

**ВКЛАД УЧЕНЫХ АКАДЕМИИ СВЯЗИ В РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ
ОРТОГОНАЛЬНЫМИ СИГНАЛАМИ**

**CONTRIBUTION OF ACADEMY OF TELECOMMUNICATIONS SCIENTISTS
IN DEVELOPMENT OF THEORY OF ORTOGONAL SIGNAL TRANSMISSION SYSTEMS**

Аннотация. В статье приводится обзор основных достижений ученых академии связи в области теории и практики построения систем передачи ортогональными сигналами

Summary. The article presents review of basic achievements of Academy of Telecommunicatins scientists in theory and practice of theory and practice of designing of orthogonal signal transmission systems.

Сегодня системы передачи (СП) цифровой информации, использующие системы ортогональных сигналов, одновременно и независимо модулируемые передаваемыми сигналами данных (СП ОС), находятся вне конкуренции при работе по «несовершенным» (imperfect) средам. Под «несовершенными» понимают среды передачи и линии связи, отличающиеся ненормированными и нестабильными частотными характеристиками, наличием сосредоточенных по спектру и импульсным помехам. К таким средам и линиям связи, например, относятся радиоканалы с быстрыми селективными по частоте замираниями, абонентские линии связи, построенные на многопарных кабелях ГТС, со значительными частотными искажениями характеристик, импульсными и сосредоточенными по спектру помехами. Широкое распространение СП ОС связано с тем, что они обеспечивают более высокую, чем системы передачи с частотным либо временным разделением сигналов, эффективность передачи информации по каналам связи с такими характеристиками.

Наибольшее распространение, в силу ряда достоинств, получила для построения СП ОС система ортогональных гармонических сигналов (ОГС). Так, например, система высококачественного стереофонического радиовещания с качеством компакт-диска в УКВ диапазоне T-DAB использует метод модуляции CODFM (Coding Orthogonal Frequency Division Multiplex). Разработан стандарт на основе CODFM для передачи цифрового телевидения высокой четкости. СП ОС, использующие ортогональные гармонические сигналы (СП ОГС) (многоканальные или многочастотные модемы), успешно применяются для передачи информации по полосно-ограниченным проводным каналам и физическим линиям связи (модем WordBlaser фирмы Telebit). Для передачи по абонентским двухпроводным линиям связи рекомендацией ITU G.992 регламентирован асимметричный способ передачи данных линии (ADSL). Стандартом рекомендуется для ADSL метод передачи ОГС, названный DMT (Discrete Multi Tone). ADSL-модем обеспечивает скорость передачи по абонентским линиям до 7 Мбит/с «вниз» к абоненту и до 768 кбит/с «вверх» к цифровой сети. DMT-модуляция рекомендована также для построения VDSL-модемов на скорость передачи по абонентским линиям до 54 Мбит/с (Рекомендация ITU G.993). Аппаратура мобильной связи CDMA компании QUALCOMM Incorporated использует для разделения канальных сигналов ортогональные функции Уолша и обеспечивает пропускную способность в 10...20 раз выше, чем у аналоговых систем AMPS (American Advanced Mobile Phonesystem), и втрое выше, чем у других технологий цифровой радиосвязи.

Первыми СП ОС, нашедшими практическое использование на сети связи, были модемы «Кинеплекс» [29]. Они применялись в конце 50-х годов американскими вооруженными силами для связи по КВ радиоканалу с военными базами, разбросанными по всему миру. В «Кинеплексе» использовалось 40 ортогональных гармонических несущих, модулируемых сигналами четырехпозиционной ФРМ, что обеспечивало скорость передачи цифровой информации 3,1 кбит/с по радиоканалу с полосой частот 0,3...3,4 кГц.

В начале шестидесятых годов в Ленинградском электротехническом институте связи под руководством проф. Заездного А.М. была начата научно-исследовательская работа, положившая начало исследованиям в области СП ОС и завершившаяся разработкой в 1968 году первой в СССР СП ортогональными гармоническими сигналами МС-5 [17].

В Одесском электротехническом институте связи (ОЭИС) на кафедре дальней связи (кафедра телекоммуникационных систем – ТКС), которой руководил доцент Лев А.Ю., в это время сложилась одна из первых и наиболее плодотворных в научном плане школа по проблемам передачи данных по

полосноограниченными каналами связи, организуемой многоканальной аппаратурой с частотным разделением каналов и трактов. Важнейшим направлением исследований стала адаптивная коррекция частотных характеристик каналов связи. В этом направлении были достигнуты значительные успехи. Достаточно сказать, что первый автоматический корректор фазо-частотных характеристик каналов тональной частоты был построен в ОЭИС в 1965 году коллективом разработчиков: Беркович Д.А., Бритнер Л.П., Лев А.Ю. [16]. По результатам исследований был опубликован ряд научных статей, монографий, учебников [31...33]. Этой школой воспитан ряд известных ученых: д.т.н., проф. Кисель В.А., д.т.н., проф. Куля В.И., декан факультета МЭС, проф. Павличенко Ю.А., к.т.н., доценты Брескин В.А., Бритнер Л.П., Кись О.Н., Нудельман П.Я., Пашолок П.А. и многие другие.

Тематика научных исследований по коррекции и разработке одноканальных (последовательных) модемов осталась ведущей на кафедре телекоммуникационных систем по настоящее время.

Одновременно с исследованиями в области коррекции учеными кафедры велись теоретические и практические работы в области разработки СП ОС. К числу первых работ в этом направлении следует отнести монографию Куля В.И. «Ортогональные фильтры».

Начало исследований в институте в области разработки многоканальных модемов с ОГС типа «Кинеплекс» связано с переездом в 1966 году из Ленинграда в Одессу одного из разработчиков аппаратуры МС-5 Раховича Л.М.

В период с 1968 по 1971 год по заданию НИИЭТУ (г. Ленинград) научным коллективом под руководством Раховича Л.М. была выполнена «пионерская» разработка многоканального модема «Полиорт», обеспечивающего скорость передачи до 96 кбит/с по первичному каналу связи с полосой частот 60...108 кГц [20]. Модем предназначался для передачи из Москвы матриц центральных газет в областные редакции. Существующая для этих целей в то время аппаратура «Газета-2» работала по вторичному широкополосному каналу связи с полосой 240 кГц и осуществляла передачу одной страницы газеты за 4 мин., а модем «Полиорт» эту информацию передавал за то же время по каналу в пять раз уже по полосе частот. По независящим от разработчиков причинам этот проект дальнейшего развития не получил. По результатам этих исследований были защищены кандидатские диссертации Байданом И.Е. (доц. каф. ТКС) и **Отливанским А.Л.** [35].

В начале 70-х годов на кафедре МСП образовалась вторая группа по исследованиям многоканальных модемов под руководством к.т.н. Нудельмана П.Я. Группа начала систематические научные изыскания в области СП ОС и многоканальных модемов в частности. В это время в мире значительно возрос интерес к СП, использующим различные системы ортогональных сигналов. Появились основополагающие работы Чанга Р., Зальцберга Б., Хармута Х., Дядюнова Н.Г [42].

Первыми серьезными результатами работы нового научного коллектива явились теоретические исследования модемов, предложенных Р. Чангом. Были исследованы свойства передаточных функций каналов многоканального модема Р. Чанга, разработана методика и осуществлен анализ интерференционных помех, порождаемых в модеме линейными частотными искажениями передаваемых сигналов [18, 19]. По результатам исследований была защищена кандидатская диссертация Гуцалюком А.К. (сегодня он заместитель директора УНИИРТ по научной работе). Одним из результатов проведенных исследований было выявление принципиальных достоинств систем ортогональных сигналов, каждый из которых занимает узкий диапазон частот относительно полосы частот канала связи. Идеальной в этом плане является СП ОС с узкополосными не-перекрывающимися по спектру сигналами. Такие СП ОС позволяют эффективно противостоять воздействию сосредоточенных по спектру и импульсных помех, оптимально формировать спектр сигнала с учетом частотных характеристик каналов связи, осуществлять частотно-временную обработку принимаемых сигналов и др. Исследования также продемонстрировали негативные стороны модемов Р. Чанга: высокую чувствительность к линейным искажениям характеристик каналов модема, к неоптимальности установки фаз тактовой и несущих частот. Эти обстоятельства стимулировали исследования других систем ортогональных сигналов. Новый этап исследований в области СП ОС связан с заключением институтом крупного по тем временам договора на сумму более полумиллиона рублей на выполнение научно-исследовательской работы с КБ «Кабель» г. Уфа по теме «Изыскание путей совершенствования и разработки узлов многоканальной аппаратуры с разделением каналов по частоте» шифр «Азур - Н» [22]. В это время кафедру ТКС (она называлась кафедрой МЭС) возглавлял (с 1969 г) доцент Павличенко Ю.А., нынешний декан факультета ТКС и зав. кафедрой ТКС. На кафедре была создана в 1970 году отраслевая научно-исследовательская лаборатория НИЛ СПБС (НИЛ систем передачи бинарных сигналов), которой руководил Гуцалюк А.К. О масштабах исследований, проводимых НИЛ СПБС в те годы, говорит тот факт, что в

лаборатории работало более 120 сотрудников и студентов, из них - 48 штатных, более 20 совместителей преподавателей и более 50 студентов. Исследования по теме «Азур-Н» выполнялись по нескольким направлениям: коррекция широкополосных трактов, оценка ФЧХ каналов связи, разработка систем передачи цифровой информации по полосноограниченным каналам связи. Достаточно плодотворное сотрудничество института с КБ «Кабель» продолжалось до 1991 года. Одну из НИР в рамках работ по теме «Азур-Н» возглавил к.т.н. Нудельман П.Я. Это было время широкого внедрения цифровых методов обработки сигналов, стимулирующих исследование новых, порой весьма оригинальных, способов передачи и методов обработки сигналов. В рамках упомянутой НИР был исследован новый принцип построения многоканальных систем передачи, названный УПВМ (уплотнение преобразованием временного масштаба).

Суть способа многоканальной передачи телефонных сигналов УПВМ заключался в том, что осуществлялось АИМ-преобразование индивидуальных канальных сигналов, их сжатие в число раз, несколько превышающее число каналов, объединение АИМ-импульсов каждого из каналов в группы импульсов, которые затем передавались друг за другом. Между группами импульсов различных каналов создавались временные защитные интервалы с целью уменьшения мощности межканальных интерференционных помех.

С целью дополнительного уменьшения межканальных интерференционных помех было предложено использовать для передачи АИМ-импульсов каждой группы соответствующее число ортогональных сигналов, модулируемых передаваемыми АИМ-импульсами. Предложенные решения защищены тремя авторскими свидетельствами, двумя – на способы связи и одним – на устройство коррекции [1, 3]. Наряду с этим был получен ряд теоретических результатов: аналитическое описание асимптотического поведения импульсной реакции полосноограниченной линейной системы; оценка мощности интерференционных помех в УПВМ, для целей многоканальной связи определены сигналы конечной длительности, максимально сконцентрированные в частотной области [14, 38]. По результатам исследований были подготовлены и защищены кандидатские диссертации Криля С.С. (декан факультета информационных технологий и почтовой связи), Попова Г.Н. (проректор по учебной части Новосибирского электротехнического института связи).

Наряду с исследованием системы УПВМ разрабатывались принципы построения аппаратуры многоканальной электросвязи, использующей ортогональные функции Уолша и родственные им двоичные функции [38]. Большое внимание исследователей всего мира в это время привлекали проблемы построения аппаратуры МЭС с цифровым формированием и демодуляцией группового сигнала, а также связанная с этим проблема сопряжения аналоговой аппаратуры МЭС со стремительно распространяющимися ЦСП с ИКМ. В результате научных исследований группой под руководством Нудельмана П.Я. были разработаны эффективные цифровые алгоритмы функционирования систем передачи с ЧРК и устройств сопряжения аналоговых и цифровых трактов – трансмультиплексоров [23].

Система передачи УПВМ была оттеснена на «обочину» главного пути развития систем передачи цифровой информации по полосноограниченным каналам аппаратуры МЭС стремительным развитием модемов – устройств преобразования сигналов (УПС). Модемная тематика в работах НИИ СПБС в то время занимала ведущее положение. Одно из направлений этой тематики - исследования и разработка одноканальных (последовательных) модемов - возглавлял доцент Брескин В.А., под руководством которого сложился высокопрофессиональный и эффективно работающий творческий коллектив, на счету которого ряд серьезных достижений в области теории и практики построения последовательных УПС. Из работавших в этом коллективе и защитивших кандидатские диссертации по модемам известные сегодня специалисты: Лазарев А.М., Пантелеев В.В., Печерский В.И., Шевченко Ю.В. В рамках выполнения НИР «Азур-Н» развивались также исследования по многоканальным модемам (СП ОГС): было обосновано преимущество многоканальных модемов с ОГС как перед одноканальными модемами, так и перед многоканальными, использующими другие системы ортогональных сигналов [14, 40]. Вследствие этого дальнейшие исследования в области СП ОС продолжались как в направлении теоретического изучения метода передачи ортогональными сигналами, так и в направлении исследований и разработки принципов и технических решений по построению СП ОГС. Одним из первых важных результатов в этом направлении стало обоснование применения быстрых алгоритмов дискретного преобразования Фурье (ДПФ) для выполнения операций модуляции и демодуляции в многоканальных УПС с ОГС [2, 21]. В результате был устранен существенный в те времена недостаток многоканальных модемов этого типа - высокая вычислительная сложность алгоритмов обработки по сравнению с одноканальными УПС. Этот недостаток ограничивал число используемых сигналов и существенно снижал преимущества

многоканальных УПС, проявляющиеся при большом (сотни и тысячи) числе используемых для передачи ортогональных сигналов. Другим существенным предложением в области СП ОС был способ многоканальной передачи, использующий дополнительный опорный сигнал (ДОС) для целей обужения частотных характеристик (спектров) гармонических сигналов [4, 5, 6, 12]. Применение метода ДОС для построения СП ОГС привело к практическому стиранию отличий между модемами Р. Чанга с полосноограниченными ортогональными сигналами и модемами с гармоническими сигналами конечной продолжительности. Наряду с этим была осуществлена разработка всех необходимых для функционирования многоканального модема алгоритмов обработки сигналов, в результате чего был разработан по заказу КБ «Кабель» 45-канальный модем для работы по вторичному широкополосному тракту 312...552 кГц со скоростью передачи до 480 кбит/с [21]. Сравнительно небольшая по нынешним временам скорость передачи объясняется тем, что канал связи образовывался аппаратурой специального назначения, в спектре вторичной группы которой располагалось до пяти контрольных частот и соответствующих им режекторных фильтров. Разработка была доведена до макета вычислителя ДПФ и прекращена в связи с изменением планов работы КБ. Работы в этом направлении были продолжены в рамках договора с Киевским филиалом ЦНИИС-КОНИИС (сегодня это УНИИС) «Изыскание принципов построения оптимального варианта параллельного УПС для канала ТЧ». Совместно с КОНИИС был разработан 48-канальный модем для передачи по каналу ТЧ (тональной частоты) со скоростью 9,6 кбит/с, предназначенный для использования в комплексе аппаратуры телеграфирования «Гантал».

Модем был изготовлен и прошел линейные испытания, которые подтвердили его ожидаемые характеристики. Модем обеспечивал высокую по тем временам скорость передачи и был устойчив к прерываниям связи, скачкам фазы и уровня сигналов. Для обеспечения надежной работы по каналу ТЧ с пятью переприемами был разработан и изготовлен предварительный цифровой фазовый корректор [13]. Известные политические события 1991 года прервали работы по дальнейшему внедрению модема. Параллельно с этой работой по заказу НИИ Аккорд (г. Черкассы) осуществлялась разработка многоканального УПС на скорость передачи 16 кбит/с с микропроцессорной реализацией [39]. По результатам исследования был получен ряд авторских свидетельств на изобретения, сделан вклад в ИТУ (Рекомендация R-21), защищены диссертации Темесовым А.М., Балашовым В.А., Ильиченко В.Ю., Королем Ю.В., Склярсом В.С., Фоминой Г.Т.

К основным теоретическим результатам этого периода следует отнести: доказательство уникальности с точки зрения минимума межканальных интерференционных помех систем передачи с сигналами (каналами), разделенными по частоте [33]; решение задачи синтеза сигналов конечной продолжительности и минимальной энергии, спектр которых с заданной точностью аппроксимирует предписанную функцию в ограниченном диапазоне частот [27]; доказательство эквивалентности с точки зрения суммарных интерференционных помех всевозможных ортогональных систем сигналов при Найквистовой скорости передачи [36]; разработку методов математического моделирования СП ОГС, методов оценки интерференционных помех и снижения их мощности, методов имитационного моделирования СП ОГС на ПЭВМ, оценки и компенсации джиттера, методов адаптивной коррекции частотных характеристик каналов связи [7...9, 15, 41]. Наряду с этим был предложен ряд технических решений по построению СП ОГС, защищенных авторскими свидетельствами [5, 10, 11, 26, 37]. В работах по развитию теории СП ОГС этого периода активное участие принимал проф. Панфилов И.П, при непосредственном участии которого получен ряд упомянутых теоретических и практических результатов. Под научным руководством проф. Панфилова И.П. была подготовлена и защищена докторская диссертация Балашовым В.А., в которой обобщены результаты многолетних исследований в области теории и реализации СП ОС большого коллектива исследователей.

К сожалению, уже упомянутые политические и экономические катаклизмы, преждевременный уход из жизни идейного руководителя и организатора исследований Нудельмана П.Я. замедлили теоретические исследования и практические работы в области СП ОГС. Уже после смерти Нудельмана П.Я. были подготовлены и опубликованы его работы: «Базисы Найквиста-Котельникова», в которой формулируется общий подход к синтезу всевозможных систем сигналов, удовлетворяющих обобщенному критерию Найквиста, и доказан ряд их общих свойств [30]; «О числе ортогональных сигналов в заданном диапазоне частот», в которой дано новое обоснование известного соотношения для числа ортогональных сигналов – $2TW$ [31].

В 90-е годы прошлого столетия был разработан многоканальный УПС-1024, названный и изготовленный сотрудниками ОНАС совместно с частным научно-производственным предприятием «Фактор» (г. Киев). Модем использует 195 гармонических сигналов и обеспечивает скорость передачи 1024 кбит/с по линейным трактам аппаратуры К-60 и вторичным широкополосным

каналам зв'язи. Модем використовується в складі апаратури «Гамма-ЦТ», забезпечуючої передачу 60 цифрових телефонних сигналів (єсть варіант – 120 телефонних сигналів) по аналоговим широкополосним трактам [28]. Значительний вклад в розробку цього модема вніс к.т.н. Кузнецов В.А. На базі отриманих результатів в ОНАС вперше не тільки в Україні, але і в країнах СНГ, були розроблені експериментальні зразки сучасного обладнання абонентського доступу по технології xDSL.

В наші часи дослідження в області побудови СП ОГС продовжуються і стимулюються тим інтересом, який проявляється к ним розробниками. Основні напрями досліджень - це ефективні методи корекції частотних спотворень по критерію обмеження тривалості імпульсної реакції сквозного тракту передачі; спільне застосування сигнально-кодових конструкцій і виправляючих помилок кодів; оптимальне формування спектра групового сигналу. Проблеми оптимального формування спектра групового сигналу стали предметом досліджень кандидатської роботи Ляховецького Л.М., захищеної в останнє час (2002 г.).

От автора.

В цій статті далеко не повністю відображена науково-дослідницька діяльність співробітників академії зв'язи в області теорії і практики СП ОС, в основному освітлені результати лише одного з колективів - кафедри ТКС, співробітником якої був автор. Справедливої ради необхідно відзначити, що дослідження СП ОС проводились і на інших кафедрах інституту, серед яких в першу чергу слід назвати кафедри теорії електричної зв'язи, теорії лінійних електричних кіл, електронних і квантових пристроїв, телебачення. Значительну увагу проблематиці передачі інформації ортогональними сигналами приділено в роботах професора Киселя В.А. Одна з перших кандидатських дисертацій по дослідженню СП, використовуючих функції Уолша, була захищена викладачем кафедри електронних і квантових пристроїв Матвейчуком В.П.

Автор не ставив метою повномасштабного освітлення історії розвитку теорії СП ОС ученими академії, тому приносить свої вибачення за невольні умовчання і можливе спотворення деяких фактів.

Література

1. А.с. 1125756 ССРСР, МКИ³ Н 04 L 27/22. Спосіб багатоканалної зв'язи і пристрій для його здійснення / В.А. Балашов, С.С. Криль, П.Я. Нудельман, Ю.А. Павличенко - № 2862675, Заявлено 04.02.80; Опубл. 23.07.84. Бюл. № 43.
2. А.с. 1297250 ССРСР, МКИ³ Н 04 L 27/22. Многоканальний модем / В.А. Балашов, А.Т. Байкова, П.Я. Нудельман, А.М. Темесов, Г.Т. Фомина - № 3967484; Заявлено 11.10.85; Опубл. 15.11.86. Бюл. №10.
3. А.с. 832749 ССРСР, МКИ³ Н 04 L 27/22. Спосіб багатоканалної зв'язи з часовим розділенням каналів і пристрій для його здійснення / В.А. Балашов, П.Я. Нудельман, Г.П. Попов, С.С. Криль, А.А. Шмидель. - №2712763; Заявлено 18.01.79; Опубл. 21.01.81. Бюл. № 19.
4. А.с. 860276 ССРСР, МКИ³ Н 04 L 27/22. Спосіб детектування фазомодульованих сигналів / В.А. Балашов, П.Я. Нудельман, Ю.А. Павличенко, А.М. Темесов - № 2653053; Заявлено 31.07.78; Опубл. 04.05.81. Бюл. № 32.
5. А.с. 873401 ССРСР, МКИ³ Н 04 L 27/22. Пристрій для демодуляції багатоканалних взаємортогональних багатопозиційних фазоманіпульованих сигналів / В.А. Балашов, І.П. Панфілов, П.Я. Нудельман, А.М. Темесов. - № 2872224, Заявлено 04.01.80; Опубл. 15.06.81 Бюл. №38.
6. А.с. 886302 ССРСР, МКИ³ Н 04 L 27/22. Пристрій для багатоканалної передачі дискретних сигналів / В.А. Балашов, А.К. Гуцалюк, С.С. Криль, П.Я. Нудельман, А.М. Темесов - № 2810102; Заявлено 14.08.79; Опубл. 03.08.81. Бюл. №44.
7. Балашов В. А. Дисперсія інтерференційних перешкобок в багатоканалних системах з найквістовою швидкістю передачі / Сб. научн. трудов "Інформатика і зв'язь". - К.: Техніка, 1997. - С. 104-111.
8. Балашов В. А. Корекція лінійних спотворень в багатоканалних системах передачі з захисним часовим інтервалом / Сб. научн. трудов "Інформатика і зв'язь" - К.: Техніка, 1997. - С. 210-211.
9. Балашов В.А., Кузнецов В.А., Темесов А.М. Метод оцінки інтерференційних перешкобок в багатоканалній УПС // Труды УНІИРТ. - 1995. - Одеса. - № 2. - С.60-66.

10. *Балашов В. А., Нудельман П.Я., Панфилов И. П.* К вопросу о точности синтеза опорных сигналов корреляционного приемника // Гибридные вычислительные машины и комплексы / Сб. научн. трудов. –К.: Наукова думка, 1983. – Вып. 6. – С. 63-89.
11. *Балашов В.А., Нудельман П.Я., Панфилов И.П.* О влиянии погрешности реализации коэффициентов аппроксимирующего полинома на точность синтеза заданной временной функции // Труды учебных институтов связи. – Л.: ЛЭИС, 1981. – С 46–52.
12. *Балашов В А, Нудельман П.Я., Темесов А.М.* Цифровая реализация алгоритмов многочастотных модемов // Электросвязь. – 1982. – № 1. – С. 32–34.
13. *Балашов В. А., Нудельман П.Я., Темесов А.М.* Цифровой предварительный фазовый корректор // Электросвязь. – 1990. – №12.
14. *Балашов В.А., Нудельман П.Я., Шмидель А.А.* Об упрощении моделирования межканальных помех в многоканальных системах связи с разделением сигналов по форме // Проблемы гибридной вычислительной техники / Сб. научн. трудов. – К.: Наукова думка, 1979. – С. 153–158.
15. *Балашов В.А., Фомина Г.Т.* Оценка параметров и компенсация фазового джиттера в многоканальных УПС // Труды УНИИРТ. – 1995 – Одесса. – № 4. – С. 46–49.
16. *Беркович Д.А., Лев А.Ю.* Система коррекции стандартных каналов тональной частоты с автоматической настройкой. – М.: Связь, 1972. – 64 с.
17. *Аппаратура передачи дискретной информации МС-5 / Гинзбург В.В. и др.* – М.: Связь, 1970. – 152 с.
18. *Гуцалюк А.К., Нудельман П.Я.* Оптимизация приемных и передающих фильтров в системе передачи дискретной информации / Сб. трудов "Теоретическая электротехника и устройства электроники". – К.: Наукова думка, 1977.–С. 37–47.
19. *Гуцалюк А. К., Нудельман П. Я.* Оценка мощности интерференционной помехи в многоканальном модеме // Труды учебных институтов связи. – Л. : ЛЭИС.– Вып. 81, 1976. – С. 54–60.
20. *Изыскание принципов построения многоканального УПС для передачи данных по первичному каналу со скоростью до 120 кбит/с. Отчет о НИР (заключительный).* – Т. 2, шифр "Модем–М" / ОЭИС, № ГР 74049346. – Одесса, 1975.
21. *Изыскание принципов построения модема для передачи цифровой информации со скоростью 480 кбит/с по вторичным групповым трактам аппаратуры с частотным разделением каналов: Отчет о НИР (заключительный).* Руководитель П.Я. Нудельман / ОЭИС; № ГР 78014560 – Одесса, 1981. – Т. III.
22. *Изыскание путей совершенствования в разработке узлов многоканальной аппаратуры с разделением каналов по частоте: Отчет о НИР (шифр "Азур–Н") / ОЭИС; № ГР Б 705537.* – Одесса, 1978.
23. *Ильиченко В.Ю.* Эффективные алгоритмы цифровой обработки сигналов в многоканальных системах передачи информации и в устройствах их сопряжения: Дис... канд. техн. наук. – Одесса, 1985.
24. *Кисель В. А.* Аналоговые и цифровые корректоры: Справочник.: – М.: Радио и связь, 1986. –184 с.
25. *Кисель В. А.* Синтез гармонических корректоров для высокоскоростных систем связи. – М.: Связь, 1979. –229 с.
26. *Кисель В.А., Панфилов И.П.* Адаптивные многопозиционные системы / Методы помехоустойчивого приема ЧМ- и ФМ-сигналов. – М.: Советское радио, 1976. – С. 182–190.
27. *Кравец Р.О., Нудельман П.Я., Панфилов И.П.* Об одной аппроксимационной задаче синтеза сигналов и цепей // Радиотехника и электроника. – 1981. – № 7. – С. 1444–1452.
28. *Модем для передачи по широкополосным каналам со скоростью 1024 кбит/с / В. А. Балашов, В. А. Кузнецов, С. Ю. Кравченко, Лев Л. Ю.* // Труды УНИИРТ. – Одесса. –1996. – № 4(8) – С 4–11.
29. *Мозье Р. Р., Клабо Р. Г.* "Кинеплекс"– двоичная система передачи информации с эффективным использованием полосы частот // Передача цифровой информации / Под ред. С. И. Самойленко. – М.: ИЛ, 1963. – 480 с.
30. *Нудельман П. Я.* Базисы Найквиста–Котельникова – обобщение базиса Фурье // Труды УНИИРТ– Одесса. –1996. – №2. –С. 26–33.
31. *Нудельман П. Я.* Полиномные синтезаторы частотных и временных характеристик. – М.: Радио и связь, 1979. – 135 с.
32. *Нудельман П.Я., Балашов В.А.* О числе ортогональных полосноограниченных сигналов, сконцентрированных в конечном интервале времени // Труды II Международной научно–технической конференции по радиосвязи, звуковому и телевизионному вещанию УкрТелеКом'95. – Одесса, 1995. – С. 418–422.
33. *Нудельман П.Я , Павличенко Ю.А., Панфилов И.П.* Минимизация переходных помех в многоканальных системах передачи // Известия вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. – 1982. – № 1. –С. 93–96.
34. *Окунев Ю.Б., Рахович Л.М.* Фазоразностная модуляция и ее применение для передачи дискретной информации. – М.: Связь, 1967. –304 с.

35. *Отливанский А.Г.* Исследование влияния кратковременных занижений уровня на верность приема в многоканальных модемах с ортогональными многоуровневыми сигналами: Дис... канд. техн. наук. – Одесса, 1979.
36. *Панфилов И. П., Балашов В. А.* Системы связи с Найквистовой скоростью передачи // Труды III Международной конференции по электросвязи, телевизионному и звуковому вещанию. Укртелеконф–97, 9–12 сентября 1997. – Одесса. – С. 147–151.
37. *Панфилов И.П., Нудельман П.Я., Балашов В.А.* Методы упрощенной реализации цифровых преобразователей сигналов: Учебное пособие. – Одесса: ОЭИС, 1988. –100 с.
38. *Полов Г.Н.* Исследование путей построения первичной 12–канальной группы с разделением каналов по форме и по времени с преобразованием временного масштаба: Дис... канд. техн. наук. –Одесса, 1978.
39. *Разработка* алгоритмов работы и принципов реализации узлов многоканального УПС – 16 КТЧ: Отчет о НИР / ОЭИС; № ГР 1827010395. – Одесса, 1984.
40. *Темесов А.М.* Синтез близких к полосноограниченным канальных сигналов цифровых многоканальных систем передачи дискретной информации: Дис... канд. техн. наук. – Одесса, 1982.
41. *Фомина Г.Т.* Исследование и разработка методов анализа и компенсации паразитной фазовой модуляции в многоканальных устройствах преобразования сигналов: Дис... канд. техн. наук – Одесса, – 1993. –139 с.
42. *Хармут Х.Ф.* Передача информации ортогональными функциями. – М.: Связь, 1975. – 272 с.