

Історико-науковий аналіз досліджень у галузі реєстрації, передачі та відтворення інформації (світовий контекст)

Наведено цілісний історико-науковий аналіз досліджень у галузі реєстрації, передачі та відтворення інформації крізь призму її ключових результатів.

Процеси запису, зберігання та відтворення інформації на всіх етапах розвитку людства відігравали виняткову важливу роль. Запис інформації являє собою процес, за допомогою якого інформація вноситься та зберігається в деякому фізичному середовищі з метою її подальшого відтворення. Для цього розроблялися відповідні засоби та пристрої, які за час свого існування пройшли складний шлях еволюції – від наскальних малюнків, папірусів, писемності, книгодрукування, фотографії та кодів Морзе до сучасних оптичних дисків, волоконно-оптичних кабелів і космічного зв'язку. Історія еволюції запису, передачі та відтворення інформації не була предметом систематичних досліджень, тут існували лише поодинокі праці з історії окремих фактів. Можна згадати праці С.В. Шухардина, М.К. Ламана і О.С. Федорова [1], В. Дергама [2], С. Маценкова і В. Орлова [3], М.І. Кочина [4], В.Л. Савчука [5], С. Пескова, В. Таценко та А. Шишова [6], Л. Люндхайма [7], В.Д. Гоппа [8], О.Н. Крохіна [9], де проаналізовано окремі питання реєстрації і відтворення інформації. Метою статті є цілісний історико-науковий аналіз досліджень у названій вище галузі крізь призму її ключових результатів.

Інформацію записували з давніх часів. Спочатку стародавні люди зображали на скелях звірів, на яких полювали, за допомогою вугілля, крейди, глини, гострого

каменя. У III тис. до н.е. в Єгипті матеріальним носієм інформації був папірус, в Азії – висушені шкури тварин і бамбукові пластини зі шнурами, в Європі в VII ст. до н.е. – свинцеві листя, кістяні пластинки, дерев'яні дощечки з гострою палицею. У Київській Русі в XI ст. в якості носія інформації використовували берест, на якому літери прорізували кістяною або металевою палицею. Перетворення людиною інформації в систему символів широко використовується й нині. З появою писемності можна говорити про перший переламний етап у записі інформації, завдяки чому вдалося передавати знання з покоління в покоління.



Й. Гутенберг

Зі стародавніх часів виникла і необхідність передавати інформацію на відстань. Спочатку для цього використовували певні умовні знаки, наприклад, звуки рогів і бойової труби. Потім для збільшення дальності передачі повідомлень люди ста-



Р. Гук

ли використовувати тамтами, барабани та інші подібні до них пристрої, на зміну яким згодом прийшли вогні кострів від вогнищ на вершинах гір і факели.

Наступний вирішальний крок у запису інформації стався в середині XVI ст., коли німецький винахідник Й. Гутенберг (1400–1468) винайшов книгодрукування. Перші дослідження він провів у Страсбурзі, використовуючи спочатку цілі дерев'яні дошки, а потім – розпилював їх на окремі літери [10]. З'явилася можливість тиражувати та поширювати інформацію, збільшилася й доступність людей до неї.

Прорив у передачі інформації на відстань відбувся в 1684 р., коли англійський вчений Р. Гук (1635–1703) створив прототип оптичного телеграфу, який використовувався в англійському флоті майже до кінця XVIII ст. [1, 2]. У його установці сигнал передавався на відстань від світлового джерела, яке закривали та відкривали. Перші такі системи з'явилися в Англії

та Франції. Грунтуючись на дослідженнях Р. Гука, французький винахідник і священник К. Шапп (1763–1805) винайшов оптичний телеграф – систему візуальної передачі повідомлень за допомогою семафорної азбуки – умовних позначень літер



К. Шапп

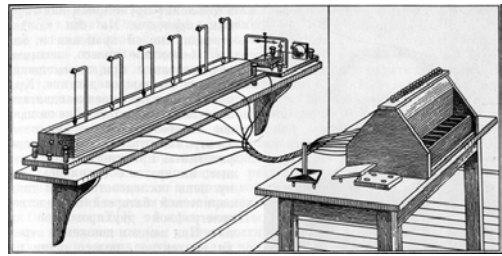
і знаків, які зображалися різним положенням рук з семафорними прапорцями. За його допомогою він 2 березня 1791 р. передав на відстань 16 км фразу – «якщо вам поталанить, ви незабаром прославитесь» [1, 3]. Для передачі К. Шапп вперше використав принцип синхронізації – приведення двох або кількох процесів до такого їх протікання, коли однакові чи відповідні їх елементи здійснювали одночасно або через однакові проміжки часу. Цей принцип використовується й нині в різних засобах зв'язку – від телеграфу до телебачення.

Через рік К. Шапп створив інший зразок телеграфу, в якому сигнал подавався за допомогою семафора, складеного з високої щогли з рухомою горизонтальною частиною – регулятором, на кінцях якого було по одному обертаючому «крилу». Зміна взаємного розташування регулятора та крил дозволяла створювати в просторі різні фігури – знаковий код [11]. Винахід відразу не дістав схвалення, оскільки

телеграф працював добре тільки в денний час і при добрій видимості, але погано вночі та при поганій погоді. Лише 1 квітня 1793 р. на захист оптичного телеграфу виступив французький політичний діяч Ш. Ромм, підкресливши можливість його військового застосування. У результаті було виділено кошти на подальші дослідження й тоді ж побудовано першу лінію телеграфу між Парижем і Ліллем (1793), а протягом наступних чотирьох років – другу «Париж–Страсбург». У 1799 р. до влади прийшов Наполеон II і продовжив лінію телеграфу від Страсбурга до швейцарської границі на 95 км. Через два роки за його наказом сконструйовано телеграф для подачі сигналів на англійський берег, завдяки чому накази швидко доходили від Наполеона II до військ. Оптичний телеграф Шаппа широко застосовувався в різних країнах Європи, Азії та Америки [1].

У Росії подібний оптичний телеграф розробив 1795 р. російський винахідник І.П. Кулібін. Однак телеграф Кулібіна не дістав застосування через брак коштів і був зданий до Кунсткамери. У 1824 р. у Росії введено телеграф Шаппа та побудовано лінію Петербург–Шліссельбург. Через 15 років відкрито найбільшу в світі лінію оптичного телеграфу Петербург–Варшава завдовжки 1200 км. Оптичний телеграф був важливим етапом у розвитку засобів зв'язку. Понад півстоліття він вважався досконалішим засобом передачі інформації на відстань.

У XIX ст. відбувся третій переламний етап у розвитку реєстрації та відтворення інформації, пов'язаний з використанням електрики. З метою отримати надійніші системи передачі даних було винайдено електромагнітний телеграф. У 1820 р. Й. Швейггер сконструював мультиплікатор – багатовиткову котушку з вміщеною всередину магнітною стрілкою, який став важливим елементом перших електромагнітних телеграфів.



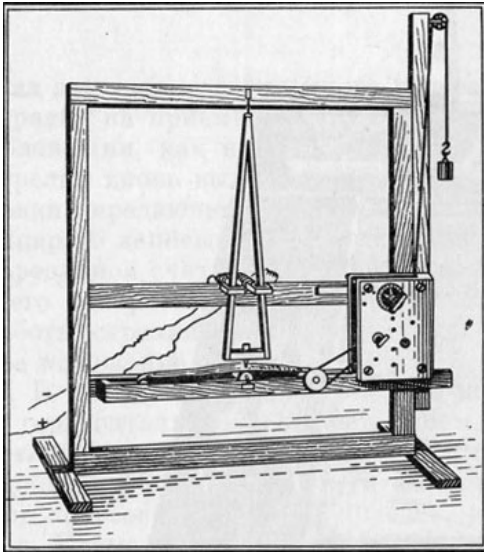
Електромагнітний телеграф Шилінга

У 1828 р. російський вчений П.Л. Шиллінг (1786–1837) побудував перший електромагнітний телеграф, у якому сигналізація здійснювалася двома лінійними дротами та одним мультиплікатором на приймальному кінці. Через два роки в Петербурзі П.Л. Шиллінг вперше продемонстрував свій винахід, а 1836 р. разом з механіком І. Швейкіним проклав першу в Росії лінію електромагнітного телеграфу [1].



С. Морзе

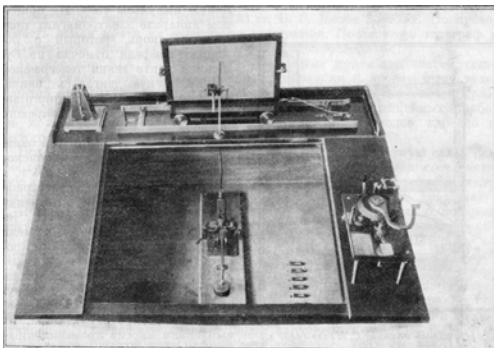
У 1832 р. американський винахідник С. Морзе (1791–1872) висунув проект своєї моделі електричного телеграфу, що був побудований через три роки в Нью-Йоркському університеті, та ідею коду (код Морзе), який складався з двох знаків: крапки та тире. Протягом 1837–1838



Телеграфний апарат Морзе

рр. він побудував записуючий електромагнітний телеграфний апарат для передачі та прийому повідомлень телеграфним кодом (апарат Морзе). Його перевагою була легкість запам'ятовування комбінацій та сприймання їх на слух, недоліком – складність декодування [5].

У Німеччині перший електромагнітний телеграф було винайдено 1833 р. фізиком В. Вебером (1804–1891) і математиком К. Гаусом (1777–1855). У ньому вони застосували свій дзеркальний гальванометр як приймач, використовуючи поляризований струм. Завдяки професору Мюнхенського



Записуючий телеграф Якобі

університету К.А. Штейнгелю (1801–1870) їм вдалося зробити запис повідомлень на електромагнітний телеграф.

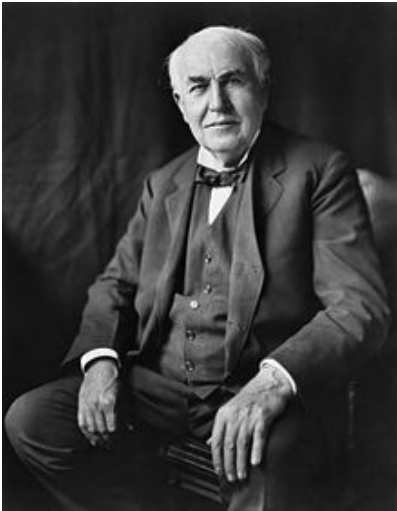
У 1840 р. російський фізик та електротехнік Б. Якобі (1801–1874) запропонував самозаписуючий електромагнітний телеграфний апарат, перевагою якого була відсутність багатопровідної телеграфної лінії. Винахід був надійний та простий. Телеграф Якобі використовувався на лініях «Зимовий палац–Головний штаб» і «Петербург–Царське Село».

30-ті рр. XIX ст. відзначилися також дослідженнями французького художника Л. Дагера (1787–1851) разом з французьким винахідником Ж. Ньепсом (1765–1833), які шукали досконалішу конструкцію камери-обскури – пристрою, завдяки якому можна було отримати оптичне зображення об'єктів, та хімічного способу обробки світлочутливого матеріалу. У 1833 р. Ж. Ньепс помер, і французький художник самостійно продовжив пошуки. 28 квітня 1838 р. він винайшов спосіб одержання зображення на срібній пластинці в камері-обскури за допомогою світлового променя – дагеротипія. 7 січня 1839 р. Паризька АН дізналася про його винахід і позитивно оцінила. Цей день став днем народження фотографії. У серпні того ж року англійський фізик і хімік У. Тальбот (1800–1877) у Лондонському королівському товаристві доповів про винайдений ним новий спосіб отримання зображень у камері-обскури на папері, змоченому в світлочутливому розчині (калотипія).

Для розв'язання проблеми декодування 1874 р. французький інженер Ж. Бодо (1845–1903) створив на основі п'ятизначного коду (код Бодо) багаторазовий літеродрукувальний швидкодійний телеграфний апарат для магістрального зв'язку – апарат Бодо. Повідомлення на ньому, на відміну від азбуки Морзе, приймалися у вигляді не крапок і тире, ла-

тинських] літер. Він дозволяв передавати одночасно кілька повідомлень в одному напрямку або назустріч один одному. Через три роки апарат почав застосовуватися на лінії Париж–Бодо [12, 13]. На честь Ж. Бодо було названо одиницю швидкості передачі інформації по комунікаційній лінії – бод, яка існує й нині, але найчастіше використовується Кбіт/с.

Важливим кроком у розвитку галузі передачі інформації стало винайдення 1876 р. американським вченим А. Беллом (1847–1922) телефону.



Т. Едісон

У 1857 р. французький винахідник Л. Скотт (1817–1879) винайшов фоноавтограф – перший прилад для запису звукових коливань, який реєстрував їх форму, але не відтворював записаний звук. Американський винахідник Т. Едісон (1847–1931) вдосконалив механізм Скотта, виявивши, що кожна окрема вібрація є індивідуальною, тобто можна записувати та відтворювати звуки людського голосу. В 1877 р. він отримав патент на так званий фонограф або «машину, що говорить» [14].

В 1888 р. німецький фізик Г. Герц (1857–1894) експериментально виявив передбачені Дж. Максвеллом електромагнітні хвилі. Відкриття електромагнітних хвиль мало подальше практичне застосування в працях італійського винахідника Г. Марконі (1874–1937) та російського винахідника О.С. Попова.

На початку 1895 р. Г. Марконі провів у Італії дослідження та експерименти в галузі радіозв'язку. *«На початку 1895 р., – писав він, – я розпочав проводити експерименти з метою визначити, чи можливо за допомогою хвиль Герца передавати на відстань телеграфні знаки і символи без з'єднувальних проводів. Після кількох попередніх експериментів я невдовзі переконався, якби ці або подібні хвилі були надійно передані та прийняті на значній відстані, то з'явилася б нова система зв'язку»* [15, с.141]. Вчений відіграв важливу роль у розвитку радіотехніки, винайшовши радіо, та в поширенні радіо як способу зв'язку (Нобелівська лекція 1901–1921). Вже в 1899 р. Г. Марконі здійснив радіозв'язок між Англією і Францією через пролив Ла-Манш, а 1901 р. – через Атлантичний океан.



М.Д. Пильчиков

У Росії радіо було продемонстровано О.С. Поповим 7 травня 1895 р. на засіданні Російського фізико-хімічного товариства. Винахід привернув увагу українського вченого М.Д. Пильчикова (1857–1908). Якщо О.С. Попов значну увагу приділяв збільшенню дальності поширення радіосигналів, то український вчений намагався побороти негативний вплив дії електричних хвиль стороннього походження. У 1898 р. він запропонував модель протектора – охоронного пристрою, який фільтрує електромагнітні хвилі, що доходять до нього, та дає доступ до діючого пристрою лише тим хвилям, які посилаються для боротьби з перешкодами від сторонніх радіостанцій. Відкриття та ідеї М.Д. Пильчикова започаткували дистанційне керування та телекомунікаційний зв'язок (незалежно від Н. Тесли), але на той час до них ставилися з обережністю та не допускалося широкого залучення дослідників у галузь радіотелеграфії з «периферійних» наукових центрів [16, 17].

Важливим кроком у запису звуку було винайдення 1898 р. датським винахідником В. Паульсеном прототипу сучасного магнітофона. У 1900 р. він продемонстрував його на Всесвітній виставці в Парижі. Ідея В. Паульсена полягала в наступному: він записував зміну струму на дрот при дії мікрофона, включаючи електромагніт у його мережу, а потім – складав мережу з електромагніта та телефону. Струми, які збуджувалися в електромагніті при русі дроту, примушували тремтіти телефонну мембрану, що повторювала ті звуки, які приймав мікрофон. Одержаний на дроті запис (магнітна фонограма) легко знищувався, коли дрот поміщався між полюсами електромагніта, і він знову міг використовуватися для запису [18]. Не зважаючи на недоліки магнітофона Паульсена (дуже слабкий звук, незручний звуконосій, для запису

звуку протягом 40 хвилин потрібно 6 км сталевого дроту), він отримав гран-прі на Всесвітній виставці в Парижі. На першій магнітній фонограмі було записано голос австрійського імператора Франца Йосифа. Принцип датського винахідника лежить в основі звукозаписуючої техніки.

Отже, ХІХ ст. позначилося винаходом різних способів передачі інформації на значні відстані (за допомогою дротів, радіохвиль тощо), які повинні були повністю задовольнити всі інформаційні та комунікаційні запити людини. У цей час виникли телеграф, телефон, радіо, що дозволяло оперативно передавати і накопичувати інформацію в значних обсягах. Однак, пропускна здатність каналів передач була недостатньою, що зумовлювалося повільним протіканням процесів у них.

На початку ХХ ст. проведено дослідження з оптичного запису інформації – науково-технічного напрямку, що вивчає процеси запису інформації, яка переноситься оптичним випромінюванням. Так, 1936 р. Е. Голдберг (1881–1970) провів дослідження з оптичного запису інформації на фотоемульсіях, в яких досягнув граничну густину запису інформації 10^8 біт/см² [19]. Інформація на мікрофотографіях може зберігатися десятиліттями. Проте цей спосіб не дістав поширення в обробці інформації через труднощі вибірки мікрофотографічної інформації.

У 20-х рр. ХХ ст. опубліковано фундаментальні праці, які заклали основи цифрового зв'язку – способу запису інформації, при якому сигнали, що реєструються на носії, перетворюються в послідовність кодових (цифрових) комбінацій імпульсів. Цей запис забезпечує набагато вищу якість відтворюваних сигналів та допускає можливість багаторазового перезапису інформації без втрат якості [20].

У 1928 р. американський електротехнік Г. Найквіст опублікував статтю «Деякі питання теорії передачі в телеграфі» [21,

*Е. Голдберг**Г. Найквіст**Р. Хартлі*

22]. Він розглянув сигнал, який повторювався через однакові проміжки часу, та описав процеси оцифровки голосу з метою його збереження та передачі. Г. Найквіст дійшов висновку, що «для будь-якої заданої деформації прийнятий сигнал переданого діапазону частот повинен бути збільшений прямо пропорційно до швидкості зв'язку, а вплив системи на будь-які відповідні частоти повинен бути однаковим. Отже, діапазон частот прямо пропорційний швидкості» [21; 22, с. 283]. Нині його висновок відомий як теорема Найквіста, за якою кількість вимірювань амплітуди аналогової хвилі для її правильного представлення у цифровому вигляді повинна бути, як мінімум, удвічі більша за величину максимальної переданої частоти.

Крім Г. Найквіста, передачею інформації в той період займався також американський інженер Р. Хартлі. У 1928 р. у статті «Передача інформації» [23] він запропонував кількісну міру інформації для порівняння потужності різних передавальних інформаційних систем. «Хоч частотні відношення в електричних зв'язках цікаві самі по собі, їх обговорення в цій ситуації навряд чи буде виправдано, якщо ми не зможемо вивести з них досить загальні практичні застосування для розробки систем зв'язку, — пи-

сав він. — Те, що я сподіваюсь досягти в цьому напрямку, повинно становити кількісну міру, за допомогою якої можна буде порівняти потужності різних систем передачі інформації» [23, с.535]. Р. Хартлі запровадив практичну міру інформації H як логарифм кількості можливих послідовностей символів S : $H = \log s^n$, n — кількість вибірок [23, с.540].

У 30-ті рр. XX ст. німецький винахідник Ф. Пфеймер розробив технологію нового звуконосія, що полягала в нанесенні шару порошкового заліза на паперову стрічку, яку згодом було замінено пластикою. Так виникла магнітна плівка. Вона добре намагнічувалася та розмагнічувалася, була компактною та недорогою, її можна було обрізати та склеювати. У 1935 р. компанія AEG випустила магнітофон із записом на магнітну плівку. Запис відбувався аналогічно запису на дріт. Найважливіші його елементи — магнітні головки, через обмотку яких проходив електричний струм. Вони записували та відтворювали звук. Внаслідок дії звуку на мікрофон, магнітне поле в зазорі головки змінювалося залежно від сили струму в мікрофоні. При цьому магнітна плівка набувала різної намагніченості та перетворювалася у фонограму. Магнітні поля ділянок плівки з різною намагніченістю утворювали зовнішнє

магнітне поле. При відтворенні магнітної фонограми стрічка з тією ж швидкістю, що й при запису, рухалася повз відтворювальну головку та збуджувала в її обмотках електричний струм, який змінювався відповідно до сили магнітного поля стрічки. Потім струм, який виникав в обмотці, підсилювався і надходив до динаміка. У магнітофоні також містилася головка стирання, яка живилася від спеціального лампового генератора струмом високої частоти, що уможливило використання однієї плівки. Магнітна плівка дозволила зменшити швидкість звуконосія в кілька десятків разів і записувати більше інформації, ніж на дроті [45].

У 20–40-і рр. ХХ ст. дослідження цифрового запису інформації проводилися і в СРСР російським ученим В.О. Котельниковим. У 1932 р. у праці «Про проникну здатність «ефіру» та дроту в електрозв'язку» [24, 25] він розглянув питання збільшення проникної здатності «ефіру» та дроту, сформулювавши теорему, яка вирішувала, як без втрат перевести сигнал у цифровий.

В.О. Котельников також вказав на неможливість збільшення проникної здатності шляхом застосування різного роду не частотних селекцій та визначив,

що при передачі «на одній боковій смузі» можна отримати максимальну проникну здатність для телебачення, передачі зображення та телефонної передачі.

Він дав математичне обґрунтування можливості цифрової передачі інформації (теорема Котельникова). Проте в повній мірі теорему Котельникова оцінено лише наприкінці 70-х рр., коли з'явилася можливість замінити аналогову систему передачі сигналів цифровою. Теорема стала однією з теоретичних основ цифрової техніки [26, с.770].

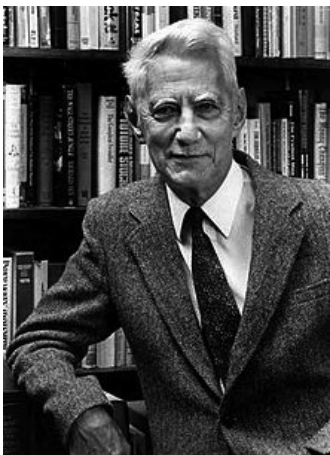
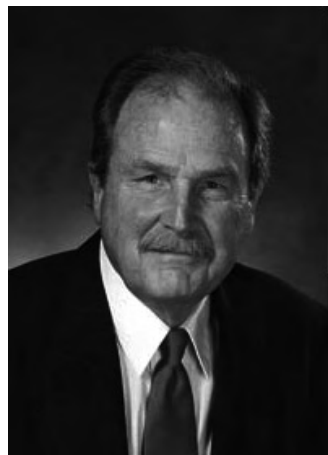
Протягом 30–40-х рр. ХХ ст. британський винахідник А. Рівс (1902–1971) зробив перші спроби цифрового представлення звукового потоку, тобто цифрового кодування аналогових сигналів. У 1937 р. він винайшов метод імпульсно-кодової модуляції – кодування каналового сигналу для передачі його у формі цифрового потоку [27]. Метод забезпечував зберігання високої якості телефонного сигналу після цифрової передачі та використовувався для кодування телефонних переговорів. А. Рівс встановив, що аналоговий сигнал описується функцією часу та неперервною множиною можливих значень [28].



В.О. Котельников



А. Рівс

*К. Шеннон**Р. Хеммінг**Д.А. Хаффман*

Він також удосконалив конденсаторний мікрофон і домогся значного прогресу у використанні єдиної бокової смуги для короткохвильового радіо [7], розглянув телефон Белла, в якому шум і помилки збільшувались разом із вхідним повідомленням, і запропонував, щоб звук був відібраний через однакові проміжки часу. Значення таких зразків представлялися як двійкові числа і передавалися як однозначне включення–виключення імпульсів.

Імпульсно-кодова модуляція Рівса стала основою сучасних цифрових засобів зв'язку [29].

Для подальшого розвитку цифрового запису інформації важливу роль відіграли праці засновника теорії інформації К. Шеннона (1916 – 2001) та американського математика Р. Хемінга (1915–1998). Вони сформулювали два різні підходи до проблеми кодування дискретних повідомлень з метою захисту від перешкод [8].

К. Шеннон перший розглянув передані повідомлення та шуми в каналах зв'язку з точки зору статистики, використовуючи праці Найквіста та Хартлі. У 1948 р. у статті «Математична теорія зв'язку» [30] він писав: «У даній статті ми розширимо теорії Найквіста та Хартлі, враховуючи низку нових факторів, зо-

крема, вплив шуму в каналі. Економія можлива за рахунок статистичної структури вихідного повідомлення та в зв'язку з характером кінцевого пункту призначення інформації» [30, с. 379]. К. Шеннон використав логарифмічну функцію Хартлі як міру інформації та узагальнив її на випадки скінчених і неперервних множин повідомлень. Він також ввів поняття каналу як середовища, що використовується для передачі сигналу від передавача до приймача [30]. Теорія кодування Шеннона допомогла усунути надмірність переданих повідомлень, провести кодування та передачу повідомлень по каналах зв'язку з шумами.

Проте праці Шеннона практичного застосування не мали. Перехід від теорії до практики став можливий завдяки зусиллям Р. Хемінга, колеги К. Шеннона по Bell Labs, який став відомий завдяки відкриттю класу кодів – «кодів Хемінга» [31]. Працюючи в 1946 р. на електромеханічній машині Bell Model V у Bell Labs, Р. Хемінг розпочав розробку алгоритму, який дозволив би швидко виявити та виправити помилки, що виникали при зчитуванні перфокарт. Він запровадив коди для визначення та коригування помилок по бітам при передачі даних (коди Хемін-

га). У 1950 р. вийшла його фундаментальна праця «Виявлення помилок і коди, які виправляють помилки» [32].

Процедура кодування Шеннона 1948 р. не оптимальна. Її удосконалив 1952 р. Д. Хаффман у статті «Метод побудови мінімальної надмірності кодів» [33]. У ній він розглянув «коди повідомлень» як символ чи послідовність символів, пов'язаних з даним повідомленням; «ансамбль повідомлень» як загальну кількість повідомлень, які можуть бути передані; «ансамбль коду» як взаємну згоду між приймальним пристроєм і передатчиком відносно значення коду кожного повідомлення ансамблю [33, с.1098].

К. Шеннон характеризував «надмірність» як властивість коду, Д. Хаффман «мінімальну надмірність коду» — як ансамбль коду, який для ансамблю повідомлень складається зі скінченної кількості членів, і при заданій кількості кодування цифр дає малу середню довжину повідомлень [33, с.1098]. Д. Хаффман розглянув «мінімальну надмірність» як «оптимальну» та запровадив певні обмеження для оптимальних кодів. Він дійшов висновку, що оптимальне кодування ансамблю повідомлень, коли використовується три або більше цифр, подібно до процедури двійкового кодування [33, с.1101].

У 50–60-ті рр. ХХ ст. виникла потреба передавати інформацію на великі відстані, але міліметрові хвилі від 35 до 70 ГГц не могли цього забезпечити [34]. Тому постало питання про створення нового носія інформації. Ним стало когерентне світло, яке забезпечувало швидкість передачі інформації в 100000 разів вище, ніж у виділеній НВЧ-лінії передачі даних. У 1960 р. винайдено прилади — лазери, які зробили можливим передавати інформацію хвилями оптичного діапазону та побудувати волоконно-оптичні лінії передачі інформації [34].

Перший рубіновий лазер створив Т. Мейман 16 травня 1960 р. у корпорації

«Х'юз» у США [35]. В СРСР перший лазер на рубіні запущено 2 червня 1961 р. у Державному оптичному інституті в Ленінграді.

Спочатку лазери використовувалися для передачі інформації через вільну атмосферу. Однак виявилось, що метеорологічні умови значно впливають на поширення світла в ній, тобто вільна атмосфера — не придатне середовище для передачі світла на значні відстані [36]. Тому подальші експерименти з використанням лазерів для передачі інформації проводилися в закритих пристроях — світловодах.

На початку ХХ ст., завдяки експериментам зі світлом, проведеним ще в 1870 р. англійським фізиком Дж. Тіндалем, який показав, що світло, яке поширюється в струмені очищеної води, може огинати будь-який кут, було показано, що аналогічно відбувається в оптичному волокні — вміщеній в захисну оболонку нитці з оптично прозорого матеріалу (скло, пластик), яка використовувалася для переносу світла всередині себе шляхом повного внутрішнього відображення. Експерименти з його використання для передачі на великі відстані також виявили, що скло не є прозорим матеріалом.

У 1963 р. американський вчений Е. Снітцер створив перший волоконний лазер, у якому за активний елемент правив волоконний світловод. Такий активний елемент мав переваги порівняно з об'ємними активними середовищами — низькі оптичні втрати, велика довжина взаємодії та малий діаметр світловедучої серцевини [37]. Через рік японський вчений Д. Нісідзава вперше застосував оптичне волокно в телекомунікаціях і вказав, як з'єднувати оптичне волокно з передавальним і приймальним пристроями [38]. Однак проблемою залишалося швидке послаблення сигналу в оптичному волокні, що обмежувало його передачу на значні відстані. Необхідно було створити лазер з емісійними характеристиками, що

відповідають діаметру одномодового волокна, який працював би при кімнатній температурі, а в якості світловодів використовувалися високопрозорі матеріали з мінімальними оптичними втратами.

Проблему вирішили 1966 р. Ч. Као та Дж. Хокем. Вони вивчили різноманітні оптичні процеси в склі та розрахували, як передавати світло на значні відстані по оптичному скловолкну [39]. У статті «Діелектричні волоконні поверхневі світловоди для оптичних частот» вони довели, що згасання сигналу в оптичному волокні відбувається через наявність у ньому домішок [39]. Крім того, Ч. Као встановив, що найкращим матеріалом для поширення світла є кварцове скло, виготовлення якого було досить складним через його дуже високу температуру плавлення. Вчений отримав Нобелівську премію з фізики 2009 р. за «новаторські досягнення в галузі передачі світла по волокнам для оптичного зв'язку». Відкриття привело до революції у волоконній оптиці та сприяло зародженню волоконно-оптичного зв'язку [40].

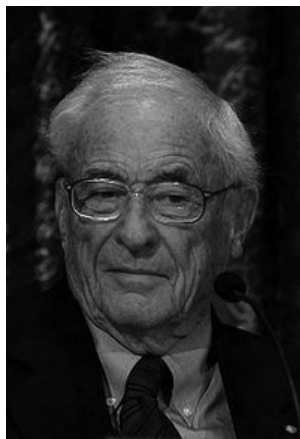
У кінці 60-х рр. ХХ ст. реєстрація, передача та відтворення інформації відбувалися за допомогою циліндричних магнітних доменів, відікона на матриці кремнієвих діодів і напівпровідникової

структури «метал–оксид–напівпровідник» (МОН). Завдяки циліндричним магнітним доменам можна було отримати запам'ятовуючі пристрої з послідовною вибіркою, відікон використовувався у відеотелефоні, МОН-технологія – в інтегральних схемах. Дані напрямки розвивалися у відділі електроніки Bell Labs, віце-президентом якого був Дж. Мортон. Він намагався прискорити розробку циліндричних магнітних доменів як головної технології для пристроїв пам'яті, проте водночас зажадав від своїх співробітників У. Бойля та Дж. Сміта розробити напівпровідниковий пристрій, який міг би конкурувати з циліндричними магнітними доменами.

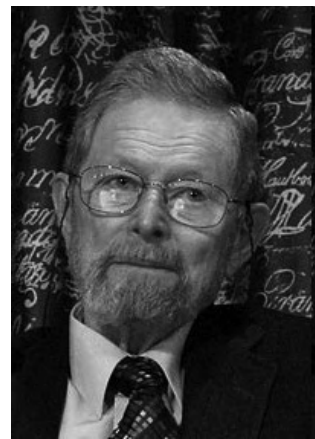
17 жовтня 1969 р. У. Бойль і Дж. Сміт отримали ескіз структури пристрою з зарядовим зв'язком (ПЗЗ), визначили його принцип дії та попередньо сформулювали ідеї його застосування. «Основним носієм інформації у пристрої, – писав Дж. Сміт, – був дискретний зарядовий пакет, а не напруга та струми в схемних пристроях. ПЗЗ справді є функціональним пристроєм, а не набором окремих пристроїв, з'єднаних дротами» [41, с.1359]. Вже через тиждень було виготовлено та досліджено перші пристрої, а згодом створено перші інтегральні



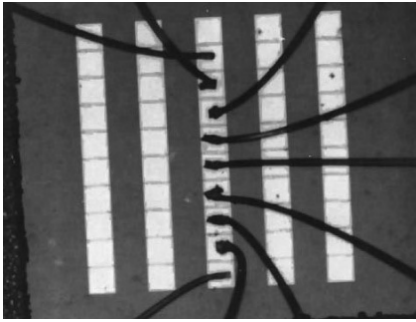
Ч. Као



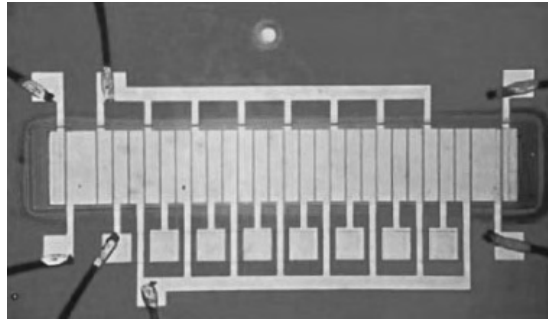
У. Бойль



Дж. Сміт



Перший пристрій із зарядовим зв'язком

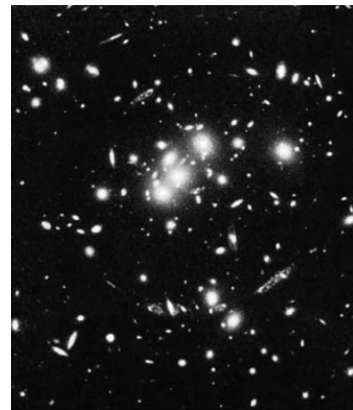
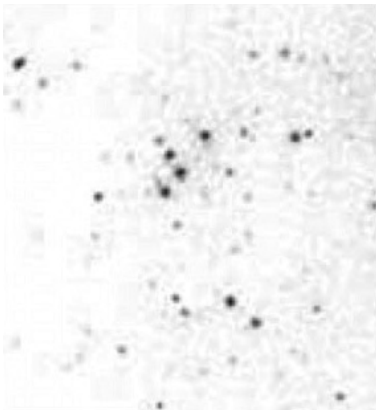


Перший пристрій із зарядовим зв'язком в інтегральному виконанні

структури. Дж. Сміт і У. Бойль продемонстрували роботу пристрою в якості запам'ятовуючого пристрою з послідовною вибіркою. У ході досліджень вони виявили неефективність переносу заряду, неможливість переносу всього заряду повністю від одного елемента до іншого, що викликало розмивання зображень. Тому вони запропонували ПЗЗ з прихованим каналом. У ньому накопичений заряд вміщався в об'ємі напівпровідника, де захоплення трапляються не часто.

Пристрій із зарядовим зв'язком забезпечив розробку та використання діагностичних методів і пристроїв для медицини та геології, дослідження зорової системи людини, розробки методів обробки зображень для архітектури, мето-

дів візуалізації даних, оцінки нормального та патологічного станів серця тощо. Дж. Сміт писав: «мабуть, найбільш вражаючі наукові застосування ПЗЗ знайшли в астрономії, де їх переваги перед фотоплівкою привели до багатьох нових відкриттів. ... Переваги ПЗЗ ілюструє порівняння знімків однієї і тієї ж ділянки неба, що отримано за допомогою сучасної фотоплівки та ПЗЗ. Ці удосконалення привели до експериментального підтвердження існування темної матерії у Всесвіті» [41, с. 1362]. За винайдення ПЗЗ-матриці У. Бойль і Дж. Сміт отримали другу частину Нобелівської премії з фізики 2009 р. за «новаторські досягнення в галузі передачі світла по волокнах для оптичного зв'язку».



Знімки ділянки неба за допомогою фотоплівки та ПЗЗ відповідно

Поряд із цим у 1969 р. завдяки інженерам Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі та Станфордського університету (США) виникає Інтернет, який сприяв повноцінному обміну інформацією.

У 60-70-і рр. ХХ ст. відбулося створення територіальних, національних і міжнародних обчислювальних систем. Виникла необхідність у створенні зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв. Створення лазерів забезпечило появу оптичних носіїв інформації. Перший цифровий компакт-диск – оптичний носій інформації, що мав форму диска, на якому запис і зчитування даних відбувалися за допомогою лазера, був винайдений 1965 р. американським винахідником Дж. Расселом. Він використовувався для збереження аудіозаписів у цифровому вигляді. Протягом 1977–1978 рр. фірми Philips та Sony отримали дозвіл на розробку цифрового компакт-диска, подібного до компакт-диска Рассела. У цей час на Токійській аудіовиставці було представлено прототип аудіодиска Mitsubishi, Hitachi та Sony. На першому радянсько-американському семінарі у Вашингтоні представник дослідного центру фірми IBM Р. Ландауер у доповіді «Оптична логіка та пам'ять з оптичною вибіркою» позитивно оцінив застосування лазерів у пристроях зв'язку, обробки інформації та оптичної пам'яті [42, с.7].

У 70-ті рр. ХХ ст. вже існували різні носії інформації (магнітні диски, стрічки та карти, перфострічки та перфокарти, оптичні носії інформації) та велика кількість пристроїв з різною продуктивністю, які працювали з ними. Носії інформації були несумісними та багато часу витрачалося на пересилання інформації із запам'ятовуючого пристрою одного типу на інший. Тому виникла потреба в розробці засобів збереження інформації з використанням універсального, єдиного носія інформації.



В.В. Петров

У 1977 р. українськими вченими М.В. Горшковим і В.В. Петровим на Всесвітньому електротехнічному конгресі в Москві висунуто ідею оптичного диска як «єдиного» носія інформації [43]. Вони зазначали, що «метою даної доповіді є привернення уваги до того, що поряд із значним розширенням асортименту електронно-обчислювальних машин і зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв швидко зростає кількість типів неважкопов'язаних носіїв інформації, які використовуються в зовнішніх запам'ятовуючих пристроях. Це створює значні труднощі при обміні інформацією, в результаті виникає необхідність мати додаткове обладнання для здійснення обміну інформацією. Все це призводить до думки про доцільність створення універсального, «єдиного» носія інформації, широке застосування якого дозволило б розробити зовнішні запам'ятовуючі пристрої та низку інших зовнішніх пристроїв ... Такий підхід дозволить значно зменшити необхідний асортимент зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв, спростити обмін інформаці-

єю між електронно-обчислювальними машинами різної продуктивності та підготовку даних» [43, с.1, 5–6].

М.В. Горшков і В.В. Петров зазначали, що «єдиний» носій інформації можна уявити як однорідний носій інформації у вигляді одного обертального диска, діаметром не більше 200–400 мм, з однією робочою поверхнею [43, с.9]. У доповіді вони вказали, що застосування оптичного диска як єдиного носія інформації у великих системах управління обчислювальних систем і мереж, у електронно-обчислювальних машинах середньої та навіть малої продуктивності може привести до істотного прогресу в техніці зовнішніх пристроїв. Це дозволить збільшити щільність запису інформації більш ніж на два порядки та в декілька разів збільшиться швидкість передачі даних по одному каналу порівняно з сучасними накопичувачами на магнітних дисках; завдяки низькій собівартості використання в якості основного носія інформації для збереження людських знань не паперу, а оптичного диска, що зручний для електронно-обчислювальних машин і для широкого кола споживачів; зменшити та зробити більш гнучку номенклатуру зовнішніх

пристроїв електронно-обчислювальних машин і спростити обмін даними всередині та між електронно-обчислювальними машинами; ввести оптичний диск як офіційний документ; прискорити та спростити великі інформаційні і керуючі системи [43, с.21].

Використання «єдиного» носія інформації в зовнішніх пристроях дозволило збільшити обсяг збережених даних, узгодити та істотно підняти надійність прийому та передачі даних, спростити структуру керуючої системи. Історія масового використання оптичного диску розпочалася 1982 р., коли звукозаписуючою компанією PolyGram (створена компанією Philips у 1945 р.) випущено перший комерційний диск, на якому був записаний альбом групи АВВА «The Visitors» [44].

У 1979 р. група конструкторів під керівництвом М. Аїди компанії Sony випустила перший стереофонічний касетний плеєр Walkman (модель WM-2). Через рік на київському заводі «Маяк» розпочалися розробки магнітофонних приставок для високоякісного стерео- та монофонічного запису та відтворення через зовнішню стереофонічну підсилюючу апаратуру або стереотелефони. Дані пристрої мали



П. Грюнберг



А. Ферт

високу надійність, велику кількість сервісних елементів, а деякі – дистанційне управління, в якому використовувалися інфрачервоні промені. У 1986 р. випущено понад 100 моделей. Випуск магнітофонних приставок сприяв виникненню диктофонів, які відрізнялися між собою якістю та тривалістю запису, типом і розмірами звуконосія, функціями. У тому ж році Львівське спеціальне конструкторське бюро побутової радіоелектронної апаратури розробило першу вітчизняну модель плеєра – «Амфітон-МС».

У 1998 р. відбулося зниження популярності CD-плеєрів і на зміну їм приходять MP3-плеєри на базі флеш-пам'яті. Через два роки російська компанія «Енергія» випустила перший вітчизняний MP3-плеєр «Геліос» MP-3221, який використовувався як джерело звуку для автомагнітоли та касетного магнітофона [45].

У 1988 р. відкрито велетенський магніторезистивний ефект у магнітних багаточастотних плівках незалежно французьким вченим А. Фертом (н. 1938) у плівках Fe/Cr [46] і німецьким фізиком П. Грюнбергом (н. 1939) у плівках Fe/Cr/Fe [47]. У 1997 р. ними було випущено першу зчитуючу головку на основі даного ефекту. Такі головки можуть перетворювати дуже малі зміни намагніченості в зміни електричного опору, отже, в зміну струму на виході. Це забезпечує більш щільний запис інформації на диск, що, в свою чергу, розширило технології зовнішніх накопичувачів побутової електроніки.



Disc Archive Storage System

Не дивлячись на те, що сьогодні існують різноманітні способи передачі та відтворення інформації, оптичні диски не втрачають своєї популярності. Зокрема, продажів компакт-дисків складає близько 70 % всіх продаж музики. З вересня 2011 р. компанія Sony займається розробкою системи Disc Archive Storage System – системи архівного збереження відео на масивах оптичних дисків. Така система складається з картриджів з 12 оптичними дисками. У 2012 р. передбачається випуск картриджів для одноразового запису та картриджів з можливістю багаторазового перезапису з ємністю від 300 Гб до 1,5 Тб [48].

Сучасний метод передачі інформації, такий як волоконно-оптичний зв'язок, використовується в багатьох сферах – від комп'ютерів до систем передачі інформації на великі відстані. Поява Інтернету забезпечила оперативний доступ до інформації. Нині стало можливим виходити на зв'язок з будь-якого куточку Землі і навіть космосу. Це новий світ без меж, у якому можна зв'язатися з будь-якою людиною в будь-який час.

1. Шухардин С.В., Ламан Н.К., Федоров А.С. Техника в ее историческом развитии. – М: «Наука». – 1979. – 602 с.
2. Derham W. Philosophical experiments and observations of the late eminent Dr. Robert Hooke. – London. – 1726.
3. Маценков С., Орлов В. Главная станция оптического телеграфа Российской империи // Наука и жизнь. – 2008. – № 8.
4. Кочин Н. И. Кулибин / Н. Кочин. – Горький: Горьковское книжное издательство. – 1958. – 329 с.: ил.
5. Савчук В.Л. Электронные средства сбора, обработки и отображения информации. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ie.tusur.ru/books/COI/page_01.htm
6. Песков С., Таценко В., Шишов А. Физические основы построения волоконно-оптических систем передачи информации // Телеспутник. – 2002. – № 4. – С. 62–65

7. *Lundheim L.* On Shannon and «Shannon's Formula» // *Teletronikk*. – 2002. – Vol. 98. – Pp. 20–29
8. *Тонна В.Д.* Коды и информация // *Успехи математических наук (УМН)*. – 1984. – Т. 39. – Вып. 1(235). – С. 77–120
9. *Крохин О.Н.* Лазер – источник когерентного света // *УФН*. – 2011. – Т. 181. – № 1. – С. 3–7
10. *Немировский Е.Л.* Изобретение Иоганна Гутенберга. Из истории книгопечатания. Технические аспекты. – М.: «Наука», 2000.
11. *Charpe J.* Histoire de la Telegraphie. – Paris. – 1824. – № 14. – 269 p.
12. *Бодо Жан Морис Эмиль* / Большая Советская Энциклопедия. Т. 3. – М.: Сов. энциклопедия, 1970. – 640 с.
13. *Beauchamp K.G.* History of Telegraphy: Its Technology and Application // *IET*. – 2001. – Pp. 394–395
14. *Thomas A. Edison.* Improvement in Phonograph or Speaking machines / United States Patent Office. – Letters Patent № 200.521, February 19, 1878.
15. *Маркони Г.* Беспроволочная телеграфная связь: Нобелевская лекция 11 декабря 1909 г. / Нобелевские лекции по физике 1901–1921 гг. – М., 2002. – С. 163–193
16. *Дятлов Ю.В.* Діяльність М. Пильчикова в контексті розвитку фізичних досліджень (кінець ХІХ – початок ХХ ст.) // автореф. дис... канд.іст.наук: 07.00.07. – К., 2004. – 19 с. – укр.
17. *Полякова Н.Л., Попова-Кьяндская Е.А.* Николай Дмитриевич Пильчиков // *УФН*. – 1954. – Т. LIII. – В. 1. – С. 121–136
18. О телеграфоне Паульсена // *Электричество*. – 1900. – № 14.
19. *Goldberg E.* A new process of micro-photography // *British Journal of Photography*. – 1926. – V. 73. – N. 3458. – Pp. 462–465
20. *Чемес Е.А.* Оптическая запись и воспроизведение цифровой информации. – О.: Наука и техника, 2005. – 316 с.
21. *Nyquist H.* Certain Topics in Telegraph Transmission Theory // *A.I.E.E. Transactions*. – 1928. – Vol. 7. – Pp. 617–644
22. *Nyquist H.* Certain Topics in Telegraph Transmission Theory // *Proceedings of the IEEE*. – 2002. – Vol. 90. – № 2. – Pp. 280–305
23. *Hartley R.V.L.* Transmission of Information // *Bell System Technical Journal*. – 1928. – Vol. 7. – Pp. 535–563
24. *Котельников В.А.* О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // Всесоюзный энергетический комитет. Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. – М.: Управление связи РККА. – 1933. – С. 1–19
25. *Котельников В.А.* О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // *УФН*. – 2006. – Т. 176. – № 7. – С. 762–770
26. *Арманд Н.А.* Роль В.А. Котельникова в становлении радиофизики и радиотехники // *УФН*. – 2006. – Т. 176. – № 7. – С. 770–775
27. *Alec H. Reeves.* Signaling system / United States Patent Office. – Letters Patent № 212.731, June 18, 1937.
28. ГОСТ 17657–79 «Передача данных. Термины и определения». – 1980. – С. 35–59
29. *Robertson D.* Alec Reeves 1902-1971 Privateline.com: Telephone History.
30. *Shannon C.E.* A Mathematical Theory of Communication // *Bell System Technical Journal*. – 1948. – Vol. 27. – Pp. 379–423, 623–656
31. *Черняк Л.* Рождение теории кодирования // *Computerworld*. – 2006. – № 13.
32. *Hamming R.W.* Error Detecting and Error Correcting Codes // *The Bell System Technical Journal*. – 1950. – Vol. XXIX. – № 2. – Pp. 147–160
33. *Huffman D.A.* A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes // *Proceedings of the I.R.E.* – 1952. – Pp. 1098–1101
34. *Kao C.K.* Песок давно минувших дней шлет в будущее голоса людей (Нобелевские лекции по физике – 2009) // *УФН*. – 2010. – Т. 180. – № 12. – С. 1350–1356
35. *Maiman H.T.* The first experimental Laser // *Nature*. – 1960. – V. 187. – Pp. 493
36. *Дианов Е.М., Прохоров А.М.* Лазеры и волоконная оптика // *УФН*. – 1986. – Т. 148. – № 2. – С. 289–311
37. *Дианов Е.М.* Волоконные лазеры // *УФН*. – 2004. – Т. 174. – № 10. – С. 1139–1142
38. *Оханкин И.* Нобелевская премия в области инженерных наук. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.strf.ru/science.aspx?CatalogId=222&d_no=24450
39. *Colburn R.* Oral-History: Charles Kao // Interview. – 2004. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Oral-History: Charles_Kao# Publication_with_George_Hockham
40. *Полубий.* Всеобщая история в сорока книгах. – М.: Наука, 2005. – Т. 2. – 423 с.
41. *Дж. Смит.* История изобретения приборов с зарядовой связью // *УФН*. – 2009. – Т. 180. – № 12. – С. 1357–1362

42. Гибин И.С., Коронкевич И.П., Нестерихин Ю.Е., Твердохлеб П.Е. Первый советско-американский семинар по оптической обработке информации (Обзор) // Автометрия. – 1976. – № 3. – С. 3–11
43. Горшков Н.В., Петров В.В. Оптический диск как «единый» носитель информации в системах управления // Всемирный электротехнический конгресс. 21–25 июня. Секция 7. – М. – 1977. – С. 1–23
44. The Making of a Music Multinational: The International Strategy of PolyGram, 1945–1988 by Dr. Gerben Bakker, Dept. of Accounting, Finance and Management, University of Essex.
45. Магнитная песня – лебединая песня? // IT News. – 2005. – № 24. – С. 34–37
46. Ферт А. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники (Нобелевская лекция) // УФН. – 2008. – Т. 178. – № 2. – С. 1336–1348
47. Грюнберг П.А. От спиновых волн к гигантскому магнетосопротивлению и далее (Нобелевская лекция) // УФН. – 2008. – Т. 178. – № 12. – С. 1349–1358
48. Sony announces next generation video archive storage system at IBC Disc Archive Storage System set to revolutionize video and data archive storage market. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/201109/11-108E/index.html> в.

Получено 27.02.2012

Е.Ю.Колтачихина

Историко-научный анализ исследований в отрасли регистрации, передачи и возобновления информации (мировой контекст)

Дан целостный историко-научный анализ исследований в области регистрации, передачи и отображения информации сквозь призму ее ключевых результатов.