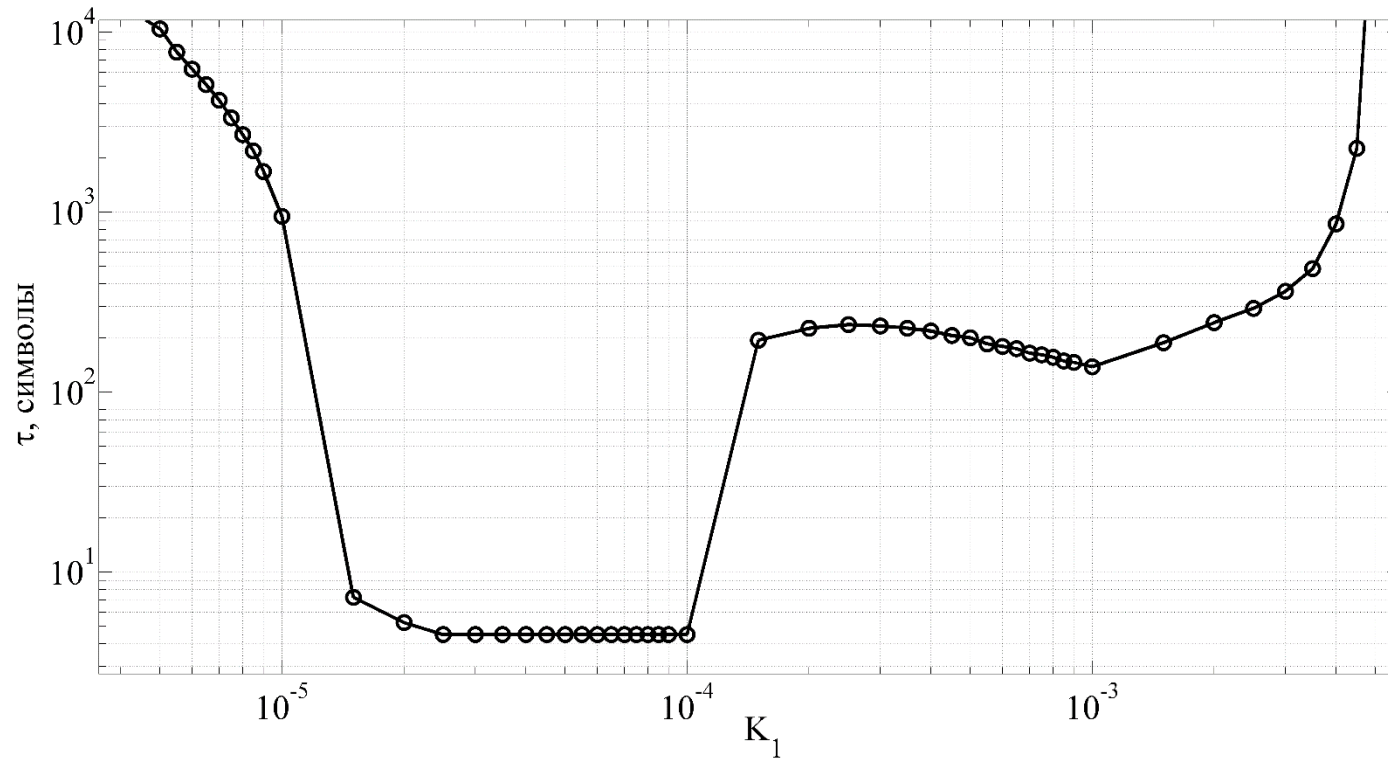


## Зависимость регулируемой величины от времени



**Рис. 4.** Зависимость регулируемой величины от номера символа

# Время переходного процесса от коэффициента для 1-ой реализации



**Рис. 5.** Зависимость длительности переходного процесса от коэффициента  $K_1$  для 1-ой реализации алгоритма

## Заключение

В данной работе был предложен алгоритм фазовой синхронизации. Его преимуществом, по сравнению с некоторыми из существующих схем, является отсутствие необходимости тактовой синхронизации. Также в предложенном алгоритме нет необходимости в построении ФАПЧ 2-го порядка. Проведено сравнение между собой характеристик предложенной схемы в двух различных реализациях. Показано, что реализация алгоритма с применением петли обратной связи с астатизмом 1-порядка и дополнительно прямой связи, обладает меньшей длительностью переходных процессов, чем при реализации только с петлёй обратной связи, имеющей 2-ой порядок астатизма.

## Литературные источники

1. *M. Jhaidri, C. Laot, A. Thomas.* Nonlinear analysis of GMSK carrier phase recovery loop // 2016 International Symposium on Signal, Image, Video and Communications (ISIVC), Tunis, 2016. – pp. 230-235.
2. *Umberto Mengali, Aldo N. D'Andrea.* Synchronization techniques for digital receivers // Plenum Press, New York, 1997. - 529 p.
3. *Дереча Е. В., Привалов Д. Д.* Исследование алгоритма фазовой синхронизации GMSK-сигналов для низкоорбитальных систем спутниковой связи // Техника радиосвязи. 2017. Вып. 2 (33). С. 87-95.
4. *Банкет В. Л., Дорофеев В. М.* Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
5. *Н. А. Бабаков, Х. А. Воронов, А. А. Воронова и др.* Теория автоматического управления. Ч.1. – М.: Высш. Шк., 1986. – 367 с.