

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА В РЕЖИМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК

Проведено дослідження здатності циклічного коду виявляти помилки різної кратності. Отримана залежність коефіцієнта виявлення від числа перевірюваних елементів в області негарантованого виявлення. Адекватність розроблених моделей підтверджується збігом результатів машинного експерименту і схемотехнічного моделювання.

Проведены исследования обнаруживающей способности циклического кода при наличии ошибок различной кратности. Получены зависимости коэффициента обнаружения от числа проверочных элементов в области негарантированного обнаружения. Адекватность разработанных моделей подтверждается совпадением результатов машинного эксперимента и схемотехнического моделирования.

A research of discovering capacity of cyclic code, in presence of errors of different repetition factor, has been performed in the paper. Dependence of the discovery coefficient on the number of verification elements in the area of the assured discovery has been obtained. Adequacy of the developed models has been confirmed by coincidence of machine experiment results and circuit simulation results.

Введение

Одним из направлений повышения эффективности железнодорожного транспорта Украины является развитие автоматизированных систем управления (АСУ), создание интегрированных центров управления перевозочным процессом [1]. В функции АСУ входит сбор и передача дискретной информации о состоянии контролируемых объектов, а также формирование и передача команд управления исполнительными устройствами. Таким образом, от достоверности передачи дискретной информации во многом зависит эффективность АСУ.

В системах передачи дискретной информации для повышения достоверности широко используют циклические коды [2–4], позволяющие обнаруживать и (или) исправлять ошибки. Вероятность обнаружения ошибок зависит от статистики ошибок в канале передачи данных и параметров циклического кода, в первую очередь от минимального кодового расстояния. Известно, что код с минимальным кодовым расстоянием d_0 позволяет гарантированно обнаружить $(d_0 - 1)$ ошибок в кодовой комбинации. Например, если $d_0 = 3$, то гарантированно обнаруживаются одно- и двукратные ошибки. К сожалению, к настоящему времени недостаточно исследована способность циклического кода обнаруживать ошибки с большой кратностью. Для кода с

$d_0 = 3$ неизвестна вероятность обнаружения трех-, четырехкратных ошибок и т. д. Исследование данного вопроса позволит дать рекомендации по выбору циклического кода при проектировании систем передачи дискретной информации.

Целью работы является исследование обнаруживающей способности циклического кода при наличии ошибок различной кратности.

Схемотехническое моделирование

На рис. 1 представлена структурная схема устройства для исследования обнаруживающей способности циклического кода. В состав устройства входят: источник сообщений, кодер, источник ошибок, сумматор, регистр-делитель, логические элементы, счетчик переданных блоков данных, счетчик обнаруженных ошибок, а также блок синхронизации. Источник сообщений формирует случайную последовательность двоичных элементов, к которым в кодере добавляются проверочные элементы в соответствии с выбранным циклическим кодом. Таким образом формируется блок данных. С помощью сумматора по модулю два в соответствии с комбинацией ошибок отдельные элементы блока данных инвертируются. В регистре-делителе выполняется деление полученного пакета на образующий полином.

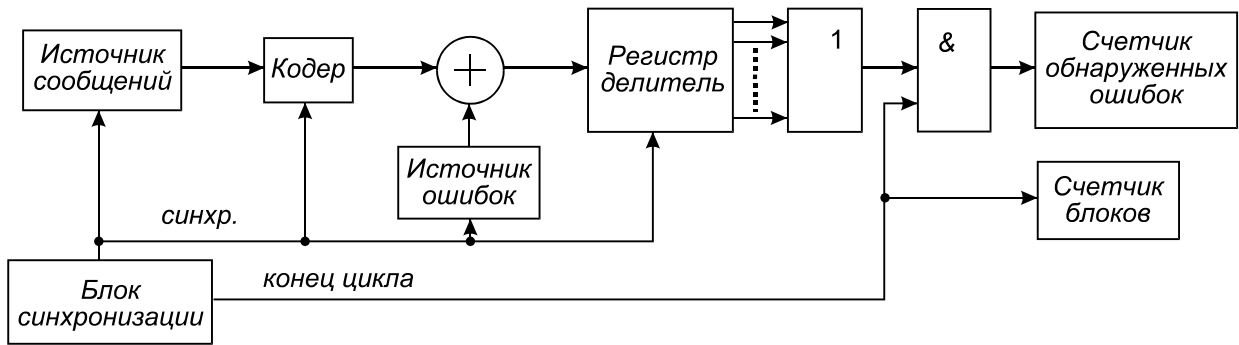


Рис. 1. Структурная схема устройства для исследования обнаруживающей способности циклического кода

При получении ненулевого остатка принимается решение о наличии ошибки. Количество переданных блоков (N) и количество обнаруженных ошибок ($N_{\text{обн}}$) регистрируется счетчиками. По показаниям счетчиков могут быть определены коэффициенты обнаружения и не обнаружения ошибок по блокам

$$K_{\text{обн}} = \frac{N_{\text{обн}}}{N}, \quad (1)$$

$$K_{\text{нобн}} = \frac{N - N_{\text{обн}}}{N}. \quad (2)$$

С помощью системы автоматизированного проектирования OrCAD 9.1 была разработана схмотехническая модель описанного устройства. В качестве источника сообщений был использован семиразрядный регистровый датчик квазислучайной последовательности, кодер и регистр-делитель построены в соответствии с циклическим кодом (7,4). Источник ошибок был реализован в виде семиразрядного регистра сдвига. Начальной установкой триггеров регистра выбиралась кратность ошибок.

Проведенное схмотехническое моделирование показало, что циклический код (7,4) с минимальным кодовым расстоянием $d_0 = 3$ позволяет гарантированно обнаруживать не только одно- и двукратные, но и пяти-, шестикратные ошибки. Семикратные ошибки не обнаруживались. Способность обнаруживать трех- и четырехкратные ошибки зависит от положения ошибочных элементов в блоке. Например, блок с ошибками в первом, третьем, пятом элементах фиксировался как ошибочный. В тоже время при передаче блока с искаженными первым, третьим, четвертым элементами ошибка не была зарегистрирована.

К сожалению, схмотехническая модель не позволяет провести полноценное исследование, так как для разных циклических кодов необхо-

димо изменять схему устройства. Для кодов с большим числом проверочных элементов схемы кодера и регистра-делителя значительно усложняются.

Статистическое моделирование

Для исследования способности циклического кода обнаруживать кратные ошибки в среде Delphi была разработана программа, упрощенный алгоритм которой представлен на рис. 2. На рис. 3 показан графический интерфейс программы. Исходными параметрами для моделирования являются: длина блока n , количество информационных элементов k , минимальное кодовое расстояние d_0 , образующий полином $P(x)$ и количество блоков N (количество испытаний). По значениям n и k вычисляется количество проверочных элементов r . С помощью функции Random формируются информационные элементы, а также определяется порядковый номер элементов с ошибками. Кодирование и декодирование данных выполняется в соответствии с выбранным циклическим кодом. После запуска программы для каждой кратности ошибок выполняется N испытаний, в каждом из которых анализируется остаток от деления пакета данных на образующий полином. В результате вычисляются коэффициенты обнаружения и не обнаружения ошибок. Полученные данные выводятся в табличной форме, а также в виде диаграмм.

С помощью описанной программы были получены зависимости коэффициента обнаружения от кратности ошибок для кода (7,4) $d_0 = 3$ (рис. 4), для кода (15,11) $d_0 = 3$ (рис. 5, а), а также для кода (15,7) $d_0 = 5$ (рис. 5, б). Как показывают диаграммы, представленные на рис. 4, данные машинного эксперимента согласуются с результатами схмотехнического моделирования, что подтверждает адекватность разработанных моделей.

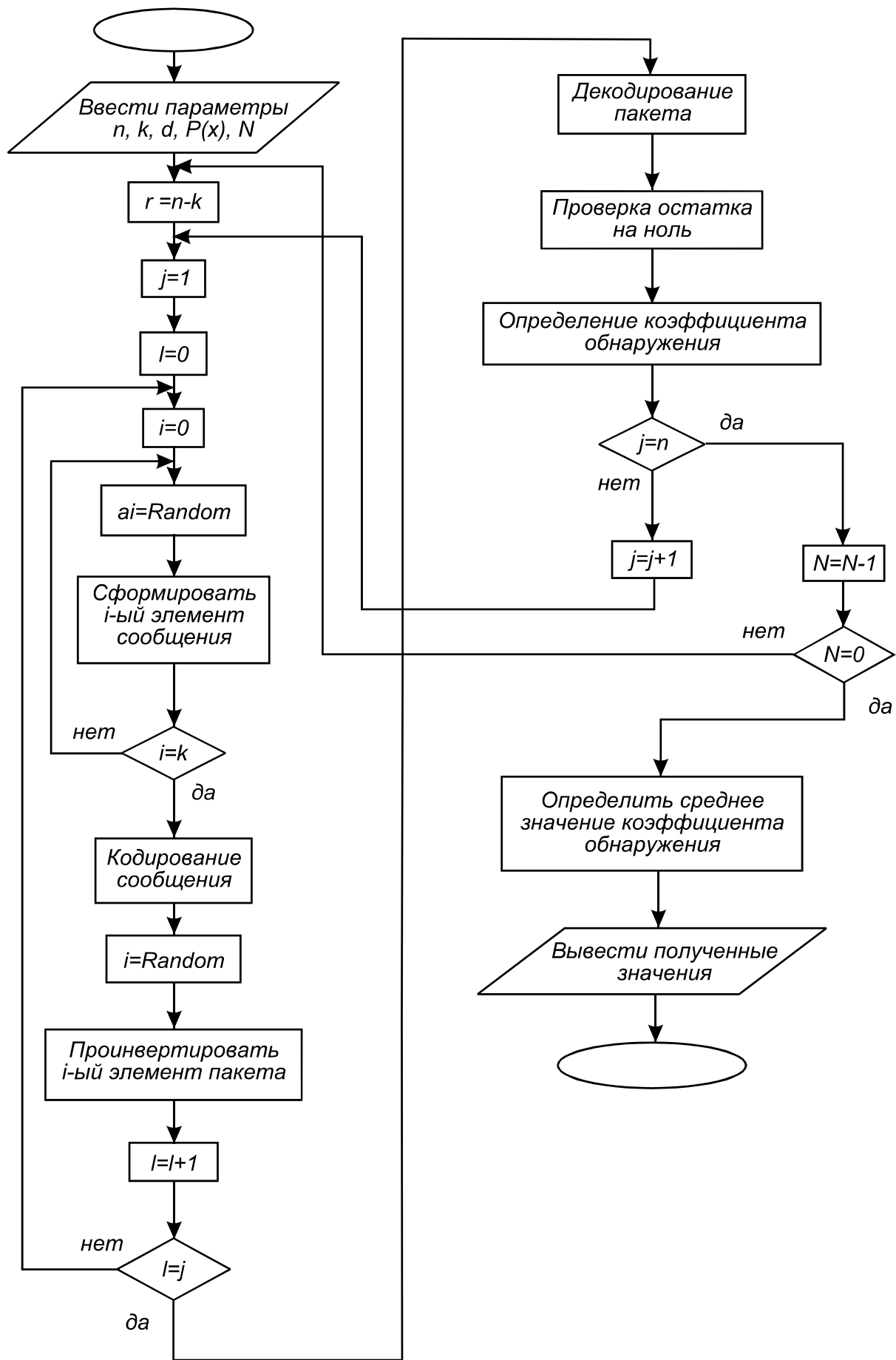


Рис. 2. Алгоритм программы для исследования циклического кода

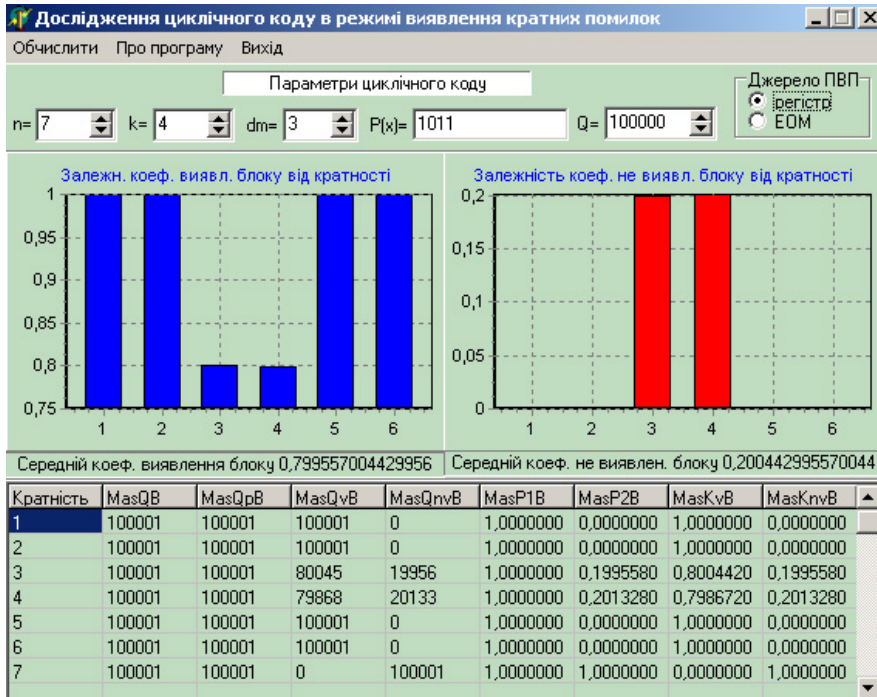


Рис. 3. Графический интерфейс программы

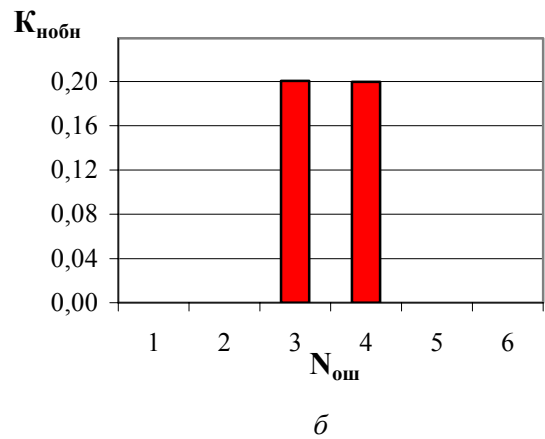
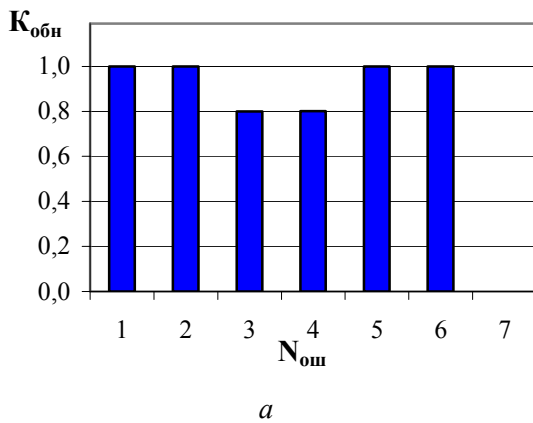


Рис. 4. Зависимость от кратности ошибок для кода 7,4:
a) коэффициента обнаружения; *б*) коэффициента не обнаружения

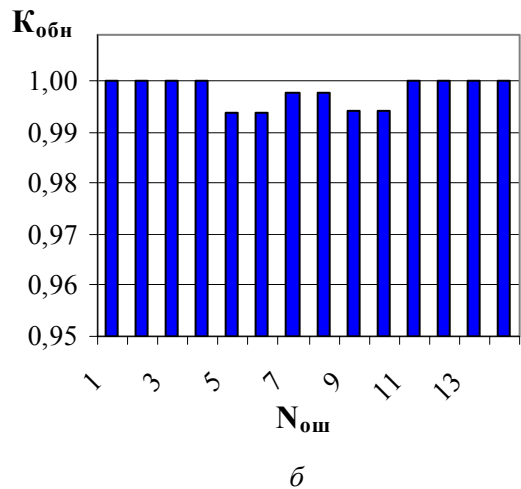
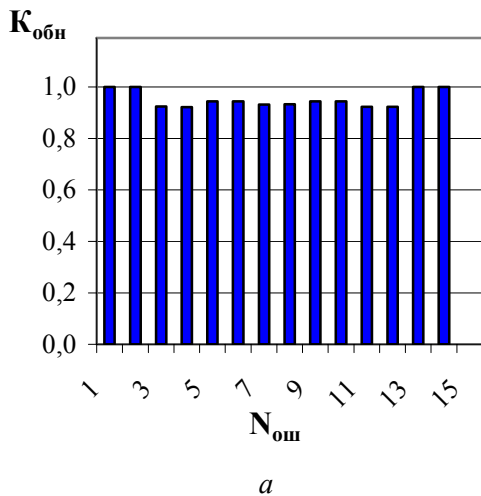


Рис. 5. Зависимость коэффициента обнаружения от кратности ошибок:
a) для кода 15,11; *б*) для кода 15,7

Анализ полученных результатов (см. рис. 4, 5) показывает, что для каждой диаграммы можно выделить следующие области:

1. Области гарантированного обнаружения ошибок, в которых коэффициент обнаружения равен единице, а кратность ошибок находится в одном из следующих диапазонов:

$$1 \leq N_{\text{ош}} \leq d_0 - 1, \quad (3)$$

$$n - d_0 + 1 \leq N_{\text{ош}} \leq n - 1, \quad (4)$$

где n – длина блока данных.

2. Область негарантированного обнаружения ошибок, в которой коэффициент обнаружения меньше единицы, а кратность ошибок лежит в диапазоне

$$d_0 \leq N_{\text{ош}} \leq n - d_0. \quad (5)$$

3. Область гарантированного не обнаружения ошибок, для которой $K_{\text{обн}} = 0$, $N_{\text{ош}} = n$.

Проведенные исследования показали, что подобные области наблюдаются также для цик-

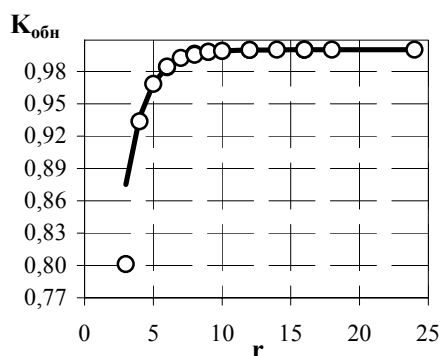
лических кодов с большим кодовым расстоянием и большой длиной блока n .

Были также проведены исследования обнаруживающей способности циклического кода в области негарантированного обнаружения ошибок для разного числа проверочных элементов. Полученные зависимости (рис. 6) показывают, что чем больше проверочных элементов, тем выше обнаруживающая способность кода. На рис. 6 представлены также следующие зависимости:

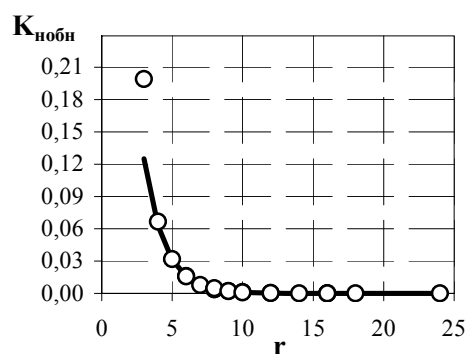
$$K_{\text{обн}} = \frac{2^r - 1}{2^r}, \quad (6)$$

$$K_{\text{нобн}} = \frac{1}{2^r}, \quad (7)$$

где r – количество проверочных элементов в блоке. Как видно, зависимости (6), (7) достаточно хорошо согласуются с результатами машинного эксперимента. Это позволяет использовать выражения (6), (7) для оценки эффективности циклического кода в области негарантированного обнаружения.



а



б

Рис. 6. Зависимость от числа проверочных элементов: а) коэффициента обнаружения; б) коэффициента не обнаружения; точки – машинный эксперимент; линия – аппроксимирующая функция

Выводы

В результате проведенного схемотехнического и статистического моделирования исследована обнаруживающая способность циклического кода при наличии ошибок различной кратности. В зависимости от числа ошибок выделены области гарантированного и негарантированного обнаружения. Получены зависимости коэффициента обнаружения от числа проверочных элементов в области негарантированного обнаружения ошибок. Результаты данного исследования могут быть использованы при проектировании систем передачи дискретной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с. – Офіційне видання.
2. Пуртов Л. П. Элементы теории передачи дискретной информации / Л. П. Пуртов, А. С. Замрий, А. И. Захаров и др.; Под ред. Л. П. Пуртова. – М.: Связь, 1972. – 232 с.
3. Каллер М. Я. Теоретические основы транспортной связи / М. Я. Каллер, А. Ф. Фомин. – М.: Транспорт, 1989. – 383 с.
4. Чернега В. С. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.

Поступила в редколлегию 04.10.2004.