

*И. И. СНЫТКИН*, канд. техн. наук

**ПОМЕХОЗАЩИЩЕННАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА  
СВЯЗИ С ШПС НЕЛИНЕЙНОЙ СТРУКТУРЫ  
ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ**

---

В существующих системах связи с ШПС для повышения помехоустойчивости используются методы регулярного, равномерного кодирования информационных посылок кодовыми формами симплексных циклических словарей, ортогональных кодовых словарей оптимальных дискретных сигналов [1—3]. При этом длительности используемых кодовых форм одинаковы, а число возможных кодовых словарей ограничено. Однако в настоящее время к большинству систем связи с ШПС стали предъявляться высокие требования по комплексному обеспечению помехозащищенности от естественных и преднамеренных помех, скрытности передачи информации, адаптивности к изменяющейся помеховой обстановке [1; 2]. Решение данных задач известными методами регулярного кодирования становится или весьма затруднительным или (в большинстве случаев) невозможным. Известно, например, что посредством корреляционного анализа радиолинии действующей традиционной системы с ШПС, использующей линейные рекуррентные последовательности (ЛРП), легко установить моменты сверки сигналов, длительности кодовых форм, на основе чего создавать эффективные преднамеренные помехи [2]. Осо-

бенно остро эти задачи стоят по отношению к многоканальным системам связи с ШПС, где эффективное использование частотно-энергетических ресурсов систем является важнейшим вопросом их практического использования.

Одним из эффективных путей комплексного обеспечения помехозащищенности, скрытности, имитостойкости связи с ШПС является построение таких систем с ШПС, которые используют кодовые словари ШПС переменной длительности кодовых форм в программно-управляемом режиме, т. е. используют методы нерегулярного, неравномерного кодирования. Возможности данных методов связаны прежде всего с использованием свойств нелинейных рекуррентных последовательностей (НЛРП) в виде характеристических кодов, кодов квадратичных вычетов, существующих для практически произвольных длительностей  $L = p, p-1, p^n-1$ , где  $p$  — простое число,  $n = 2, 3, \dots$  [3].

Ниже рассматриваются некоторые вопросы построения, функционирования и эффективности подобного рода систем связи с ШПС.

*Принципы функционирования.* По существу системы такого рода являются адаптивными, гибко реагирующими к внешним и внутренним условиям функционирования путем изменения длительности кодовых форм. Рассмотрим некоторые возможные режимы работы таких систем.

*Автоматический режим следящей адаптации к изменяющейся активности каналов.* В период функционирования многоканальной системы активность различных каналов (или групп каналов) изменяется. В этом случае для повышения помехоустойчивости связи важно равномерно распределять и полностью использовать частотно-энергетические ресурсы (ЧЭР) системы. Так, в период малой активности по потоку определенных групп каналов можно передавать информационные послышки кодовыми формами большей длительности, тем самым отдавая ЧЭР «неработающих» каналов «работающим». А в период значительной активности большинства групп каналов с той же целью имеет смысл передавать информационные послышки кодовыми формами меньшей длительности, но с лучшими корреляционными свойствами, равномерно распределяя ЧЭР системы и уменьшая внутри-системные помехи. Для обеспечения данного режима необходимо динамично реагировать на эти изменения активности каналов путем ее интегрированной оценки по импульсам и по потоку, вычисляя следующие значения: 1) среднее значение активности по импульсам каждого канала в группе:

$$M_{и_i} = \frac{\sum_j n_j}{\sum_j t_j},$$

где  $n_j$  — число информационных импульсов во время  $j$ -го сеанса связи,  $t_j$  — время  $j$ -го сеанса связи; 2) среднее значение активности по потоку каждого  $i$ -го канала в группе:

$$M_{п_i} = \frac{\sum_j t_j}{t_{\text{ан}}}.$$

где  $t_{\text{ан}}$  — время анализа; 3) средние значения  $M_{N_p}$ ,  $M_{\Pi_p}$  для каждой  $p$ -й группы каналов:

$$M_{N_p} = \sum_{i=1}^p M_{N_i} / k; \quad M_{\Pi_p} = \sum_{i=1}^p M_{\Pi_i} / \sum_i t_{\text{ан}}$$

где  $k$  — число каналов в группе.

Затем необходимо осуществлять сравнение  $M_{N_p}$  и  $M_{\Pi_p}$ , если  $M_{\Pi_p} \gg M_{N_p}$ , то данная группа каналов считается неактивной, и наоборот. Таким образом подсчитывается число  $n_{\text{акт}}$  активных и число  $n_{\text{н. акт}}$  неактивных групп каналов. Величина  $\eta = (n_{\text{н. акт}} / n_{\text{акт}}) \cdot 100\%$  является выходным управляющим сигналом соответствующего блока интегрированной оценки активности каналов. На основании этого сигнала решающее устройство принимает решение, как изменить и на сколько увеличить или уменьшить длительность  $L$  кодового словаря или оставить  $L$  той же, но значительно улучшить свойства (ансамблевые) кодового словаря с точки зрения внутрисистемных и структурных помех. При этом изменение помехоустойчивости каждого канала оценивается следующим образом. Если за помехоустойчивость принять отношение энергии сигнала в период свертки информационной кодовой формы к энергии шума в тот же период  $[1] \quad \kappa/\psi = (P_c \cdot t_c) / (P_{\text{ш}} \cdot t_{\text{св}})$ , где  $P_c$ ,  $P_{\text{ш}}$  — мощности сигнала и шума,  $t_{\text{св}}$  — время свертки,  $t_c$  — время существования сигнала, то абсолютное приращение отношения сигнал-шум в каждом канале будет оцениваться как  $\Delta(\kappa/\psi) = (P_c \cdot \Delta t_c) / (P_{\text{ш}} \cdot t_{\text{св}})$ , а относительное — как  $\eta = \Delta(\kappa/\psi) / (\kappa/\psi) = \Delta t_c / t_c$ . В связи с нелинейной зависимостью вероятности ошибки  $P_{\text{ош}}$  на бит информации от отношения сигнал-шум существенное увеличение  $P_{\text{ош}}$  обеспечивается уже при незначительных увеличениях  $\eta$  [1].

*Режим программной адаптации к изменяющейся помеховой обстановке.* В процессе функционирования системы связи с ШПС возможна различная внешняя помеховая обстановка, например, могут возникнуть мощные энергетические преднамеренные и непреднамеренные помехи. Это потребует от системы «закрытия» некоторых каналов и предоставления всего ЧЭР только самым важным каналам по принципу приоритета. В таких условиях необходимо значительно удлинять информационные кодовые формы, повышая энергию сигнала в каждом приоритетном канале. Для обеспечения данного режима следует постоянно производить анализ внешней помеховой обстановки по сигналам о вероятностях ошибочного приема  $P_{\text{ош}}$  каждого канала в некотором программно-управляющем блоке, который в соответствии с программой (в случае необходимости) будет «закрывать» одни каналы и предоставлять ЧЭР системы другим приоритетным каналам, а также давать команды на формирование соответствующих новых кодовых словарей с измененной длительностью кодовых форм. В данном режиме приращение  $\Delta L = \Delta t_c$  кодовых форм ликвидиру-

ет приращение мощности шума  $\Delta P_{ш}$  таким образом, что отношение сигнал-шум для приоритетных каналов должно оставаться неизменяемым:

$$c/\text{ш} = \frac{P_c(t_c + \Delta t_c)}{(P_{ш} + \Delta P_{ш}) \cdot t_{св}} = \frac{P_c \cdot t_c}{P_{ш} \cdot t_{св}} = \text{const.}$$

При таком условии необходимое приращение длительности  $\Delta t_c$  кодовых форм равно  $\Delta t_c = (\Delta P_{ш}/P_{ш}) \cdot t_c$ .

Алгоритм оценки  $\Delta P_{ш}$  и, следовательно,  $\Delta t_c$  закладывается в программно-управляющий блок, и при достижении определенного порогового значения  $\Delta P_{шн}$  в системе производится смена длительности кодовых форм.

*Режим обеспечения скрытности, имитостойкости связи.* Смена кодовых форм в любом из режимов обеспечивает и достижение такой важной цели, как повышение скрытности, имитостойкости связи, один из параметров которых (скрытность  $S_v$ , арсенала сменных параметров) оценивается как [4]  $S_v = \log V$ , где  $V$  — объем сменных параметров, в нашем случае — объем возможно используемых кодовых форм. Однако в первых двух режимах повышение скрытности и имитостойкости достигается при значительном перераспределении ЧЭР, «закрытии» отдельных каналов, т. е. снижении информативности системы.

В то же время достижение высокой помехозащищенности от структурных помех и скрытности можно обеспечить при незначительном изменении длительности  $L$  на величину  $|\Delta L| \leq 10$ , оставляя все остальные характеристики системы (например, число одновременно работающих каналов) практически постоянными. Так, если каждому  $i$ -му из « $k$ » каналов ставится в соответствие одна из  $N$  кодовых форм определенной длительности  $L_i$ , то средняя длина используемых кодовых слов определяется как

$$L_{срj} = \sum_{i=1}^N L_{ij} \cdot P_{ij},$$

где  $P_{ij}$  — вероятность появления информационной посылки  $L_i$  из  $j$ -го канала.

В свою очередь

$$P_j = \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{1}{T_{jcp}(t)} \right) \sum_{i=1}^k \frac{1}{T_{jcp}(t)} dt,$$

где  $T_{jcp}(t)$  — средний период выдачи информационных посылок из канала;  $T$  — время сеанса связи.

Среднюю длину используемых кодовых слов в системе в процессе большого числа сеансов связи можно оценить как

$$L_{ср.общ.} = \left( \sum_{j=1}^{Ck} L_{срj} \right) / C_N^k.$$

Модуль среднего отклонения длительности кодового слова от средней длительности  $L_{\text{ср. общ.}}$  оценивается как

$$|\Delta L_{\text{ср}}| = |L_{\text{ср. общ.}} - \left( \sum_{i=1}^N L_i \right) / N|.$$

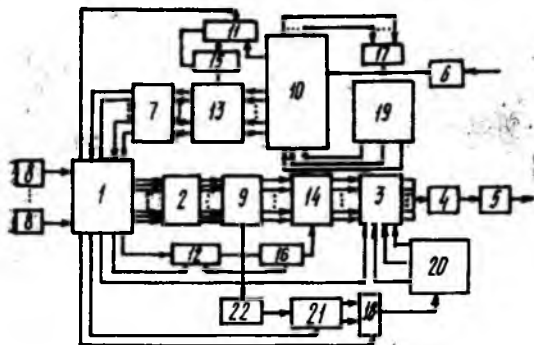
Отсюда средние энергетические потери в каждом канале оцениваются как

$$\eta = |\Delta L_{\text{ср}}| / L_{\text{ср. общ.}} = \left| 1 - \left( \sum_{i=1}^N L_i \right) \cdot C_N^k / N \cdot \left( \sum_{j=1}^{Ck} L_{\text{ср}j} \right) \right|.$$

Так, при  $|\Delta L_{\text{ср.}}| \ll 10$ , и  $L_{\text{ср}} \gg 100$  имеем  $\eta \leq 5\%$ .

Таким образом, при незначительных уменьшениях длин  $L$  кодовых слов в словаре потери энергии в каждом канале невелики, в то время имеет место повышение помехозащищенности и скрытности системы в целом.

*Построение и порядок работы системы.* Рассмотрим построение и порядок работы подобных систем связи с ШПС на примере работы [5]. На рисунке приведена структурная электрическая схема



системы, включающая блок 1 управления и коммутации, блок 2 статистического уплотнения, кодово-адресную матрицу 3, преобразователь 4, передатчик 5, приемник 6, блок разделения каналов, оконечные абонентские комплекты 8, блок 9 образования групп каналов, блок 10 выделения каналов, генераторы 11 и 12 рекуррентных последовательностей, блоки 13 и 14 коммутации, дешифраторы 15 и 16, блоки 17 и 18 формирования команд управления, формирователи 19 и 20 групп сигналов, решающий блок 21, блок 22 оценки активности групп каналов.

Перед началом связи с помощью блока 1 управления и коммутации по соответствующим выходам для каждой линии связи устанавливается определенное начальное состояние генераторов 11 и 12, а также псевдослучайный во времени закон моментов перекоммутации соответствий между состояниями групп каналов, образуемых блоком 9, и кодово-адресными группами, согласованный с работой системы таким образом, что выдача сигналов о перекоммутации сигнала считывания на генератор 12 и сигнала управления на соответствующий вход кодово-адресной матрицы 3 для выдачи маркера перекоммутации осуществляется только в моменты времени после выдачи информационной кодово-адресной группы из матрицы 3. После этого выдается сигнал о начальной установке коммутации — сигнал «Начальное считывание» из блока 1,

обеспечивающий считывание начально установленной рекуррентной последовательности из генератора 12 в дешифратор 16 и следующую за этим выдачу из дешифратора 16 на управляющий вход блока 14 коммутации сигнала установки начального соответствия между состояниями групп каналов и кодово-адресными группами матрицы 3. В тот же момент со второго выхода дешифратора 16 на соответствующий вход генератора 12 поступает сигнал о сдвиге начальной рекуррентной последовательности на один такт для формирования новой последовательности. Посредством блока 1 на соответствующий вход 18 подается сигнал выбора кодового словаря. Блок 18 на вход формирователя 20 выдает команду на формирование определенного кодового словаря.

Формирователь 20 формирует определенный словарь рекуррентных последовательностей определенной длительности и выдает эти последовательности в кодово-адресную матрицу 3. При этом сигнал по другому выходу формирователя 20 регулирует моменты записи каждой последующей последовательности в кодово-адресную матрицу 3. По окончании формирования словаря формирователь 20 по своему третьему выходу в матрицу 3 выдает сигнал «Конец формирования словаря», являющийся разрешающим на выдачу из матрицы 3 маркерной последовательности.

Считанная маркерная последовательность из матрицы 3, пройдя преобразователь, 4, передатчик 5, линию связи, приемник 6, поступает в блок 10 выделения каналов. Блок 10 выделяет маркерную последовательность и выдает по одному своему выходу на второй вход генератора 11 сигнал «Считывание», обеспечивающий считывание начально установленной рекуррентной последовательности на вход дешифратора 15, который выдает на управляющий вход блока 13 коммутации сигнал установки начального соответствия между состояниями групп информационных каналов блока 10 и выходами блока 7 разделения каналов; выдает также на третий вход генератора 11 сигнал о сдвиге начальной рекуррентной последовательности на один такт, тем самым формируя новую рекуррентную последовательность, идентичную последовательности на передающей стороне. В тот же момент по одному из дополнительных выходов блока 10 поступает сигнал в блок 17, который выдает управляющую команду в формирователь 19. Формирователь 19 также формирует определенный кодовый словарь, идентичный словарю, сформированному формирователем 20, и выдает по своим трем выходам сигналы и рекуррентные последовательности, при этом сигнал «Конец формирования словаря» является сигналом, разрешающим блоку 10 прием информационных сигналов. После этого система готова к сеансу связи.

В режиме сеанса связи система работает следующим образом. Блок 1 осуществляет управление и коммутацию оконечных абонентских комплектов 8 к передающей и приемной частям системы, управление и коммутацию выделенных в приемной части каналов на передачу (режим ретрансляции). В результате этого в блок 2 статистического уплотнения по раздельным каналам по-

ступают информационные посылки. В последнем проводится статистическое уплотнение передаваемой информации.

В блоке 9 образования групп каналов осуществляется параллельный опрос  $p$  групп каналов, каждый из которых содержит  $K$  каналов, и каждому состоянию каждой группы ставится случайное соответствие, установленное к данному моменту времени посредством блока 14 коммутации, т. е. соответствующая кодово-адресная группа матрицы 3, в которой записан действующий в данный период времени кодовый словарь. С кодово-адресной матрицы 3 производится параллельное считывание кодово-адресных групп (рекуррентных последовательностей) на вход преобразователя 4, который вместе с передатчиком 5, обеспечивает последовательную передачу кодово-адресных групп в магистральную линию связи. Из линии связи кодово-адресные группы поступают в приемник 6, а затем в блок 10, в котором каждой кодово-адресной группе ставится в соответствие определенное состояние группы каналов. Пособством блока 13 коммутации на основании принимаемого и обрабатываемого блоком 10 сигнала-маркера подключаются соответствующие входы блока 7 разделения каналов. Последний осуществляет разделение каналов и восстановление в них информационных посылок, которые поступают на конечные абонентские комплексы 8 или в передающую часть системы в режиме ретрансляции.

При этом в период действия в системе определенного кодового словаря система обеспечивает по случайному закону во времени, устанавливаемому в блоке 1, перекоммутацию соответствий между состояниями групп каналов блоков 9 и 10 и входами матрицы 3 и блока 7. Для этого из блока 1 на второй вход генератора 12 поступает сигнал «Считывание» на основании которого в дешифратор 16 считывается новая рекуррентная последовательность, последний дешифрирует ее и выдает соответствующий сигнал о перекоммутации в блок 14 коммутации. В тот же момент из блока 1 на соответствующий вход матрицы 3 поступает сигнал на выдачу маркерной последовательности, которая выделяется блоком 10. Последний выдает по своему первому выходу сигнал «Считывание» на второй вход генератора 11. Считываемая с последнего на дешифратор 15 последовательность дешифрируется и в блок 13 коммутации поступает соответствующий сигнал о перекоммутации, идентичный сигналу на передающей стороне. При этом в генераторах 11 и 12 на основании сигналов, поступающих из дешифраторов 15 и 16, обеспечивается сдвиг предыдущей рекуррентной последовательности на один такт. Причем при выделении маркерной последовательности блок 10 выдает сигнал и по определенному дополнительному выходу, соответствующему действующему словарю, однако данный сигнал блоком 17 не воспринимается как «Маркер нового словаря», т. е. блок 17 хранит в себе сигнал о маркере действующего словаря.

Практическая реализация и использование подобного рода систем предполагает предварительное решение одной весьма важной

задачи в теории и практике систем с ЦПС — построение достаточно простых средств генерирования кодовых словарей нелинейных рекуррентных последовательностей оптимальных свойств с произвольными длительностями. Исследование и решение данных вопросов представляет собой отдельное направление в теории и практике систем с ЦПС и выходит за рамки данной статьи.

Список литературы: 1. *Варакин Л. Е.* Система связи с шумоподобными сигналами. М., 1985, 384 с. 2. *Диксон Р. К.* Широкополосные системы: Пер. с англ./ Под ред. Журавлева В. И. М., 1979, 302 с. 3. *Свердлик М. Б.* Оптимальные дискретные сигналы. М., 1975, 201 с. 4. *Каневский З. М.* Энтропийная оценка крытности радиопередачи//Радиотехника. 1980. № 4. С. 32. 5. А. с. 856027. СССР. Устройство для уплотнения и коммутации каналов связи/И. И. Сныткин// Открытия. Изобретения. 1981. № 30. С. 298.

*Поступила в редколлегию 17.06.88*