

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

На правах рукопису

ІВАНОВ ЮРІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 621.391:519.72 + 004.942

ЗАВАДОСТІЙКЕ ДЕКОДУВАННЯ ТУРБО-КОДІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ  
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:  
КУЛИК АНАТОЛІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ  
доктор технічних наук, професор

Вінниця – 2016

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК	УМОВНИХ	СКОРОЧЕНЬ	ТА
СИМВОЛІВ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>		
ВСТУП.....	4		
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАВАДОСТІЙКОГО	КОДУВАННЯ У РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ.....		
<b>Error! Bookmark not defined.</b>			
1.1	Методи	завадостійкого	
кодування.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>		
1.2	Методи	декодування	турбо-
кодів.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>		
1.3	Засоби	декодування	турбо-
кодів.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>		
1.3.1	Аналіз складових компонентів системи передавання даних.....		
<b>Error! Bookmark not defined.</b>			
1.3.2	Конструктивні особливості турбо-кодера.....		
<b>Error! Bookmark not defined.</b>			
1.3.3	Конструктивні особливості турбо-декодера.....		
<b>Error! Bookmark not defined.</b>			
Висновки.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>		
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МОДИФІКАЦІЇ МЕТОДУ... ДЕКОДУВАННЯ ТУРБО-КОДУ У РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ... СИСТЕМАХ.....			
<b>Error! Bookmark not defined.</b>			
2.1	Модифікація	методу	декодування log-MAP (PL-log-MAP).....
<b>Error! Bookmark not defined.</b>			

2.2	Модифікована процедура обчислення метрик та м'яких рішень.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3	Визначення обчислювальної складності методів декодування.....	
	турбо-	
	кодів.....	<b>Error!</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>	
	Висновки.....	<b>Er</b>
	<b>ror! Bookmark not defined.</b>	
	РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	
	ПРОЦЕДУР ДЕКОДУВАННЯ ТУРБО-КОДУ У РОЗПОДІЛЕНИХ.....	
	КОМП'ЮТЕРНИХ	
	СИСТЕМАХ.....	<b>Error! Bookmark not</b>
	<b>defined.</b>	
3.1	Режим обміну даними для турбо-декодера на базі мікропроцесорної.....	
	структури.....	<b>Er</b>
	<b>ror! Bookmark not defined.</b>	
3.2	Алгоритм роботи модифікованого турбо-декодера	
	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3	Підсистема розрахунку параметрів процесу турбо-декодування у.....	
	складі	
	декодера.....	<b>Error!</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>	
3.4	Програмне забезпечення для системи зв'язку з турбо-	
	кодеком.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	Висновки.....	<b>Err</b>
	<b>or! Bookmark not defined.</b>	
	РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
	РОБОТИ ТУРБО-ДЕКОДЕРА У РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ.....	
	СИСТЕМАХ.....	<b>Err</b>
	<b>or! Bookmark not defined.</b>	
4.1	Оцінювання вірогідності передавання даних з використанням.....	
	запропонованого	турбо-

декодера.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Експериментальні дослідження та впровадження системи передавання даних з розробленим турбо-декодером.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Висновки.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ВИСНОВКИ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	12
ДОДАТКИ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток А Методи декодування SOVA та Bi-SOVA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Б Метод декодування max-log-MAP.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток В Приклад роботи методів декодування log-MAP і PL-log-MAP.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Д Код програмного забезпечення для розрахунку статистичних... даних для методу декодування PL-log-MAP.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Е Код програмного забезпечення для порівняльного аналізу... методів декодування турбо-кодів.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Додаток Ж Матеріали впровадження результатів дисертаційної роботи.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Пристрої цифрового зв'язку відіграють важливу роль у комп'ютерних системах різного функціонального призначення. Це пов'язано з тим, що такі системи часто є територіально розподіленою сукупністю обчислювальних секторів із високошвидкісними каналами передавання даних, інформаційно-обчислювальними комплексами, апаратними та програмними засобами, які виконують автоматизований збір, збереження, оброблення, передавання та отримання даних [1, 2].

Наявність завад різної природи зумовлює актуальність розробки нових методів і засобів, які дозволяють виявляти та коригувати помилки передавання даних. Особливої уваги заслуговують завадостійкі коди, які дозволяють ефективно усувати помилки в каналі зв'язку, забезпечуючи високу вірогідність переданих даних при малих співвідношеннях сигнал/шум [3, 4]. На сучасному етапі розвитку теорії завадостійкого кодування найбільш перспективним є турбо-код (ТК) [17, 18], який здатний забезпечувати необхідні характеристики завадостійкості, максимально наближаючись до відомої із загальної теорії зв'язку межі К.Е. Шеннона [3]. Саме тому в сучасних системах зв'язку даних коригуючий код використовується для роботи з інформаційними повідомленнями великого обсягу при високошвидкісному передаванні даних для забезпечення високої

завадостійкості [5 – 15]. ТК удосконалюється в напрямі підвищення швидкості та вірогідності передавання даних, що безперечно, робить перспективним його застосування у розподілених комп'ютерних системах.

Останнім часом спостерігається збільшення кількості досліджень за цим напрямком у наукових роботах закордонних авторів, зокрема С. Berrou, A. Glavieux [7, 17, 18], P. Robertson [19, 20], J. Hagenauer, P. Hoehner [21, 22, 102], L. Hanzo [6, 28], D. Divsalar, F. Pollara [25 – 27], D. Declercq [9], Ю.Б. Зубарев [5], І.В. Васильєв [31], В.В. Золотарьов [33], А.І. Корольов [37], а також українських вчених: В.Л. Банкет [2, 139], В.В. Казимир, С.В. Зайцев, С.П. Лівенцев, Б.В. Горлінський [40, 42 – 48, 63, 138], В.В. Топалов [49] та інші. Це пов'язано з тим, що сучасні технічні можливості дозволяють застосовувати складні обчислювальні методи, які забезпечують високий ступінь виправлення помилок, проте ряд питань вимагає дослідження [2, 5 – 11, 24, 29, 36, 37, 40, 42 – 44, 61 – 63, 80 – 82].

До сучасних завадостійких інформаційних систем висуваються умови роботи з необхідною швидкістю та вірогідністю передавання даних. У свою чергу, це безпосередньо пов'язано зі швидкодією декодування. Враховуючи вищеописане, необхідно досягти прийняттого компромісу між цими параметрами. Процедура декодування ТК є найважливішим і найтрудомісткішим етапом передавання даних, а існуючі методи декодування характеризуються складністю обчислювального процесу, що обмежує швидкодію декодування та ускладнює апаратну реалізацію. З огляду на це, *актуальною науково-практичною задачею* є розробка та вдосконалення методів і засобів декодування ТК з метою підвищення вірогідності передавання даних і зменшення обчислювальної складності їх декодування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась на кафедрі автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) відповідно до планів науково-дослідної роботи (НДР): "Розробка алгоритму роботи турбо-

кодека та впровадження програмного забезпечення для передавання інформації у комп'ютерних системах різного функціонального призначення" (шифр № 41/7, номер державної реєстрації 0116U004713). Результати впроваджено в процес роботи "ТВА-Сервіс" (м. Вінниця, акт впровадження від 31.05.2016 р.), ТОВ "Медичний центр "Альтамедіка плюс" (м. Вінниця, довідка від 20.05.2016 р.) та в навчальний процес кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки ВНТУ (акт впровадження від 01.05.2016 р.), а також у наукових розробках кафедри нормальної фізіології Вінницького національного медичного університету (ВНМУ) імені М.І. Пирогова (довідка від 31.05.2016 р.). При виконанні НДР автор був відповідальним виконавцем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення вірогідності передавання даних і зменшення обчислювальної складності їх декодування за рахунок удосконалення каскадної конструкції турбо-декодера у розподілених комп'ютерних системах різного функціонального призначення.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати роботу перспективних завадостійких кодів у засобах обміну даними розподілених комп'ютерних систем різного функціонального призначення;
- модифікувати метод декодування ТК за максимумом апостеріорної імовірності  $\log$ -MAP з урахуванням зниження обчислювальної складності без втрати ефективності декодування даних;
- запропонувати модель турбо-декодера, яка використовує спрощений розрахунок метрик та апостеріорних значень відповідно до модифікованого методу декодування;
- отримати аналітичні вирази для оцінки складності роботи турбо-декодера з комплексним урахуванням елементарних математичних операцій та виконати порівняльний аналіз обчислювальної складності декодування даних, використовуючи різні методи декодування ТК;

➤ розробити програмно-апаратні засоби та дослідити запропонований PL-log-MAP метод декодування ТК за допомогою комп'ютерного імітаційного моделювання для оцінювання характеристик процесу передавання даних.

**Об'єктом дослідження** є процес обміну даними із забезпеченням необхідної вірогідності передавання даних для розподілених комп'ютерних систем.

**Предметом дослідження** є методи та засоби декодування ТК.

**Методи дослідження.** В роботі використано методи теорії ймовірності та математичної статистики, теорії інформації і кодування, теорії апроксимації функцій для удосконалення методу декодування ТК та модифікації турбо-декодера; аналітичні методи дослідження математичних моделей для аналізу обчислювальної складності процедури декодування ТК; імітаційне моделювання та експериментальне дослідження для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень. Оброблення експериментальних даних виконувалося за допомогою пакетів програм MatLab R2013a 8.01; MathCad 14.0; Microsoft Excel пакету MS Office.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в подальшому розвитку теоретичних засад побудови завадостійких ТК, що забезпечує підвищення вірогідності обміну даними при зменшенні кількості елементарних математичних операцій (ЕМО) під час реалізації засобів турбо-декодування.

1. Вперше запропоновано математичну модель турбо-декодера, особливістю якої є використання спрощеного розрахунку метрик та апостеріорних значень логарифма відношення функцій правдоподібності, що дозволяє зменшити кількість ЕМО декодування порівняно з методом MAP без втрати ефективності декодування даних, виключивши з обчислювального процесу розрахунок логарифмів та сум експоненціальних складових.

2. Вперше отримано аналітичні вирази для оцінки складності роботи турбо-декодера з урахуванням кількості комірок пам'яті та символів з виходу



кодера для методів декодування SOVA, Bi-SOVA, а також запропонованого PL-log-MAP, що дало можливість провести аналіз складності та вибрати модель турбо-декодера при його програмно-апаратній реалізації залежно від поставлених умов.

3. Запропоновано використання нової форми компенсуючої функції у складі логарифма Якобіана в математичній моделі турбо-декодера, яка, на відміну від існуючих, застосовує кусково-лінійні функції, що дозволяє представити логарифм Якобіана у спрощеному вигляді, завдяки чому виключити з обчислення суми експоненціальних складових і логарифми, зменшуючи кількість ЕМО під час турбо-декодування без втрати ефективності декодування даних.

4. Модифіковано метод декодування log-MAP на етапі обчислення метрик та апостеріорних рішень з виходу декодера, що дозволяє підвищити вірогідність передавання даних порівняно з іншими існуючими методами декодування ТК, досягаючи значень BER оригінальних MAP та log-MAP методів, і зменшити складність обчислювального процесу декодування даних.

5. Отримав подальший розвиток метод визначення обчислювальної складності (кількості ЕМО) турбо-декодування, особливістю якого є комплексне врахування елементарних операцій, які реалізуються в декодері, за рахунок чого можна отримати аналітичні вирази для оцінки складності роботи турбо-декодера та виконати порівняльний аналіз обчислювальної складності декодування даних з використанням різних методів декодування ТК з урахуванням кількості комірок пам'яті та символів з виходу кодера.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень розроблено комплекс програмних і апаратних засобів, які дозволяють підвищити вірогідність передавання даних та знизити обчислювальну складність методів декодування ТК без втрати ефективності декодування даних у розподілених комп'ютерних системах. У роботі отримані результати, які мають практичну цінність, а саме:

⇒ розроблено структурні схеми турбо-декодера, блоків для обчислення метрик та апостеріорних значень з виходу декодера за методом PL-log-MAP із застосуванням запропонованої компенсуючої функції (кореляція з оригіналом  $r = 0,9994$ , що перевищує інші методи до 10,5 %) для роботи у розподілених комп'ютерних системах різного функціонального призначення;

⇒ розроблено алгоритм турбо-декодування PL-log-MAP, використання якого дає можливість зменшити кількість ЕМО методу декодування MAP у 3-7 рази, максимально наближаючись до показників BER MAP ( $RMSE = 0,0004$ ,  $r = 0,9997$ ) та log-MAP ( $RMSE = 0,0005$ ,  $r = 0,9998$ ) методів;

⇒ розроблені програмні засоби для системи передавання даних з турбо-декодером, які дозволяють оцінити та забезпечити необхідну вірогідність обміну даними з використанням різних методів декодування при певному рівні нормованого відношення сигнал/шум у каналі передавання даних;

⇒ сформульовано рекомендації щодо застосування різних методів декодування ТК відповідно до необхідних імовірнісних та енергетичних характеристик процесу передавання даних.

Результати, які отримані у роботі, були використані в процесі розроблення: системи охоронної телесигналізації на ПП "ТВА-Сервіс"; розподіленої системи оброблення зображень органів людини на ТОВ "Медичний центр "Альтамедіка плюс"; багатоканальної телеметричної системи передавання фізіологічних характеристик лабораторних тварин у ВНМУ імені М.І. Пирогова, а також кафедральних дослідженнях ВНТУ.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати, які складають основний зміст роботи, отримані автором самостійно. Роботи [81 – 88, 90 – 92] є одноосібно підготовленими працями. У публікаціях, написаних у співавторстві, дисертанту належать: [13, 53, 57] – математичний апарат, апаратні та програмні засоби для методу декодування MAP, проведення імітаційного моделювання; [14, 50, 51, 68] – аналіз основних властивостей

ТК, розрахунок логарифма відношення функцій правдоподібності (ЛВФП) та моделювання роботи методів декодування SOVA та Bi-SOVA, представлення апаратних засобів; [15, 65 – 67] – аналіз перспектив застосування турбо-кодових конструкцій у системах різного функціонального призначення; [52] – аналіз обчислювальної складності методів декодування MAP, max-log-MAP, SOVA, Bi-SOVA; [54, 56, 61] – математичні моделі та апаратні засоби для методів декодування log-MAP, max-log-MAP, оцінювання їх роботи; [55] – аналіз методу декодування А. Viterbi; [59, 60, 69] – використання алгебри ЛВФП для блокових ТК; [62] – модифікація методу декодування log-MAP, аналіз його основних властивостей та визначення числових оцінок, розробка засобів декодування, моделювання роботи на мультимедіа даних; [71] – математичні моделі методів моделювання шумів у каналах передавання даних Гауса та Релея; [72] – опис узагальненої ітеративної стратегії турбо-декодування; [73] – аналіз видів інтерліверів у турбо-кодових конструкціях; [74, 75] – математичні моделі методів оцінювання інтерліверів; [76, 78] – опис основних принципів роботи системи передавання даних у складі телемедичного комплексу; [77] – порівняння правил зупинки процесу турбо-декодування; [79] – статистичне оцінювання кусково-лінійної компенсуючої функції у складі логарифма Якобіана; [89, 93] – розробка алгоритму та реалізація окремих модулів програмного забезпечення.

**Апробація результатів роботи.** Основні результати та положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на таких наукових конференціях [59, 60, 62, 65, 67 – 68, 71 – 78, 81]: VI та VII міжнародних конференціях з оптико-електронних інформаційних технологій Photonics-ODS (м. Вінниця, 1-4 жовтня 2012 р., 21-23 квітня 2015 р.); I, II та III міжнародних наукових конференціях “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (м. Вінниця, 18-20 жовтня 2011 р., 29-30 жовтня 2013 р., 27-29 жовтня 2015 р.); XII міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах (м. Вінниця, 14-16 жовтня 2014 р.); IV та V міжнародних науково-практичних конференціях

“Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія (м. Вінниця, 28-30 травня 2014 р., 27-29 травня 2015 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Информационные системы и технологии” (АР Крим, Морське, 22-29 вересня 2012 р.); міжнародній науково-практичній інтернет-конференції “Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании” (м. Одеса, 18-27 грудня 2012 р.); міжнародній науковій конференції “Современные информационные и электронные технологии (м. Одеса, 27-31 травня 2013 р.); XIII міжнародній науково-технічній конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (м. Хмельницький, 6-12 червня 2014 р.); III науково-технічній конференції “Обчислювальні методи і системи перетворення інформації” (м. Львів, 25-26 вересня 2014 р.); X and XI International Siberian Conference on Control and Communications “SIBCON” (Russian Federation, Krasnoyarsk, 12-13 September, 2013; Omsk, 21-23 May, 2015); International scientific and practical conference “News of the Advanced Science” (Bulgary, Sofia, 17-25 May, 2013) та 3-ох (XLI, XLII, XLV) конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 14 березня 2012 р., 21 березня 2013 р., 9 березня 2016 р.).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 42 наукові праці: 15 статей в наукових фахових виданнях, 10 з яких в українських наукових фахових виданнях [13, 14, 50 – 54, 56, 61, 82], 2 роботи у збірниках наукових праць [57, 59], 3 статті у закордонних виданнях [55, 60, 62], з яких 1 стаття входить до журналів із міжнародної науково-метричної бази даних SCOPUS [62], 2 – до міжнародної цифрової бібліотеки наукових статей IEEE Xplore [60, 62], 7 статей у складі робіт науково-метричної бази РИНЦ SCIENCE INDEX [50, 51, 52, 55 – 57, 82]; 16 публікації у вигляді тез доповідей [15, 65 – 69, 71 – 79, 81] і 11 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір (комп’ютерну програму) [83 – 93].

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 145 бібліографічних посилань (18 стор.), і 6 додатків (20 стор.). Матеріали дисертаційної роботи викладено на 136 сторінках основного тексту (на 20 сторінках розміщено рисунки і таблиці, які повністю займають площу сторінки), включаючи 75 рисунків і 18 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 174 сторінки.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Основи техніки передавання інформації / Р.Н. Кветний, М.М. Компанець, С.Г. Кривогубченко, А.Я. Кулик. – Вінниця: ВНТУ, 2001. – 364 с.
2. Банкет В.Л. Дискретная математика в задачах теории цифровой связи: учебн. пособие. – Одесса: ОНАС, 2008. – 118 с.
3. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication / C.E. Shannon // Reprinted from The Bell System Technical Journal. – 1948. – V. 27. – P. 379-423, 623-656.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ.; под ред. А.В. Назаренко / Б. Скляр. – М.: Вильямс, 2003. – 1004 с.
5. Зубарев Ю.Б. Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных [Электронный ресурс] / Ю.Б. Зубарев, Г.В. Овечкин. – Режим доступа: [http://www.mtdbest.iki.rssi.ru/pdf/obzor\\_dvoichnie\\_kodi\\_2.pdf](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru/pdf/obzor_dvoichnie_kodi_2.pdf).
6. Hanzo L. Turbo Coding, Turbo Equalisation and Space-Time Coding for Transmission over Wireless Channels / L. Hanzo, T.H. Liew, B.L. Yea. – Southampton: Department of Electronics and Computer Science, 2002. – 746 p.
7. Channel Coding in Communication Networks. From Theory to Turbocodes: edited by A. Glavieux / C. Berrou, C. Douillard, M. Jézéquel, A. Picart. – Chippenham: ISTE, 2007. – 437 p.

8. Sripimanwat K. Turbo Code Applications: A Journey from a Paper to Realization / K. Sripimanwat. – New York: Springer, 2005. – 386 p.
9. Channel Coding: Theory, Algorithms, and Applications / D. Declercq, M. Fossorier, E. Biglieri and others. – Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications, Elsevier, 2014. – 690 p.
10. Boutillon E. Iterative Decoding of Concatenated Convolutional Codes: Implementation Issues / E. Boutillon, C. Douillard, G. Montorsi // Proceedings of IEEE. – 2007. – V. 95. – P. 1201-1227.
11. Gracie K. Turbo and Turbo-Like Codes: Principles and Applications in Telecommunications / K. Gracie, M.-H. Hamon // Proceedings of the IEEE. – 2007. – V. 95. – № 5. – P. 1228-1254.
12. Soleymani M.R. Turbo Coding for Satellite and Wireless Communications / M.R. Soleymani, Y. Gao, U. Vilaipornsawai. – New York: Kluwer Academic, 2002. – 231 p.
13. Кулик А.Я. Декодування та реалізація алгоритму BCJR для турбокоду стандартизованого в DVB-RCS / А.Я. Кулик, Д.С. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки. – Суми: СУМДУ, 2012. – Т. 4. – № 1. – С. 84-94.
14. Кулик А.Я. Концепція роботи систем мобільного зв'язку 3G із застосуванням алгебри логарифма функції правдоподібності для алгоритму декодування Ві-SOVA / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – № 2(18). – С. 84-91.
15. Kulyk A.Ya. The Turbo-codes Application in Telemedicine Systems with the Wireless Body Area Sensor Networks: матер. XII міжнародної конференції “Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)” / А.Я. Кулик, Yu.Yu. Ivanov, I.Yu. Ivanov. – Вінниця: ВНТУ, 14-16 жовтня, 2014 року. – С. 206.

16. Johnson S.J. Iterative Error Correction. Turbo, Low-Density Parity-Check and Repeat-Accumulate Codes / S.J. Johnson. – New York: Cambridge University Press, 2009. – 356 p.

17. Berrou C. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes / C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima // Proceedings of the ICC'93. – Switzerland, Geneva: 1993. – P. 1064-1070.

18. Berrou C. Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes / C. Berrou, A. Glavieux // IEEE Transactions on Communications. – 1996. – V. 44. – № 10. – P. 1261-1271.

19. Robertson P. Optimal and Sub-Optimal Maximum A Posteriori Algorithms Suitable for Turbo Decoding / P. Robertson, P. Villebrun, P. Hoeher // European Transactions on Telecommunications. – 1997. – V. 8. – P. 119-125.

20. Robertson P. A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain / P. Robertson, E. Villebrun, P. Hoeher // 1995 IEEE International Conference on Communications ICC'95 "Gateway to Globalization". – USA, Seattle: IEEE, June 18, 1995. – V. 2. – P. 1009-1013.

21. Hagenauer J. The Turbo Principle: Tutorial Introduction and State of the Art / J. Hagenauer // Proclaimed on the International Symposium on Turbo Codes and Related Topics. – September 3, 1997. – P. 1-11.

22. Hagenauer J. Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes / J. Hagenauer, E. Offer, L. Papke // IEEE Transactions on Information Theory. – 1996. – V. 42. – № 2. – P. 429-445.

23. Pietrobon S.S. Implementation and Performance of a Turbo/MAP Decoder / S.S. Pietrobon // International Journal of Satellite Communications. – John Wiley & Sons, 1998. – V. 16 (1). – P. 23–46.

24. Liang L. Analysis of Low Power Implementational Issues of Turbo-like Codes in Body Area Networks: Ph. D. dissertation: 03.11.2009 / Li Liang. – University of Southampton, UK, 2009. – 87 p.

25. Divsalar D. Hybrid Concatenated Codes and Iterative Decoding / D. Divsalar, F. Pollara // TDA Progress Report 42-130. – Communications Systems and Research Section, 1997. – P. 1-23 p.

26. Divsalar D. Hybrid Concatenated Codes and Iterative Decoding / D. Divsalar, F. Pollara. – USA Patent No. 6,023,783 – February 8, 2000.

27. Algorithm for Continuous Decoding of Turbo Codes / S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi, F. Pollara // IEEE Electronics Letters. – 1996. – V. 32 (4). – P. 314-315.

28. Woodard J. Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: An Overview / J. Woodard, L. Hanzo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2000. – V. 49. – № 6. – P. 2208-2233.

29. Mishra D. Hybrid Concatenated Convolutional Code for Deep Space Mission / D. Mishra, S. Jit, K.S. Dasgupta // International Journal of Computer Applications. – USA: New York, 2012. – V. 47. – № 19. – P. 33-38.

30. Simulating the Operation of Turbo Codes through the Monte Carlo Method, Comparison between MATLAB, C and C# / H. Balta, A. Isar, D. Isar, M. Balta // Advances in Intelligent and Soft Computing. – Springer Berlin Heidelberg, 2012. – V. 133. – P. 1127-1139.

31. Васильев В.И. Турбо-код – основные характеристики, особенности применения и моделирования / И.В. Васильев, Х.Т. Ха // Вестник ВГУ. Серия физика, математика. – Воронеж: 2004. – № 2. – С. 8-15.

32. Зигангиров К.Ш. Современная теория кодирования / К.Ш. Зигангиров, Г.А. Кабатянский. – 2007. – 172 с.

33. Золотарев В.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник / В.В. Золотарев, Г.В. Овечкин. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2004. – 126 с.

34. Варгаузин В.А. Вблизи границы Шеннона / В.А. Варгаузин // ТелеМультиМедиа. – 2005. – № 3 (31). – С. 3-10.



35. Варгаузин В.А. Турбо-коды и итеративное декодирование: принципы, свойства, применение / В.А. Варгаузин, Л.Н. Протопопов // ТелеМультиМедиа. – 2000. – № 4. – С. 33-38.

36. Зяблов В.В. Дистанционные свойства турбо кодов с различными перемежителями / В.В. Зяблов, М.А. Цветков // Информационные процессы. – 2003. – Том 3. – № 2. – С. 83-96.

37. Королев А.И. Турбо-коды и итеративное декодирование / А.И. Королев, В.К. Конопелько. – Минск: БГУИР, 2015. – 74 с.

38. Kaluuba L.L. A Comparative Analysis of the Potential of Robust Coding Schemes in Emerging Wireless Technologies: Ph. D. dissertation: 28.12.2010 / L.L. Kaluuba. – Makerere University, Uganda, 2010. – 222 p.

39. Небаев И.А. Анализ эффективности турбокодов в системах обработки и передачи данных: автореф. дисс... канд. техн. наук / Небаев И.А.; Гос ун-т телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. – СПб, Россия, 2013. – 16 с.

40. Зайцев С.В. Применение турбо-кодов в специальных телекоммуникационных системах / С.В. Зайцев, С.П. Ливенцев, Д.А. Алексеев // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2005. – № 11. – С. 162-167.

41. Хоанг Т.Х. Разработка модели и алгоритмов совместного кодирования источника и канального кодирования на основе турбо кода: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Хоанг Т.Х.; Воронежский гос. ун-т. – Воронеж, Россия, 2008 – 16 с.

42. Синтез оптимальной структуры турбокода с использованием генетического алгоритма / С.П. Ливенцев, А.И. Артюх, С.В. Зайцев, Б.В. Горлинский // Науковий журнал “Зв’язок”. – К.: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, 2006. – № 8. – С. 36-42.

43. Зайцев С.В. Оценка сложности реализации алгоритмов декодирования турбокодов при декодировании бита информации на цифровых сигнальных процессорах / С.В. Зайцев, С.П. Ливенцев,

Б.В. Горлинский // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – К.: КПІ, 2006. – №. 2 (13). – С. 183-188.

44. Ливенцев С.П. Анализ сложности MAP, MAX LOG MAP и LOG MAP алгоритмов декодирования турбокодов при декодировании бита информации / С.П. Ливенцев, С.В. Зайцев, Б.В. Горлинский // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – К.: КПІ, 2006. – №. 1 (12). – С. 125-135.

45. Модифікований алгоритм турбо-декодування для турбо-кодів із повторенням / О. Овчаров, С. Зайцев, С. Лівенцев, О. Петрова // Науковий журнал “Зв’язок”. – К.: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, 2011. – № 4. – С. 38-46.

46. Зайцев С.В. Метод підвищення вірогідності передачі інформації в розподілених програмованих безпроводних системах за результатами аналізу декодування турбо кодів: матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції “Комп’ютерні системи та мережні технології” (CSNT-2013) / С.В. Зайцев. – К.: Національний авіаційний університет, 11–13 червня, 2013. – С. 57.

47. Зайцев С.В. Модифікований алгоритм декодування турбокодів log-MAP з урахуванням впливу навмисних завод / С.В. Зайцев // Науково-технічний журнал “Математичні машини і системи”. – К.: 2015. – № 4. – С. 70-79.

48. Інформаційні основи побудови телекомунікаційних мереж / В.В. Казимир, В.В. Литвинов, С.М. Шкарлет, С.В. Зайцев. – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2013. – С. 82-142.

49. Топалов В.В. Модификация двунаправленного итеративного алгоритма Витерби с вероятностным решением для декодирования турбо-кодів / В.В. Топалов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2007. – № 2. – С. 74-75.

50. Кулик А.Я. Турбо-код: властивості та застосування для завадостійкого кодування / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – № 2(22). – С. 25-32.

51. Кулик А.Я. Апаратна реалізація декодера SOVA з "м'яким" 3-бітовим квантованим виходом / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов // Цифрові технології. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – № 12. – С. 15-22.

52. Кулик А.Я. Порівняльний аналіз складності реалізації методів декодування турбо-кодів / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – № 1 (26). – С. 26-31.

53. Кулик А.Я. Апаратна реалізація MAP декодера для турбо-кодів / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси: ЧНТУ, 2012. – № 2. – С. 48-53.

54. Кулик А.Я. Апаратна реалізація log-MAP декодера для турбо-кодів [Електронний ресурс] / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов // Вісник НУК. – Миколаїв: НУК, 2012. – № 4. – С 288-292. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua/ru/publication?publicationId=19560>.

55. Ivanov Y. A Viterbi Algorithm as a Key to Decoding Turbo-Code / Y. Ivanov, A. Kulyk, S. Krivogubchenko // Nauka i studia. – Przemysl: Nauka i studia, 2012. – № 11(56). – P. 60-65.

56. Васюра А.С. Застосування завадостійкого ітеративного турбо-коду в стандарті цифрового супутникового телебачення DVB-S / А.С. Васюра, А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: ХНТУ, 2012. – № 3. – С. 64-68.

57. Програмна реалізація турбо-декодера з обробленням метрик за допомогою алгоритму MAP / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Д.С. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической интернет-конференции "Современные

проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012”. – Выпуск 4. Том 12. Технические науки. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 35-40.

58. XILINX Logic Core. Turbo Decoder [Web Resource] / Product Specification. – 2009. – Access mode: [http://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/tcc\\_decoder\\_3gpp\\_ds318.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/tcc_decoder_3gpp_ds318.pdf). – 19 p.

59. Кулик А.Я. Застосування гіперболічних функцій для роботи з турбо-кодами у розподілених комп’ютерних системах різного функціонального призначення / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Иванов // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии (СИЭТ-2013)” – Одеса: 27-31 травня, 2013 року. — С. 190-192.

60. Ivanov Y. Using Gudermannian to Improve the Turbo-Code Mathematical Principles in 3G Communication Systems / Y. Ivanov, A. Kulyk, A. Romanyuk // Proceedings on X IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – Russian Federation, Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 12-13 September, 2013. – P. 1-3. – Access mode: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6693580>.

61. Модификации для снижения вычислительной сложности алгоритма декодирования ВСJR MAP в турбо-кодовых конструкциях / О.В. Стукач, А.Н. Романюк, А.Я. Кулик, Ю.Ю. Иванов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – Красноармійськ: ДонТУ, 2015. – № 1(20). – С. 107-112.

62. A Novel Suboptimal Piecewise-Linear-log-MAP Algorithm for Turbo Decoding / Yu.Yu. Ivanov, A.N. Romanyuk, A.Ia. Kulyk, O.V. Stukach // Proceedings on XI IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – Russian Federation, Omsk: Omsk State Technical University, 21-23 May, 2015. – P. 1-8. – Access mode: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84941086462&origin=inward&txGid=0>.

63. Зайцев С.В. Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Зайцев С.В.; Чернігівський національний технологічний університет. – Чернігів, Україна, 2016. – 41 с.

64. MacKay D.J.C. Information Theory, Inference, and Learning Algorithms / D.J.C. MacKay. – Cambridge University Press, 2005. – 640 p.

65. Кулик А.Я. Перспективи застосування турбо-коду в інформаційно-вимірювальних системах та системах контролю: матер. І міжнародної наукової конференції “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС – 2011) / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов. – Вінниця: ВНТУ, 18-20 жовтня, 2011 року. – С. 189.

66. Кулик А.Я. Перспективи застосування турбо-кодів у системах передавання даних [Електронний ресурс]: матер. ХІІ науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов. – Вінниця: ВНТУ, 14 березня, 2012 року. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2012/inaeksu/txt/ivanov.pdf>.

67. Іванов Ю.Ю. Застосування турбо-кодів у розподілених комп'ютерних системах різного функціонального призначення: матер. VI міжнародної конференції з оптико-електронних інформаційних технологій “Photonics-ODS 2012” / Ю.Ю. Іванов, А.Я. Кулик. – Вінниця: ВНТУ, 1-4 жовтня, 2012 року. – С. 31.

68. Кулик А.Я. Декодування турбо-коду в розподілених комп'ютерних системах різного функціонального призначення з використанням SOVA: матер. міжнародної науково-технічної конференції “Информационные системы и технологии (ИСТ-2012)” / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов. – Морське (АР Крим)–Харків: НТМТ, 22-29 вересня, 2012 року. – С. 45.

69. Кулик А.Я. Методи та засоби декодування турбо-кодів у розподілених комп'ютерних системах різного функціонального призначення [Електронний ресурс]: матер. ХЛІІ науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов. – Вінниця: ВНТУ, 21 березня, 2013 року. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2013/inaeksu/txt/ivanov.pdf>.

70. Wu Y. Implementation of Parallel and Serial Concatenated Convolutional Codes: Ph.D. dissertation: April, 2000 / Y. Wu. – Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2000. – 219 p.

71. Алгоритми моделювання шуму у каналах зв'язку Гауса та Релея для аналізу роботи турбо-кодових конструкцій у системах цифрового передавання інформації: матер. ІІ міжнародної наукової конференції “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС – 2013) / Ю.Ю. Іванов, А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Д.С. Кривогубченко. – Вінниця: «ТД«Едельвейс і К», 29-30 жовтня, 2013 року. – С. 68-70.

72. Іванов Ю.Ю. О некоторых аспектах итеративной стратегии декодирования турбо-кодов: ретроспектива и ”турбо”-принцип: матер. ІV международной научно-практической конференции “Информационные технологии и компьютерная инженерия (ИТКИ)” / Ю.Ю. Іванов, А.Я. Кулик. – Винница: ВНТУ, 28-30 мая, 2014 года. – С. 157-160.

73. Кулик А.Я. Види інтерліверів у турбо-кодових конструкціях для цифрових систем зв'язку різного функціонального призначення: матер. ХІІІ міжнародної науково-технічної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-2014)” / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов. – Одеса-Хмельницький: ХНУ, 6-12 червня, 2014 року. – С. 124.

74. Кулик А.Я. Методи оцінювання ефективності інтерліверів у турбо-кодovій конструкції: матер. III науково-технічної конференції “Обчислювальні методи і системи перетворення інформації (ОМСП-2014)” / А.Я. Кулик, Ю.Ю. Іванов. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 25-26 вересня, 2014 року. – С. 161-164.

75. Задача оцінювання ефективності роботи турбо-декодера з використанням метрики циклічної кореляційної суми: матер. XII міжнародної конференції “Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)” / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Д.С. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов. – Вінниця: ВНТУ, 14-16 жовтня, 2014 року. – С. 41.

76. Іванов Ю.Ю. Система передавання даних з використанням турбокоду в медичному телеметричному комплексі: матер. VII міжнародної конференції з оптико-електронних інформаційних технологій “Photonics-ODS 2015” / Ю.Ю. Іванов, А.Я. Кулик, І.Ю. Іванов – Вінниця: ВНТУ, 21-23 квітня, 2015 року. – С. 65.

77. Ivanov Yu. Principles and Comparison of Stopping Rules for Turbo Decoders: матер. V міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія (ІТКІ-2015)” / Yu. Ivanov, A. Kulyk. – Івано-Франківськ–Вінниця: п. Голіней О.М., 27-29 травня, 2015 року. – С. 87-88.

78. Алгоритм турбо-декодування PL-log-MAP для цифрової системи передавання даних у складі телемедичного комплексу: матер. III міжнародної наукової конференції “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС – 2015) / А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов, І.Ю. Іванов. – Вінниця: 27-29 жовтня, 2015 року. – С. 118.

79. Іванов Ю.Ю. Новий кусково-лінійний алгоритм log-MAP для турбо-декодування в цифрових системах зв’язку [Електронний ресурс]: матер. XLV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств

м. Вінниця та області / Ю.Ю. Іванов, А.Я. Кулик, С.Г. Кривогубченко. – Вінниця: ВНТУ, 9 березня, 2016 року. – Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2016/paper/view/128>.

80. Exploring Interleavers in Turbo Coding / B. Moreno, L. Smithy, A. Viteriz, K.D. Yao. – California State Polytechnic University, Pomona and Loyola Marymount University, 2005. – 43 p.

81. Ivanov Y.Y. Expansion for the Mathematical Apparatus of the Algebra Logarithm of the Likelihood Function for the Turbo-Codes in Distributed Computer Systems of Different Functional Purposes: materials of the international scientific and practical conference “News of the Advanced Science” / Y.Y. Ivanov. – Sofia (Bulgary): May 17-25, 2013. – P. 34-37.

82. Іванов Ю.Ю. Особливості апаратно-програмної реалізації турбо-кодів: порівняльний аналіз складності реалізації на цифровому сигнальному процесорі / Ю.Ю. Іванов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – № 3(126). – С. 94-101.

83. А.с. № 45410 України. Комп'ютерна програма ”Декодер турбо-коду на основі алгоритму log-MAP для зниження обчислювальної складності з використанням логарифму Якобіана” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Опубл. 03.09.2012.

84. А.с. № 45411 України. Комп'ютерна програма ”Декодер на основі алгоритму BCJR (MAP) для турбо-коду стандартизованого в мережі DVB-RCS” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Опубл. 03.09.2012.

85. А.с. № 45412 України. Комп'ютерна програма “Декодер турбо-коду на основі використання апроксимації за максимумом (max-log-MAP) для застосування в інформаційних системах” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Опубл. 03.09.2012.

86. А.с. № 45413 України. Комп'ютерна програма “Клієнт-серверний додаток з використанням ітеративного завадостійкого турбо-коду для передавання інформації у складних комп'ютерних мережах” / Ю.Ю. Іванов. –



К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Оpubл. 03.09.2012.

87. А.с. № 45414 України. Комп'ютерна програма “Декодер турбо-кодів на основі SOVA для застосування в розподілених комп'ютерних системах різного функціонального призначення” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Оpubл. 03.09.2012.

88. А.с. № 45415 України. Комп'ютерна програма “Емулятор роботи заводостійкого дуобінарного турбо-коду для стандарту цифрового супутникового телебачення DVB-S” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Оpubл. 03.09.2012.

89. А.с. № 60431 України. Комп'ютерна програма “Цифрова система передавання даних з використанням турбо-кодових конструкцій в медичному телеметричному комплексі” / Ю.Ю. Іванов, І.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Оpubл. 01.07.2015.

90. А.с. № 60432 України. Комп'ютерна програма “Декодер турбо-кода на основі нового субоптимального кусочно-лінійного алгоритму PL-log-MAP для застосування в інформаційних системах” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Оpubл. 01.07.2015.

91. А.с. № 60433 України. Комп'ютерна програма “Емулятор роботи цифрової розподіленої комп'ютерної системи зв'язку з використанням турбо-кода та субоптимального кусочно-лінійного алгоритму декодування log-MAP” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Оpubл. 01.07.2015.

92. А.с. № 60434 України. Комп'ютерна програма “Інтерлівер для турбо-коду на основі алгоритма Simulated Annealing з використанням критерію ефективності за екстремумами функцій дисперсії та метрики циклічної кореляційної суми” / Ю.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Оpubл. 01.07.2015.

93. А.с. № 60435 України. Комп'ютерна програма “Програмний комплекс для роботи телеехографічної системи діагностики з віддаленим доступом” / Ю.Ю. Іванов, І.Ю. Іванов. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Опубл. 01.07.2015.

94. Divsalar D. Multiple Turbo Codes for Deep-Space Communications / D. Divsalar, F. Pollara // TDA Progress Report 42-121. – Communications Systems and Research Section, 1995. – P. 66-77.

95. Viterbi A.J. Error Bounds for Convolutional Codes and an Asymptotically Optimum Decoding Algorithm / A.J. Viterbi // IEEE Transactions on Information Theory. – V. 13, April 1967. – P. 260–269.

96. Витерби А.Д. Принципы цифровой связи и кодирования: пер. с англ.; под ред. К.Ш. Зигангирова / А.Д. Витерби, Дж.К. Омура. – М.: Радио и связь, 1982. – 536 с.

97. Forney G.D. Concatenated Codes / G.D. Forney // Technical Report 440. – Cambridge, Massachusetts: Research Laboratory MIT, 1965. – 116 p.

98. Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate / L. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, J. Raviv // IEEE Transactions on Information Theory. – 1974. – V. 20. – P. 284-287.

99. Kim S. A Connection Between the Baum-Welch Algorithm and Turbo Decoding / S. Kim, S.B. Wicker // Proceedings of the 1998 Information Theory Workshop. – Ireland, Killarney: June 22-26, 1998. – P. 12-13.

100. McEliece R.J. Turbo Decoding as an Instance of Pearl's “Belief Propagation” Algorithm / R.J. McEliece, D.J.C. MacKay, J.-F. Cheng // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1998. – V 16(2). – P. 140-152.

101. Gallager R.G. Low-Density Parity-Check Codes / R.G. Gallager. – Cambridge: M.I.T. Press, 1963. – 90 p.

102. Hagenauer J. A Viterbi Algorithm with Soft-Decision Outputs and its Applications / J. Hagenauer, P. Hoehner // Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference. – USA, Texas: 1989. – P. 1680-1686.

103. Koch W. Optimum and sub optimum detection of coded data disturbed by time varying intersymbol interference / W. Koch, A. Baier // Proceedings on the CLOBECOM 1990. – 1990. – P. 1679-1684.

104. Лидл Р. Конечные поля. В 2-х томах / Р. Лидл, Г. Нидеррайтер. – М: Мир, 1988. – 820 с.

105. Erfanian J.A. Reduced complexity symbol detectors with parallel structures for ISI channels / J.A. Erfanian, S. Pasupathy, G. Gulak // IEEE Transactions on Communications. – V. 42. – 1994. – P. 1661-1671.

106. Wang J. Decoding, Channel Decoding and Channel Equalisation: Ph.D. dissertation: January, 2007 / J. Wang. – University of Southampton, UK, 2007. – 220 p.

107. Zhang L. A Simplified log-MAP Turbo Decoder by Fitting Method / L. Zhang, S.-Z. Yu // Proceedings in IEEE International Conference on Advanced Communication Technology. – 2005. – V. 2. – P. 854–857.

108. Gross W.J. Simplified MAP Algorithm Suitable for Implementation of Turbo Decoders / W.J. Gross, P.G. Gulak // Electronic Letters, IET Journal. – 1998. – V. 34. – P. 1577-1578.

109. Cheng J.F. Linearly Approximated log-MAP Algorithms for Turbo Decoding / J.F. Cheng, T. Ottosson // Proceedings in IEEE Vehicular Technology Conference (VTC). – USA: Boston, 2000. – P. 2252-2256.

110. A Linear log-MAP Algorithm for Turbo Decoding and Turbo Equalization / S. Talakoub, L. Sabeti, B. Shahrava, and M. Ahmadi // IEEE International Conference on Wireless And Mobile Computing, Networking and Communications. – 2005. – V. 1. – P. 182-186.

111. Asoodeh S. A New Constructive Approximation in Log-Map Turbo Decoder / S. Asoodeh // 7-th WSEAS International Conference on Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications. – UK: Cambridge. – 2008. – P. 220-224.

112. Lim L.L. Hybrid Log-MAP Algorithm for Turbo Decoding Over AWGN Channel / 7-th International Conference on Wireless and Mobile

Communications (ICWMC). – 2011. – P. 211-214.

113. Battail G. Genetics as a Communication Process Involving Error-Correcting Codes / G. Battail // *Biosemiotics*. – 2005. – V. 1. – № 1. – P. 103-144.

114. Morelos-Zaragoza R. The Art of Error Correction Coding: 2nd Edition / R. Morelos-Zaragoza. – Chippenham: John Wiley & Sons, 2006. – P. 143-168.

115. Abbasfar A. Turbo-Like Codes: Design for High Speed Decoding / A. Abbasfar. – New York: Springer, 2010. – 84 p.

116. Moon T.K. Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms / T.K. Moon. – John Wiley & Sons, 2005. – 750 p.

117. Кларк Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: пер. с англ.; под ред. Б.С. Цыбакова / Дж. Кларк, Дж. Кейн. – М.: Радио и связь, 1987. – 382 с.

118. Andrews K. A Theory of Interleavers [Web resource] / K. Andrews, C. Heegard, D. Kozen. – Access mode: <http://www.nativei.com/~heegard/papers/interl.pdf>.

119. Rijshouwer E.J.C. The Design of a Reconfigurable Interleaver Architecture for Software Defined Radio / E.J.C. Rijshouwer. – Eindhoven: Koninklijke Philips Electronics, 2006. – 192 p.

120. Xie K. On the Analysis and Design of Good Algebraic Interleavers: proclaimed on the Turbo-Codes 6th International ITG-Conference on Source and Channel Coding "TURBOCODING" / K. Xie, W. Wang, J. Li. – Munich: 3-7 April, 2006. – P. 1-6.

121. Hennhöfer M. Information Theory and Coding / M. Hennhöfer. – Ilmenau University of Technology: Communications Research Laboratory, 2011. – 78 p.

122. Matache A. Stopping Rules for Turbo Decoders / A. Matache, S. Dolinar, F. Pollara // TDA Progress Report 42-142. – Communications Systems and Research Section, 2000. – P. 1-22.

123. Sweeney P. Error Control Coding: from Theory to Practice / P. Sweeney. – Chippenham: John Wiley & Sons, 2002. – 242 p.

124. Balta H. The Minimum Likelihood APP Based Early Stopping Criterion for Multi-Binary Turbo Codes / H. Balta, C. Douillard, M. Kovaci // Scientific Bulletin Transactions on Electronics and Communications. – Roumania: 2006. – V. 51. – P. 1-5.
125. VA. Turbo Code Primer [Web Resource] / VA. – 2005. – Access mode: <http://www.vashe.org>. – 14 p.
126. Abrantes S. From BCJR to Turbo Decoding: MAP Algorithms Made Easier / S. Abrantes // Information and Telecommunication Technology Center of the University of Kansas, USA. – Lawrence: ITTC, 2004. – 30 p.
127. Langton C. Intuitive Guide to Principles of Communications. Turbo Coding and MAP in 2 parts / C. Langton. – 2006. – 40 p.
128. Ryan W. A Turbo Code Tutorial [Web resource] / W. Ryan. – Access mode: <http://vada.skku.ac.kr/ClassInfo/digital-com2000/slides/turbo2c.pdf>.
129. Гладких А.А. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи / А.А. Гладких. – Ульяновск: УЛГТУ, 2010. – 379 с.
130. Valenti M.C. An Efficient Software Radio Implementation of the UMTS Turbo Code / M.C. Valenti // Proclaimed in IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRS). – USA: San Diego, 2001. – P. 108-113.
131. Песков С.Н. Расчет вероятности ошибки в цифровых каналах связи / С.Н. Песков, А.Е. Ищенко // Теле-Спутник. – 2010. – № 11(181) – С. 70-75.
132. Orlović D. Turbo kod uporenivanje MAP i SOVA dekodovanja / D. Orlović. – Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Electrical Science. – 2009. – 11 p.
133. Bi-directional SOVA Decoding for Turbo-codes / J. Chen, M.P.C. Fossorier, S. Lin, C. Xu // IEEE Communications Letters. – V. 4 (12 ). – P. 405-407.

134. Розенвассер Д.М. Сравнение помехоустойчивых кодов ВОСП / Д.М. Розенвассер // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – № 1. – С. 134-137.

135. Malardel F. Simulation and Optimisation of the Turbo Decoding Algorithm: Ph. D. dissertation: November 1996 / F. Malardel. – École Francaise d'Électronique et d'Informatique, France, 1996. – 74 p.

136. Бархатов А.В. Руководство пользователя по сигнальным процессорам семейства SHARC ADSP-2106x / А.В. Бархатов, А.А. Коновалов, М.Н. Петров. – СПб: ООО ЭЛТЕХ, 2002. – С. 493-539.

137. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов (9-е изд.) / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – С. 324-329.

138. Имитационное моделирование характеристик помехоустойчивости системы передачи информации с турбокодами / С.В. Зайцев, С.П. Ливенцев, Б.В. Горлинский, А.И. Артюх // Науковий журнал “Зв’язок”. – К.: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, 2006. – №7. – С. 38-42.

139. Экспериментальное исследование процедур кодирования / декодирования турбокодов / В.Л. Банкет, С.Д. Прокопов, А.Г. Постовой, Ф.В. Топорков // Науковий журнал “Зв’язок”. – К.: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, 2004. – № 6. – С. 57-58.

140. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing / W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – P. 278.

141. Jiang Y. A Practical Guide to Error-Control Coding Using MATLAB / Y. Jiang. – UK, London: Artech House, 2010. – 293 p.

142. Багатоканальна телеметрична система передавання фізіологічних параметрів лабораторних тварин: матер. III Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції з автоматичного управління ХНТУ ТК –

2015 / Н.С. Барзак, І.Л. Рокунець, О.В. Власенко, А.Я. Кулик. – Херсон: 15 квітня, 2015 року. – С. 7-10.

143. Прокис Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

144. Ануфриев И.Е. MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

145. MATLAB Programming Fundamentals [Web Resource] / MATLAB. – USA, Massachusetts, Natick: The MathWorks, 2015. – Access mode: [http://www.uow.edu.au/~phung/resources/matlab\\_prog.pdf](http://www.uow.edu.au/~phung/resources/matlab_prog.pdf). – 1064 p.