

УДК 621.391.84

С.Н. Кириллов, С.В. Зорин, П.С. Писака

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ КАДРОВ ИЗ ПОТОКА ЗАРЕГИСТРИРОВАННОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Предложен алгоритм выделения кадров из потока зарегистрированной телеметрической информации на основе анализа информационных и маркерных слов при наличии их искажений. Проведено сравнение предложенного алгоритма и алгоритма, используемого на практике, не учитывающего возможности искажения маркерных слов. Доказана целесообразность использования предложенного алгоритма для выделения кадров по критериям вероятности потери маркерных слов и вероятности появления ложных маркерных слов. Показано, что при обнаружении трех последовательно расположенных кадров вероятность потери маркерного слова уменьшается на 0,22 (с 0,26 по 0,04) при вероятности появления ложного маркерного слова в $2,79 \cdot 10^{-8}$.

Ключевые слова: *выделение кадров, искажение маркерных слов, потеря маркерного слова, ложное маркерное слово, телеметрическая информация.*

Введение. Для автоматизации испытаний ракетно-космической техники используются различные системы. Несмотря на все многообразие решаемых данными системами задач, функции этих систем пересекаются. В работах [1-3] проводится определение оптимального состава комплекса модулей автоматизации и методов обоснования на его основе конкретной системы испытаний. В работе [4] проведена разработка основных принципов построения экспертной системы анализа телеметрической информации (ТМИ) космических ракет-носителей. В работе [5] рассматриваются математическая основа, структура, ограничения и условия информационного обмена в распределенных системах управления полигонных систем испытаний.

Особую роль в системах автоматизации испытаний играет процедура монтажа единого носителя ТМИ. Решение задачи выделения кадров из потока зарегистрированной ТМИ является первым этапом этой процедуры [6]. Структурной единицей ТМИ является кадр, который состоит из информационных и служебных каналов (слов). Информационные каналы содержат измерительную информацию с датчиков, установленных на борту изделия. Через служебные (маркерные) каналы передаются маркеры, по значениям которых можно судить о правильности структуры принятой ТМИ.

При передаче по каналу связи на ТМИ воздействуют помехи, что приводит к искажению как информационных, так и маркерных слов, а

следовательно, к искажению структуры зарегистрированной ТМИ. Отсюда информационное слово может принять значение кодовой комбинации, соответствующее маркерному слову, что приводит к появлению ложных маркерных слов.

Кроме того, воздействие помех приводит к тому, что маркерное слово, в свою очередь, также может принять значение кодовой комбинации информационного слова, что приводит к потере маркерных слов.

Цель работы – разработка алгоритма выделения кадров из потока зарегистрированной ТМИ при наличии помех на основе маркерной информации, снижающего вероятность потери маркерных слов и вероятность появления ложных кадров.

Исходные данные для решения задачи. При разработке алгоритма предполагаем, что передаваемые кадры ТМИ имеют одинаковую длину (количество слов) N . Количество информационных слов $N_{и}$ и маркерных слов $N_{м}$ в кадре постоянно. В кадре присутствует только одно маркерное слово, т.е. $N_{м}=1$. Расположение маркерного слова в кадре одинаковое. Границы слов заранее определены, отсюда поиск информационных и маркерных слов в кадре осуществляем по словам. Длина (количество разрядов) n информационного и маркерного слов совпадает. Значение информационного слова, совпадающее со значением маркерного слова, исключено. Появление всех значений инфор-

мационных слов кадра равновероятно. Искажения разрядов слов не зависят друг от друга.

Алгоритмы выделения кадров из потока зарегистрированной ТМИ. Применяемый на практике алгоритм выделения кадров в зарегистрированной ТМИ заключается в поиске нескольких последовательно расположенных на одном расстоянии друг от друга маркерных слов. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 1.

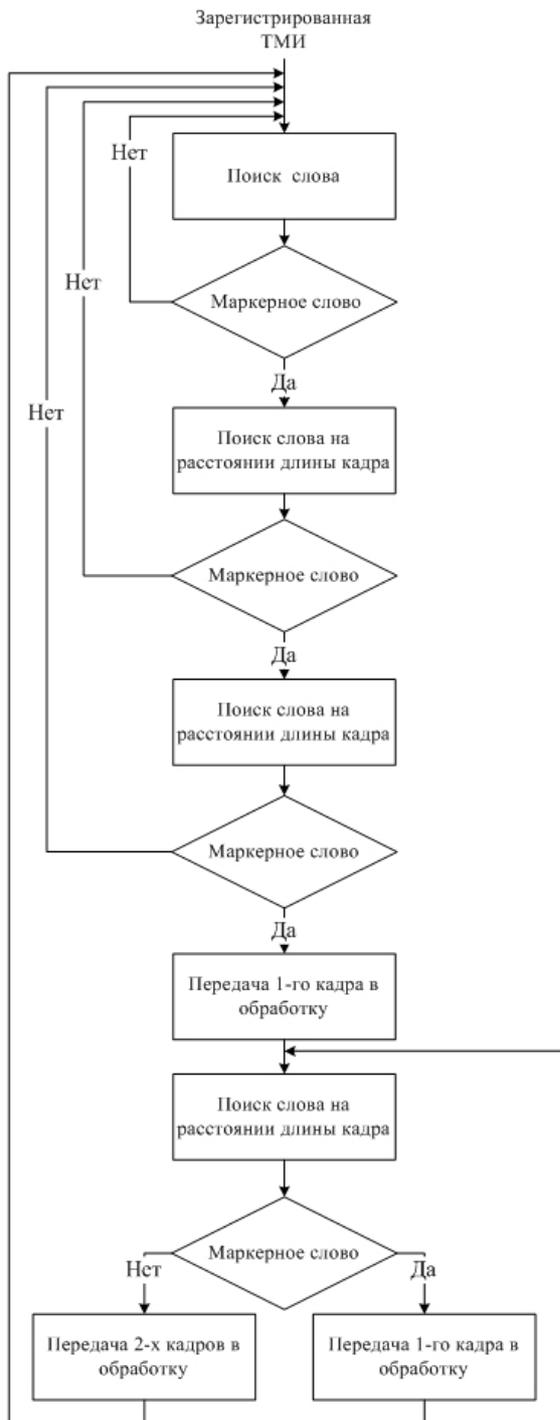


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма выделения кадров в зарегистрированной ТМИ, применяемого на практике

В соответствии с рисунком 1 алгоритм выделения кадров в зарегистрированной ТМИ состоит из следующих этапов.

1. Осуществляется поиск слова.
2. Производится сравнение слова со значением маркерного слова. Если полученное слово не является маркерным словом, то продолжается поиск маркерного слова первого кадра.

3. Если полученное слово является маркерным словом (определен первый кадр), то осуществляется поиск слова на расстоянии, равном длине кадра.

4. Производится сравнение слова со значением маркерного слова. Если полученное слово не является маркерным словом, то считается что структура потока ТМИ нарушена и начинается поиск маркерного слова первого кадра.

5. Если полученное слово является маркерным словом (определен второй кадр), то осуществляется поиск слова на расстоянии, равном длине кадра.

6. Производится сравнение слова со значением маркерного слова. Если полученное слово не является маркерным словом, то считается что структура потока ТМИ нарушена, и начинается поиск маркерного слова первого кадра.

7. Если полученное слово является маркерным словом (определен третий кадр), то получили три подряд идущих кадра, первый из которых передается на обработку.

8. Осуществляется поиск слова на расстоянии, равном длине кадра.

9. Производится сравнение слова со значением маркерного слова.

10. Если полученное слово не является маркерным словом, то считается что структура потока ТМИ нарушена, в обработку передаются оставшиеся два кадра найденной последовательности из трех кадров, и начинается поиск маркерного слова первого кадра.

11. Если полученное слово является маркерным словом (определен третий кадр), то получили три подряд идущих кадра, первый из которых передается на обработку, и осуществляются действия согласно п. 8 – 11.

Пусть P_n – вероятность потери маркерного слова, P_n – вероятность появления ложного маркерного слова среди информационных слов. Проведем расчет P_n и P_n для указанного алгоритма (рисунок 1).

Пусть q – вероятность ошибки в одном разряде слова, тогда $1 - q$ – вероятность правильного приема одного разряда слова. Отсюда вероятность P_i появления слова, состоящего из n раз-

рядов с искажением в одном разряде, вычисляется согласно выражению

$$P_i = q(1 - q)^{n-1}. \quad (1)$$

Вероятность потери маркерного слова в кадре P_{n1} [7] вычисляется согласно выражению

$$P_{n1} = \sum_{i=1}^n C_n^i q^i (1 - q)^{n-i} = 1 - (1 - q)^n. \quad (2)$$

В выражении (2) слагаемое $(1 - q)^n$ определяет вероятность правильного появления кодовой комбинации в слове из n разрядов.

На основании выражения (2) для последовательности из m анализируемых кадров P_n вычисляется согласно выражению

$$P_n = 1 - (1 - q)^{mn}. \quad (3)$$

Следует отметить, что для $m = 1$ выражение (3) сводится к выражению (2). Согласно выражению (3) можно сделать вывод о том, что с увеличением количества анализируемых кадров вероятность P_n увеличивается.

С учетом того, что $1/(2^n - 1)$ – вероятность появления комбинации разрядов в информационном слове, отличающейся от значения комбинации разрядов маркерного слова, а $(N - 1)/N$ – вероятность появления информационного слова в кадре, вероятность появления ложного маркерного слова в кадре P_{n1} вычисляется согласно выражению

$$P_{n1} = \frac{1}{2^n - 1} \frac{N - 1}{N} \sum_{i=1}^n C_n^i q^i (1 - q)^{n-i} = \frac{1}{2^n - 1} \frac{N - 1}{N} [1 - (1 - q)^n]. \quad (4)$$

На основании выражения (4) для последовательности из m анализируемых кадров вероятность P_n вычисляется согласно выражению

$$P_n = \frac{1}{2^{mn} - 1} \frac{N - 1}{N} [1 - (1 - q)^{mn}]. \quad (5)$$

Следует отметить, что для $m = 1$ выражение (5) также сводится к выражению (4). Согласно выражению (5) можно сделать вывод о том, что с увеличением количества анализируемых кадров вероятность P_n уменьшается.

Использование рассмотренного алгоритма на практике показывает, что применение критерия выделения кадров в виде соответствия значения комбинации разрядов слова значению комбинации разрядов маркерного слова в случае ее искажения приводит к отсеиванию большого объема ТМИ от дальнейшей обработки. Поскольку появление всех комбинаций разрядов в словах кадра равновероятно, а искажения разрядов слов не зависят друг от друга, искажение

разрядов маркерного слова не влияет на искажение разрядов информационных слов кадра.

Для уменьшения вероятности P_n предлагается модифицировать рассмотренный алгоритм. Появление комбинации разрядов, отличающаяся от комбинации разрядов маркерного слова значением одного i -го разряда, можно не считать потерей маркерного слова. Блок-схема предлагаемого алгоритма выделения кадров из зарегистрированной ТМИ представлена на рисунке 2.

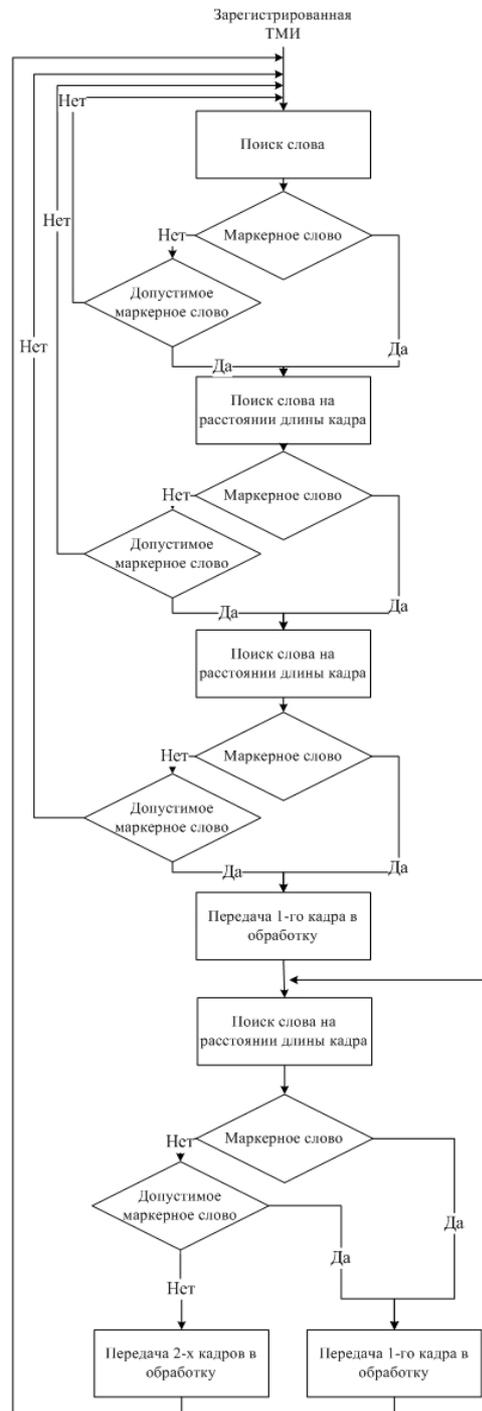


Рисунок 2 – Блок-схема предлагаемого алгоритма выделения кадров в зарегистрированной ТМИ

В соответствие с рисунком 2 предлагаемый алгоритм выделения кадров в зарегистрированной ТМИ состоит из следующих этапов.

1. Осуществляется поиск слова.

2. Производится сравнение слова со значением маркерного слова.

3. Если полученное слово не является маркерным словом, то анализируется, отличается ли его значение от значения маркерного слова на один разряд (т.е. является ли оно допустимым маркерным словом).

4. Если полученное слово не является допустимым маркерным словом, то продолжается поиск маркерного слова первого кадра.

5. Если полученное слово является маркерным словом или допустимым маркерным словом (определен первый кадр), то осуществляется поиск слова на расстоянии, равном длине кадра.

6. Производится сравнение слова со значением маркерного слова.

7. Если полученное слово не является маркерным словом, то анализируется, является ли оно допустимым маркерным словом.

8. Если полученное слово не является допустимым маркерным словом, то считается что структура потока ТМИ нарушена, и начинается поиск маркерного слова первого кадра.

9. Если полученное слово является маркерным словом или допустимым маркерным словом (определен второй кадр), то осуществляется поиск слова на расстоянии, равном длине кадра.

10. Производится сравнение слова со значением маркерного слова.

11. Если полученное слово не является маркерным словом, то анализируется, является ли оно допустимым маркерным словом.

12. Если полученное слово не является допустимым маркерным словом, то считается что структура потока ТМИ нарушена, и начинается поиск маркерного слова первого кадра.

13. Если полученное слово является маркерным словом или допустимым маркерным словом (определен третий кадр), то получили три подряд идущих кадра, первый из которых передается на обработку.

14. Осуществляется поиск слова на расстоянии, равном длине кадра.

15. Производится сравнение слова со значением маркерного слова.

16. Если полученное слово не является маркерным словом, то анализируется, является ли оно допустимым маркерным словом.

17. Если полученное слово не является допустимым маркерным словом, то считается что структура потока ТМИ нарушена, в обработку передаются оставшиеся два кадра найденной

последовательности из трех кадров, и начинается поиск маркерного слова первого кадра.

18. Если полученное слово является маркерным словом или допустимым маркерным словом (определен третий кадр), то получили три подряд идущих кадра, первый из которых передается на обработку, и осуществляются действия согласно п. 14 – 18.

С учетом указанного выше предположения вероятность P_{n1} можно вычислить согласно выражению

$$\begin{aligned} P_{n1} &= \sum_{i=2}^n C_n^i q^i (1-q)^{n-i} = \\ &= 1 - (1-q)^n - nq(1-q)^{n-1} = \\ &= 1 - (1-q)^{n-1} [1 + q(n-1)]. \end{aligned} \quad (6)$$

На основании выражения (6) для последовательности из m анализируемых кадров вероятность P_n вычисляется согласно выражению

$$P_n = 1 - (1-q)^{mn-1} [1 + q(mn-1)]. \quad (7)$$

Следует отметить, что для $m=1$ выражение (7) сводится к выражению (6). Согласно выражению (7) можно сделать вывод о том, что с увеличением количества анализируемых кадров вероятность P_n увеличивается. Очевидно, что вероятность P_n , рассчитанная согласно выражению (7), меньше вероятности P_n , рассчитанной согласно выражению (3), для соответствующих значений m , n и q .

Аналогично с учетом указанного выше предположения вероятность P_{n1} можно вычислить согласно следующему правилу. В слове из n разрядов существует только одна комбинация разрядов, соответствующая комбинации разрядов маркерного слова. Отсюда для такого слова существует n комбинаций разрядов, отличающихся от комбинации разрядов маркерного слова значением одного i -го разряда. Для каждой j -й из n таких комбинаций рассчитаем вероятность появления $p_{j,n}$ согласно выражению

$$p_{j,n} = \frac{1}{2^n - 1} \frac{N-1}{N} \sum_{i=0}^n C_n^i q^i (1-q)^{n-i}. \quad (8)$$

Вероятность появления комбинации разрядов, соответствующей комбинации разрядов маркерного слова $p_{m,n}$, рассчитаем согласно выражению

$$p_{m,n} = \frac{1}{2^n - 1} \frac{N-1}{N} \sum_{i=1}^n C_n^i q^i (1-q)^{n-i}. \quad (9)$$

На основании выражения (8) и выражения (9) вероятность P_{n1} вычисляется согласно выражению

$$\begin{aligned}
 P_{n1} &= p_{j,n} + P_{m,n} = \dots = \\
 &= \frac{1}{2^n - 1} \frac{N-1}{N} [n(1-q)^n + \\
 &+ (n+1)(1-(1-q)^n) - nq(1-q)^{n-1}] = \quad (10) \\
 &= \dots = \frac{1}{2^n - 1} \frac{N-1}{N} [n+1 - \\
 &- (1-q)^{n-1}(1+q(n-1))].
 \end{aligned}$$

На основании выражения (10) для последовательности из m анализируемых кадров вероятность P_n вычисляется согласно выражению

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{1}{2^{mn} - 1} \frac{N-1}{N} [mn+1 - \\
 &- (1-q)^{mn-1}(1+q(mn-1))]. \quad (11)
 \end{aligned}$$

Следует отметить, что для $m=1$ выражение (11) сводится к выражению (10). Согласно выражению (11) можно сделать вывод о том, что с увеличением количества анализируемых кадров вероятность P_n уменьшается. Очевидно, что

вероятность P_n , рассчитанная согласно выражению (11), больше вероятности P_n , рассчитанной согласно выражению (5), для соответствующих значений m , n и q , поскольку количество «разрешенных» комбинаций разрядов для маркерного слова увеличилось на n .

При искажениях маркерных слов возможно частичное искажение информационных слов. Эти искажения могут быть устранены на дальнейших этапах процедуры монтажа единого носителя ТМИ.

Экспериментальная часть. Зависимости $P_n(m)$ для $n=10$ и $q=0,01$ для существующего и предложенного алгоритмов представлены на рисунке 3.

В практике обработки ТМИ определение правильности структуры кадров осуществляется для $m=3$. В соответствие с рисунком 3 для $m=3$ вероятность P_n уменьшается на 0,22 (с 0,26 до 0,04).

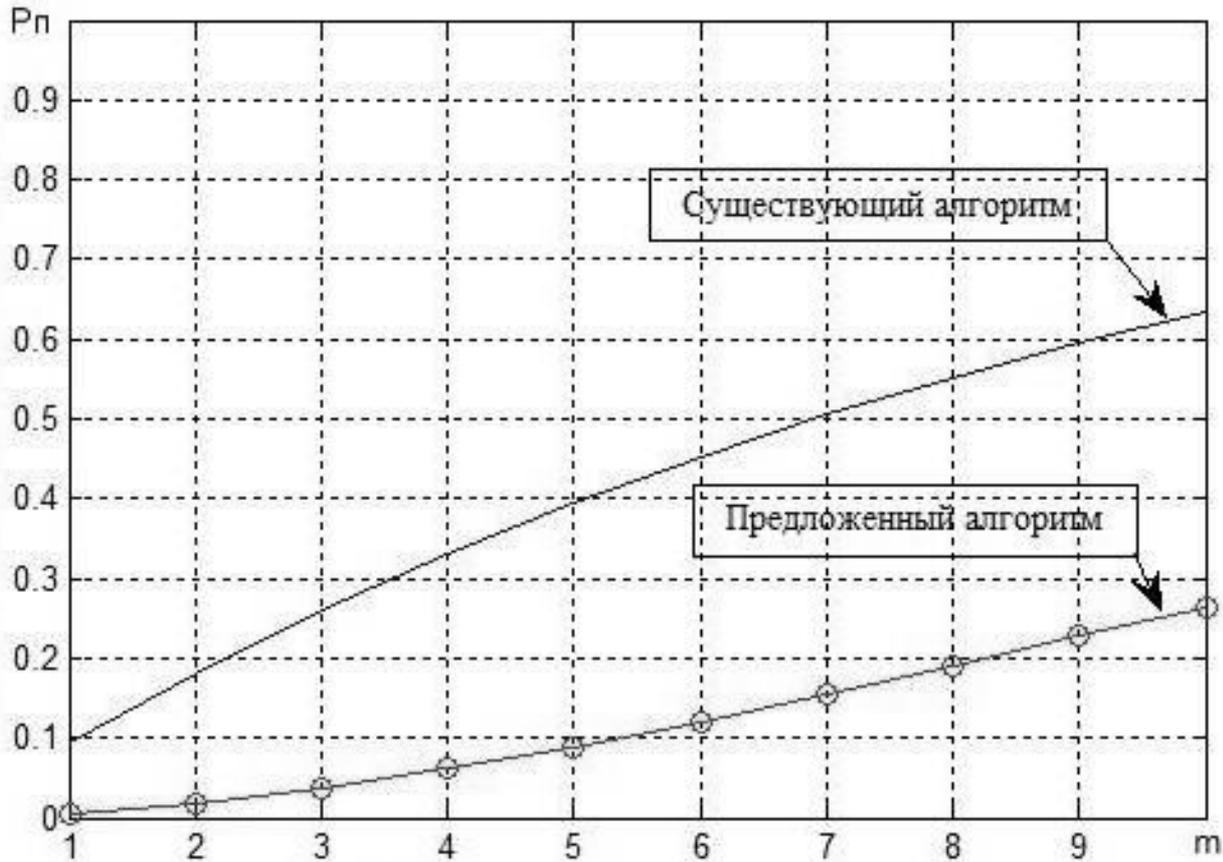


Рисунок 3 – Зависимость $P_n(m)$ для существующего и предложенного алгоритмов

Зависимости $P_n(m)$ для $n=10$ и $q=0,01$ для существующего и предложенного алгоритмов представлены на рисунке 4.

В соответствие с рисунком 4 для $m=3$ вероятность P_n увеличивается на $2,76 \cdot 10^{-8}$ (с $2,4 \cdot 10^{-10}$ до $2,79 \cdot 10^{-8}$).

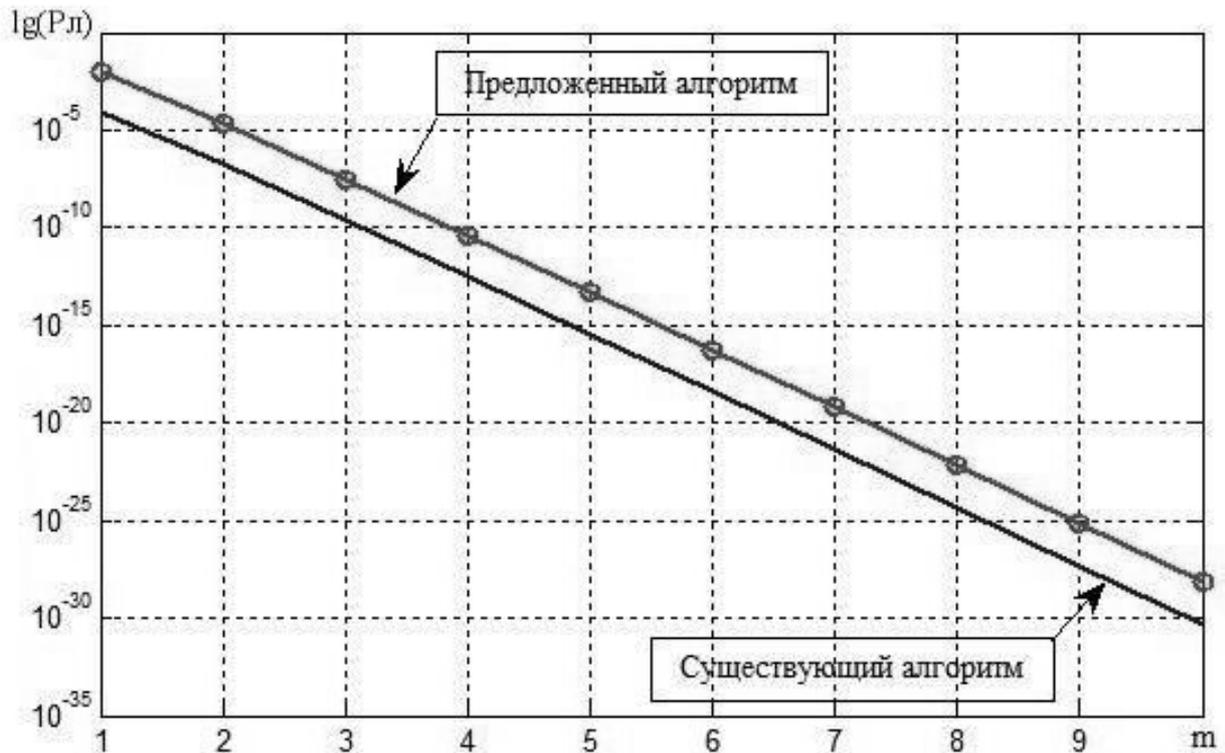


Рисунок 4 – Зависимость $P_l(m)$ для существующего и предложенного алгоритмов

Заключение. Предложен алгоритм выделения кадров из потока зарегистрированной ТМИ. Данный алгоритм учитывает возможные искажения разрядов маркерных слов. Показано, что для наиболее часто используемого на практике случая определения правильности структуры ТМИ по $m = 3$ последовательно расположенным кадрам вероятность потери маркерного слова P_n уменьшается на 0,22 (с 0,26 по 0,04) при вероятности появления ложного маркерного слова P_l в $2,79 \cdot 10^{-8}$. Полученные результаты позволяют использовать предложенный алгоритм в системах автоматизации испытаний ракетно-космической техники для обработки ТМИ.

Библиографический список

1. Фалеев О.В. Математическая модель модуля агрегатного комплекса технических и программных средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 3(45). С. 79-82.
2. Фалеев О.В. Синтез агрегатного комплекса технических и программных средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического уни-

верситета. 2014. № 47. С. 103-109.

3. Фалеев О.В. Синтез систем автоматизации испытаний с использованием средств агрегатного комплекса // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 48. С. 97-101.

4. Тихомиров С.А. Экспертная система анализа телеметрической информации космических ракетополетов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 49. С. 33-41.

5. Товпеко А.В. Архитектура и принцип действия системы управления измерительными средствами при обеспечении ракетных пусков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 51. С. 79-89.

6. Зорин С.В., Писака П.С. Процедура монтажа единого носителя телеметрической информации // Материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2014. С. 109-111.

7. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс / под ред. Г.И. Козырева. СПб.: Наука и техника, 2007. 672 с.