

УДК 681.3

В.И. Барсов

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

## КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТИ ПАКЕТНОЙ СВЯЗИ ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ МЕТЕОРНЫЕ РАДИОКАНАЛЫ, НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ СЧИСЛЕНИЯ

*Показана возможность и перспективность применения методов обработки информации в модулярной системе счисления при создании сети пакетной связи использующей метеорные радиоканалы для повышения пропускной способности и отказоустойчивости сети.*

**Ключевые слова:** система метеорной связи, метеорный радиоканал, модулярная система счисления.

### Введение

**Постановка задачи.** Вполне очевидно, что полнота, своевременность и достоверность информации используемой в процессе управления сложным пространственно разнесённым техническим комплексом играет ключевую роль в поддержании заданных режимов функционирования таких объектов. При этом речь идет как о системах обработки информации и управления (СОИЩУ), так и об используемых ими системах связи.

Повышенные требования по обеспечению отказоустойчивости и производительности, предъявляемые к современным системам связи и управления, обуславливают необходимость постоянного поиска, разработки и внедрения инновационных технологий и методов обработки информации, ориентированных на определённую область применения.

Одним из перспективных решений задачи обеспечения эффективного и устойчивого управления сложным техническим пространственно разнесённым комплексом может стать применение, для организации каналов управления, сети пакетной связи использующей метеорные радиоканалы (СПСМРК).

Целесообразно отметить ряд специфических особенностей этого вида связи. В частности, «зеркальный» характер отражения радиоволн от метеорного следа позволяет принимать отраженный сигнал лишь на территории весьма ограниченного участка земной поверхности, что обеспечивает определённую степень скрытности, недоступную обычным средствам радиосвязи, и как следствие защищённость от преднамеренных помех. Также метеорные радиоканалы (МРК) отличаются повышенной устойчивостью к ионосферным возмущениям и искусственным воздействиям, вызывающим резкое возрастание ионизации. Кроме этого направленность распространения сигналов в МРК значительно уменьшает взаимные помехи между радиолиниями,

работающими на близких частотах, что также затрудняет создание активных помех и пеленгацию. Эти и другие достоинства МРК, такие как компактность антенных полей и аппаратуры системы метеорной связи (СМС), возможность организация связи с подвижными и стационарными объектами, экономичность, отсутствие «зоны молчания», высокая электромагнитная совместимость позволяют предположить о перспективности применения МРК для целей управления специализированным, сложным пространственно разнесённым техническим комплексом.

Следует также обратить внимание на высокую скрытность МРК, обусловленную, ограниченной областью приёма сигнала отраженного от метеорного следа. Числовые значения, показывающие уменьшение уровня сигнала на входе приемного устройства  $P_R$ , в зависимости от его удаления от точки оптимального приёма, вдоль и поперёк трассы МРК представлены на графике (рис. 1).

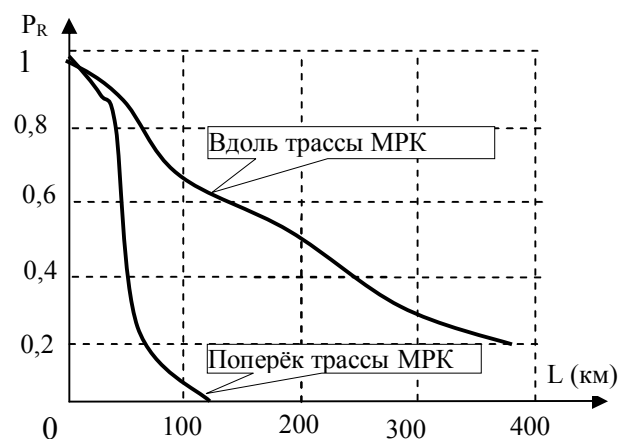


Рис. 1. Уменьшение уровня входного сигнала

За рубежом уже существуют и успешно эксплуатируются СМС на трассах от 200 до 2000 км. Это СМС с повышенной устойчивостью к естественным и искусственным ионосферным возмуще-

ниям «Comet», система сбора метеорологической информации от удалённых объектов, система определения местоположения и связи с подвижными объектами на континентальной территории США, система глобальной ориентации сотрудников специальных подразделений при выполнении операций и др.

Однако этому виду связи присущ и ряд недостатков, таких, как низкая скорость передачи данных, помехо и отказоустойчивость, что вызвано прерывистым характером и ограниченной длительностью сеанса связи в МРК.

Поэтому, с позиции дальнейшего развития и совершенствования СМС, актуальной задачей является поиск и исследование путей преодоления указанных недостатков, мешающих широкому внедрению данного вида связи.

Определенный интерес представляют подходы, связанные с разработкой и применением нетрадиционных методов обработки и передачи информации позволяющих организовать эффективную СПСМРК, в частности, с использованием для этих целей непозиционной модулярной системы счисления (МСС). Здесь необходимо отметить, что в настоящее время уже разработаны и эксплуатируются сверхбыстродействующие СОИЦУ крупных технических комплексов, бортовые системы обработки информации повышенной надежности, системы передачи данных и спутниковые системы космической связи, использующие коды МСС.

Основными достоинствами МСС являются возможность разработки и внедрения высокоэффективных алгоритмических и аппаратных архитектур вычислительных структур параллельноконвейерного типа. При этом обеспечивается:

- высокая степень интеграции и унификации арифметических блоков и вычислительных узлов;
- использование уникальных корректирующих свойств непозиционных кодовых структур при обнаружении и исправлении ошибок в динамике вычислительного процесса, т.е. в реальном времени без остановки вычислительного процесса, что обусловлено следующими основными свойствами МСС.

1. Независимость остатков – дает возможность строить архитектуру устройства обработки информации (УОИ) в виде набора независимых вычислительных трактов (отдельных вычислителей, функционирующих по своему определенному модулю  $m_i$  в МСС). Следовательно, ошибки, возникающие за счет отказов (сбоев) в произвольном вычислительном тракте, не «размножаются» в соседние тракты, что дает возможность повысить достоверность вычислений в МСС.

2. Равноправность остатков – любой остаток  $a_i$  числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  несет информацию обо всем

исходном числе.

3. Малоразрядность остатков - позволяет существенно повысить быстродействие выполнения операций обработки информации, как за счет малоразрядности вычислительных трактов, так и за счет возможности применения (в отличие от ПСС) табличной арифметики, где арифметические операции выполняются практически за один такт [1, 2].

**Цель работы** – показать перспективность применения МСС при создании СПСМРК для повышения пропускной способности и отказоустойчивости сети.

## Основная часть

Эффективность решения задачи дальнейшего совершенствования форм и методов управления сложными пространственно разнесёнными техническими объектами в значительной степени зависит от возможностей СОИЦУ выполнять требования по оперативной и достоверной передаче команд и сигналов управления, а также сбору донесений об их выполнении и изменении значений контролируемых технологических переменных. Как было отмечено, одним из перспективных направлений, обеспечивающим выполнение перечисленных требований, может стать использование в качестве вспомогательной (резервной) подсистемы связи СПСМРК.

Исследование путей создания эффективной СПСМРК требует анализа основных характеристик и особенностей функционирования МРК.

Наиболее полезным, с точки зрения организации радиосвязи, свойством метеорного следа (МС) является способность отражать радиоволны (рис. 2). Особенность МРК заключается в том, что с уменьшением длины трассы  $R$  число «полезных» для связи метеорных следов увеличивается, а их средняя длительность убывает. Обычно метеоры появляются на высотах ниже 120 км. и исчезают на высотах около 80 км.

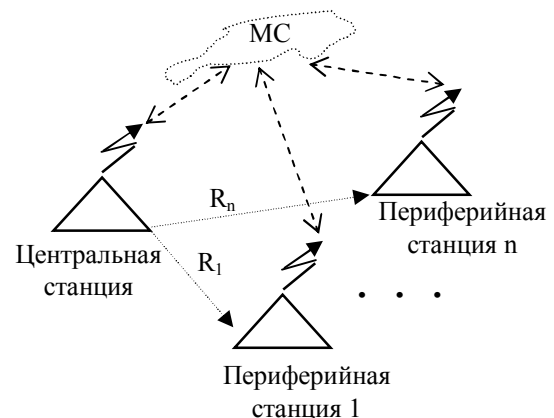


Рис. 2. Система метеорной связи

Радиоотражающие свойства метеорных следов зависят от величины их электронной концентрации  $q$ , минимальное значение которой  $q_{кр}$ , характеризует

предельное значение электронной концентрации при которой ещё возможно отражение сигнала от метеорного следа, определяемое следующим выражением

$$q_{кр} = \frac{\pi m_e}{e^2} \cdot f^2 - 1.24 \cdot 10^{-2} f^2 \text{ эл./м,}$$

где  $m_e = 0.911 \cdot 10^{-30}$  кг – масса электрона;  
 $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  Кл. – заряд электрона;  
 $f$  – частота радиолокатора (~60 МГц).

Наиболее многочисленную группу, используемую для целей организации МРК, составляют метеорные следы с ненасыщенной концентрацией ( $q < 10^{14}$  эл./м).

Важнейшим свойством МРК является стохастичность его природы, обусловленная случайностью метеорных радиотражений, которая определяется как сезонными и суточными вариациями числа метеоров (рис. 3), так и изменением скорости движения метеороидов и изменением электронной концентрации метеорного следа [3].

Рабочий цикл  $\eta$  МРК, определяется процентным отношением времени ведения сеанса связи  $T_{cc}$  к общему времени, в течение которого связь мог бы осуществляться  $T_{max}$

$$\eta = \frac{T_{cc}}{T_{max}} \cdot 100\%.$$

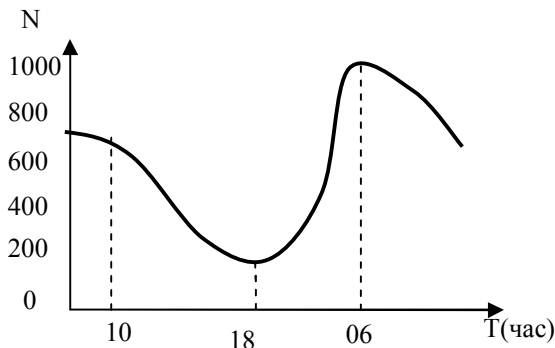


Рис. 3. Суточные вариации числа метеороидов

На рис. 4 представлены зависимости значений  $\eta$  от длины трассы [3].

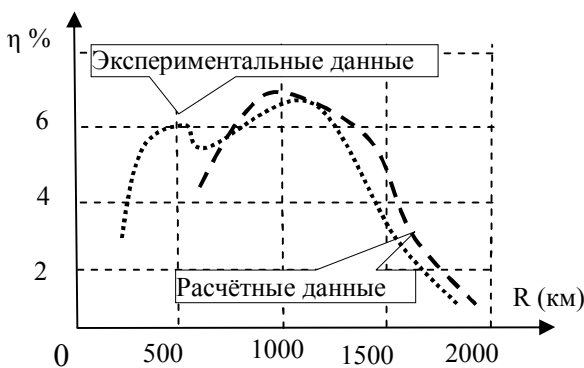


Рис. 4. Зависимости значений  $\eta$  от длины трассы

Для учёта изменения расстояния между абонентами МРК используется поправочный коэффициент  $g(D)$ . В этом случае расчётное выражение, определяющее средний интервал между метеорными вспышками имеет вид

$$T_{cm} = T_{cm}^{(1000)} g(D),$$

где  $T_{cm}^{(1000)}$  – средний интервал времени между появлением метеорных следов, на удалении объектов в 1000 км., для конкретных географических условий.

Пропускная способность МРК в общем случае зависит от рабочего цикла и скорости передачи информации

$$C = \eta R(t) dt,$$

где  $R(t)$  – скорость передачи информации.

Если известна частота возникновения ошибок, то пропускная способность МРК будет определяться следующим выражением

$$C_{ош} = C \frac{(1 - P_{ошбл})}{(1 + x P_{ошбл})},$$

где  $P_{ошбл}$  – вероятность ошибки в блоке;

$x = m - 1$  – число блоков пакетов подлежащих повторной передаче, при обнаружении в них ошибки.

Изменение пропускной способности МРК для скорости передачи информации ~2000бит/с, совпадающей со скоростью модуляции, в зависимости от удаления объектов представлена в табл. 1, где  $C_0$  – пропускная способность на  $R = 1000$  км. [3]

Таблица 1  
Зависимость C от L (км)

R (км)	C
200 < R < 480	0,58 C <sub>0</sub>
480 < R < 770	L/770 C <sub>0</sub>
770 < R < 1280	C <sub>0</sub>

Другой важной характеристикой МРК является вероятность гарантированного приёма  $P_r$  пакета информации за время  $T_d$ .

$$P_r = e^{-\left(\frac{T_d}{T_{cm}}\right)(1-P_p)} e^{-\left(\frac{T_p+t_0}{\tau}\right)},$$

где  $P_p$  – вероятность приёма пакета с ошибкой;  $T_p$  – длительность пакета;  $\tau$  – средняя длительность метеорного следа;  $t_0$  – время двухстороннего распространения по МРК.

Учитывая специфику МРК, модель СПСМРК, в общем случае, целесообразно рассматривать как взаимосвязанную совокупность следующих компонент: астрономической модели притока на Землю метеорного вещества, модели геометрического отбора радиантов (области небесной сферы, кажущиеся источником метеоров), физической модели образования метеорных следов и модели СОИЩУ ис-

пользующей СПСМРК.

Первые три компоненты общей модели СПСМРК требуют отдельного, специального рассмотрения. Четвёртую компоненту удобно исследовать по отдельным, наиболее существенным, для различных этапов эксплуатации, параметрам и характеристикам.

В рассматриваемых случае можно выделить такие важные характеристики как: отказоустойчивость, возможность диагностики и исправления ошибок в динамике процесса обработки информации и производительность, обеспечивающая способность системы функционировать в реальном времени.

Рассмотрим стандартную процедуру передачи данных в сети пакетной метеорной связи. На центральной станции формируют и излучают сигнал запроса длительностью  $t_3$  на получение информации. На периферийной станции принимают сигнал запроса, измеряют уровни сигнала запроса в моменты начала  $U_1$  и окончания его приема  $U_2$  (интервал  $t_3$ ). Задавая пороговую чувствительность радиоприемника рассчитывается оставшаяся часть интервала  $t_0$  существования метеорного следа. Затем вычисляют требуемую длительность  $t_{ин}$  информационной части пакета данных  $t_{ин} = t_0 - t_{сп}$ , где  $t_{сп}$  - предварительно заданная длительность служебной части пакета данных. После этого вычисляют объем информационной части пакета данных  $C = V t_{ин}$ , где  $V$  [бит/с] - скорость передачи информации, формируют и передают пакет данных с объемом информационной части  $C$ .

Основными недостатками такой процедуры являются: относительно низкие пропускная способность, помехо- и отказоустойчивость, вызванные прерывистым характером и ограниченной длительностью сеанса связи в МРК. Также ухудшение качества принимаемого сигнала приводит к возникновению ошибок вызывающих потерю части информации.

Возникает естественная научно-техническая задача – повышения пропускной способности СПСМРК без снижения отказоустойчивости функционирования системы.

Проведённые исследования показали, что альтернативой, позволяющей уменьшить влияние указанных недостатков на качество функционирования СПСМРК, является применение, при создании устройств обработки информации в МСС. В частности, анализ рассмотренных выше свойств МСС позволяет говорить о возможности организации надёжного функционирования вычислительного комплекса системы в реальном времени и, как следствие реализации в СПСМРК методов контроля, диагностики и исправления ошибок в динамике процесса обработки информации.

Характерной чертой кодов, способных обнаруживать и исправлять возникающие ошибки в дина-

мике процесса обработки информации является наличие двух взаимозависимых частей: информационной и контрольной. Проведенный анализ известных позиционных кодов показал неравноправность данных частей кода относительно арифметических операций. И как следствие неарифметичность алгоритмов получения проверочных разрядов не позволяет контролировать результаты промежуточных арифметических операций.

Данного недостатка лишены модулярные коды. Равноправность остатков является базисом для построения кодов, способных обнаруживать и исправлять ошибки в процессе реализации модульных операций. Кроме того, данное свойство модулярных кодов служит основой для реализации обменных операций между точностью, информационной надёжностью и быстродействием. Это обусловлено, прежде всего, тем, что каждый остаток модулярного кода несёт информацию обо всём исходном операнде. Тогда, варьируя количеством информационных и контрольных оснований, можно добиться требуемых значений основных показателей качества работы ИУС, функционирующей в МСС.

Пусть множество  $L$  содержит совокупность таких натуральных чисел, при которых, если какие-либо два числа  $A_1$  и  $A_2$  удовлетворяют требованию  $A_1, A_2 \in L$ , то и любое число  $A_3$ , лежащее между величинами  $A_1$  и  $A_2$ , также принадлежит  $L$ , т. е.  $A_3 \in L$ . Любое число  $A_k \in L$  можно представить в МСС с основанием  $M = [m_1, m_2, \dots, m_n]$ , если  $L \leq M$ , где  $M$  – наименьшее общее кратное натуральных чисел  $m_1, m_2, \dots, m_n$ .

Нелинейным  $R$  – кодом в МСС называется такой код, векторам  $L$  которого соответствуют числа, представленные в МСС с взаимно простыми основаниями  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . Эти коды могут иметь любое минимальное кодовое расстояние  $d_{min}$  в зависимости от степени избыточности, причем для любой заданной МСС величина  $R$  однозначно определяет корректирующие возможности  $R$  – кода.

Легко показать, что  $R$  – код имеет минимальное кодовое расстояние  $d_{min}$  только в том случае, если степень избыточности не меньше произведения любых  $d_{min} - 1$  оснований заданной МСС, т.е.

$$R \geq \prod_{i=1}^{d-1} m_{q_i}, \text{ где } q_i = 1, 2, \dots, n.$$

Будем считать, что основания МСС  $m_1, \dots, m_n$  информационные, а основания  $m_{n+1}, \dots, m_{n+k}$  – контрольные. Если МСС упорядочена ( $m_k < m_{k+1}$ ), то  $d_{min} = k + 1$ , а если МСС расширяется путем добавления  $k$  оснований и каждое из этих оснований больше любого информационного основания, то

минимальное расстояние кода автоматически увеличивается на величину  $k$ . Увеличить  $d_{\min}$  можно также за счет уменьшения числа информационных оснований, т.е. за счет перехода к обработке информации с меньшей точностью. Таким образом, между корректирующими возможностями  $R$  – кодов и точностью обработки информации существует обратно пропорциональная зависимость [1]. Одно и тоже УОИ может выполнять арифметические операции с высокой точностью, но небольшой надежностью или с меньшей точностью, но с более высокой надежностью и скоростью.

Использование данного свойства МСС может быть полезным, например, при учёте изменения насыщенности вспышки метеорного следа в течение сеанса связи, что позволит исключить как неоправданное снижение пропускной способности сети, так и увеличение энергетических затрат передатчика. Например, в ряде случаев качество принимаемого сигнала может оказаться высоким (насыщенная вспышка метеорного следа) и вводимая избыточность может не использоваться.

Рассмотрим, возможность обнаружения ошибок в МСС с одним контрольным  $m_{n+1}$  основанием. Пусть задана упорядоченная МСС основаниями  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . Рабочий диапазон определится величиной  $M = \prod_{i=1}^n m_i$ . Введем одно контрольное основание  $m_{n+1} > m_n$  взаимно простое с любым из информационных оснований. В этом случае полный диапазон МСС определится как произведение  $M_1 = Mm_{n+1}$ .

Если МСС упорядочена, то искаженное число  $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, \tilde{a}_i, \dots, a_{n+1})$  является ошибочным при условии, что  $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{n+1})$  правильное. Таким образом, чтобы обнаружить факт искажения числа  $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+1})$  необходимо сравнить его с рабочим диапазоном  $M$ . Если  $A < M$ , то либо ошибки нет, либо она имеет более сложный характер.

Рассмотрим процедуру исправления ошибок для данного случая. Введем еще одно контрольное основание  $m_{n+2} > m_{n+1}$ . В этом случае полный диапазон МСС определяется как  $M_2 = M_1 m_{n+2}$ . Тогда процедура определения и исправления ошибочного остатка в МСС представится следующим образом.

1. Вычисляются все проекции числа  $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+1}, a_{n+2})$  по всем основаниям МСС:

$$\begin{aligned}\tilde{A}_1 &= (a_2, a_3, \dots, a_n, a_{n+1}, a_{n+2}); \\ \tilde{A}_2 &= (a_1, a_3, \dots, a_n, a_{n+1}, a_{n+2}), \dots; \\ \tilde{A}_{n+1} &= (a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+2});\end{aligned}$$

$$\tilde{A}_{n+2} = (a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+1}).$$

2. Полученные проекции  $\tilde{A}_i (i = \overline{1, n+2})$  сравниваются с рабочим диапазоном  $M$ .

3. Определяется проекция числа, для которой  $\tilde{A}_i > M$ , и исправляем ошибочный остаток как

$$a_i = \tilde{a}_i + \left[ \frac{m_i(1 + jm_{n+1})}{m_{n+1}m_i} - \frac{\tilde{A}}{B_i} \right],$$

где  $B_i = \bar{m}_i M / m_i$  – ортогональный базис МСС;

$j = 0, 1, 2, \dots$ ;  $m_i$  – вес ортогонального базиса.

Из характера рассмотренного  $R$ -кода видно что введенные основания включены в общую систему оснований МСС и коды, содержащие цифры по всем как информационным, так и контрольным разрядам участвуют в любой операции, обработка основных и дополнительных цифр производится совершенно одинаково, без какого-либо различия. Это позволяет считать, что обработка информации в МСС может вестись без контроля каждого полученного промежуточного результата.

## Выводы

1. Применение основных свойств непозиционной МСС при создании СПСМРК может повысить эффективность использования таких систем в направлении обеспечения более высокой производительности, пропускной способности, и отказоустойчивости их функционирования.

2. Способность УОИ в МСС выполнять обменные операции между достоверностью и производительностью параллельно с контролем, диагностикой и исправлением ошибок в динамике процесса обработки информации, может быть полезной при учёте изменения насыщенности вспышки метеорного следа в течение сеанса связи, и использована для повышения пропускной способности МРК.

## Список литературы

1. Методы многоверсионной обработки информации в модулярной арифметике: моногр. / [Барсов В.И., Краснобаев В.А., Сиора А.А., Авдеев И.В.]. – Х.: МОН, УИПА, 2008. – 460 с.
2. Модели и методы повышения отказоустойчивости и производительности управляющих вычислительных комплексов специализированных систем управления реального времени на основе применения непозиционных кодовых структур модулярной арифметики: моногр. / [Барсов В.И., Сорока Л.С., Краснобаев В.А., Хери Али Абдуллах]. – Х.: МОН, УИПА, 2009. – 147 с.
3. Разработка предложений по построению каналов метеорной радиосвязи для обмена информацией в сетях управления и связи // Итоговый отчет о НИР № 3177. – Х., 1992.

Поступила в редакцию 19.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.И. Приходько, Харь-

ковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.

**КОНЦЕПЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖІ ПАКЕТНОГО ЗВ'ЯЗКУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ МЕТЕОРНІ РАДІОКАНАЛИ, НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У МОДУЛЯРНІЙ СИСТЕМІ ЧИСЛЕННЯ**

В.І. Барсов

*Показана можливість і перспективність застосування методів обробки інформації у модулярній системі числення при створенні мережі пакетного зв'язку, що використовує метеорні радіоканали для забезпечення більше високої пропускної здатності й відмовостійкості мережі.*

*Ключові слова:* система метеорного зв'язку, метеорний радіоканал, модулярна система числення.

**CONCEPTION OF INCREASE OF EFFICIENCY OF PACKAGE COMMUNICATION WHICH UTILIZES METEOR RADIO CHANNELS NETWORK, ON BASIS OF THE USE OF METHODS OF TREATMENT OF INFORMATION IN MODULYARNIY TO SCALE OF NOTATION**

V.I. Barsov

*Possibility and perspective of application of methods of treatment of information is shown in the modular scale of notation at networking package connection which utilizes meteor radio channels for providing more high carrying capacity and fault tolerance of network.*

*Keywords:* meteor communication network, meteor radio channel, modular scale of notation.