БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Светлана Тодорова Топалова

КЛАСИФИКАЦИЯ НА ДИЗАЙНИ И СРОДНИ НА ТЯХ КОМБИНАТОРНИ СТРУКТУРИ

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за придобиване на научната степен
"доктор на науките"
Област 4. Природни науки, математика и информатика
Професионално направление 4.6. Информатика и компютърни науки

София, 2019

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от звеното на секция "Математически основи на информатиката" на Института по математика и информатика - БАН с разширение академик Веселин Дренски - ИМИ, БАН и доцент д-р Ася Русева - ФМИ, СУ.

Дисертантът е от секция "Математически основи на информатиката" на Института по математика и информатика - БАН.

Защитата ще се състои на .... от .... часа в зала .... на ИМИ на открито заседание на научното жури. Материалите са на разположение на интересуващите се в библиотеката на ИМИ.

Съдържание

1 Смисъл и цели на класификационните задачи **3**

2 Методология, алгоритми и софтуер **3**

2.1 **Предназначение** . . . 3

2.2 **Базов алгоритъм** . . . 4

2.2.1 Особености . . . 4

2.2.2 Тест за минималност на частичните решения . . . 5

2.2.3 Тест за разширимост на частичните решения . . . 5

2.3 **Софтуер** . . . 5

2.4 **Достоверност** . . . 6

3 Структура на изложението и обзор на съдържанието **6**

4 Възможности за бъдеща работа **18**

5 Апробация на резултатите **19**

6 Авторска справка за приносите **21**

7 Съответствие на изискванията **23**

8 Благодарности **24**

Библиография **25**

Публикации по дисертацията **32**

Цитирания на публикациите по дисертацията **34**

Означения и съкращения

OOC	$\longrightarrow$	оптичен ортогонален код, оптични ортогонални кодове optical orthogonal code(s)
CAC	$\longrightarrow$	антиконфликтен код, антиконфликтни кодове conflict avoiding code(s)
SCAC	$\longrightarrow$	силен антиконфликтен код, силни антиконфликтни кодове strongly conflict avoiding code(s)
CPCW	$\longrightarrow$	циклично-пермутационен константно-тегловен (код), циклично-пермутационни константно-тегловни (кодове) cyclically permutable constant weight (code(s))
$STS(n)$	$\longrightarrow$	Щайнерова система от тройки от ред n Steiner triple system of order n

1 Смисъл и цели на класификационните задачи

Предмет на настоящата дисертация са задачи за конструиране, изброяване и класификация (според дадени свойства) на дизайни и сродни на тях обекти, в това число - резолюции на дизайни, Адамарови матрици, спредове и паралелизми на крайни проективни пространства, самодуални кодове, циклично-пермутационни константно-тегловни кодове, антиконфликтни и силни антиконфликтни кодове. Както изброяването, така и класификацията, касаят обекти, които се разбиват на класове на еквивалентност спрямо дадена релация на еквивалентност. При изброяването определяме само броя на класовете на еквивалентност, докато при класификацията описваме и някои свойства на обектите от различните класове. Понякога изброяване или класификация са възможни и без построяване на самите обекти. Два такива примера са дадени в глава 3. Във всички останали случаи, описани в дисертацията, първо намираме по един представител от всеки клас на еквивалентност, а след това описваме характерните свойства. Такава класификация се нарича конструктивна.

Получените класификационни резултати са за зададени сравнително малки параметри и представляват интерес, както с оглед на възможни директни приложения (в шумозащитното кодиране, в криптографията, за статистически експерименти, в комуникационни системи с множествен достъп и др.), така и като необходима информация за решаването на по-общи задачи или като евентуална съставна част в конструкции за по-големи параметри. За тези цели може да се наложи подбор на структури с конкретни свойства и това е особено лесно, ако всички възможни решения са класифицирани и достъпни.

Ако броят на решенията е твърде голям, то дори да е възможно получаването им за разумно време, съхраняването е проблем, а и търсенето сред тях също. В такива случаи обикновено се прибягва до класификацията само на тези обекти, които притежават някакви допълнителни свойства, които считаме за интересни и полезни. Такива са, например, инвариантността спрямо дадени групи от автоморфизми и геометрични свойства като регулярност и книжност (на спредове и паралелизми).

2 Методология, алгоритми и софтуер

2.1 Предназначение

В дисертацията са разгледани примери за решаването на интересни отворени задачи за конструктивна класификация с помощта на компютър. Решенията включват конструиране на всички или част от структурите с дадени параметри, разбиването им на класове на еквивалентност и намиране на някои характеристики на представители от всеки от тези класове (например, ред на групата от автоморфизми). Резултатите са получени чрез прилагане, както на подходящи компютърни алгоритми, така и на редица теоретични съображения.

Ако се предполага, че съществува комбинаторна структура с определени параметри и, евентуално, със зададени допълнителни свойства, може да се напише програма, която да анализира пространството от възможни решения докато се намери такова, което удовлетворява съответните критерии. Ако съществуват много решения, то програмата трябва да отдели еквивалентните и да класифицира получените структури според свойствата им. В голямата част от случаите не е тривиално да се намерят ефективни алгоритми, както за конструиране, така и за анализ на получените решения. Затова компютърните методи, използвани в конструктивната комбинаторика, представляват също толкова голям интерес, колкото и получените от прилагането им резултати.

2.2 Базов алгоритъм

2.2.1 Особености

Обект на настоящата дисертация са $\mathcal{NP}$ - трудни класификационни задачи. Алгоритмите за конструиране на разглежданите обекти се основават на изчерпващо търсене с връщане и са с експоненциална сложност. Тяхното използване за параметри, представляващи реален интерес, става възможно с помощта на теоретични съображения, които позволяват намаляване на пространството на търсене и/или бързо отхвърляне на значителен брой еквивалентни или непригодни частични решения. Основно значение при тези алгоритми имат представянето и подредбата в множеството на търсене, бързодействието на тестовете за минималност и разширимост и подборът на частичните решения, върху които те се прилагат.

В книгата *Classification algorithms for codes and designs* [60] са изброени няколко метода за класификация, при които се генерират само нееквивалентни решения. Общото между тях е, че на различните стъпки по някакъв начин се отхвърлят или изобщо не се генерират еквивалентни частични решения. Подходът, който най-често е използван в настоящата дисертация, е разновидност на метода, наречен ***подредено генериране (orderly generation)***, който за пръв път описват независимо един от друг Faradžev [34] и Read [86]. Принципът на подреденото генериране е, че на всяка стъпка се отхвърлят всички частични решения, които не са в зададена канонична форма. Тук приемаме, че в канонична форма е само лексикографски най-малкият елемент от всеки клас на еквивалентност и наричаме теста за каноничност *тест за минималност*. Такъв тест е използван в голямата част от разгледаните задачи и на него е обърнато специално внимание, но за разлика от подреденото генериране, в алгоритмите от дисертацията този тест обикновено не се използва на всяка стъпка, а се прилага само на някои от частичните решения и на всички пълни решения.

Ако тестът за минималност е отрицателен при малки частични решения, това спестява построяването на множество частични решения (по отрязаните клони на дървото на търсене), които се разширяват до еквивалентни на лексикографски по-малки решения и по този начин бързодействието на програмите може значително да се увеличи. Има случаи, обаче, когато частичните решение са много, а тестът отхвърля сравнително малка част от тях и бързодействието може да намалее, вместо да се увеличи. Затова този тест е изключително важна част от алгоритъма. От една страна той трябва да бъде максимално бърз, от друга - изключително прецизен, защото при обекти, за които са наложени множество допълнителни условия, вероятността за погрешно изхвърляне на частични решения е голяма. Освен това, трябва да се прецени на кои частични решения да се прилага теста с оглед на постигането на максимално бързодействие.

Приоритет при разработването на конкретните алгоритми от дисертацията е и намирането на подходящи бързи тестове за разширимост на някои от частичните решения. Тестовете за минималност и разширимост, както и минимизирането и удобната подредба на множеството на търсене, са основните инструменти, с които постигаме желаната практическа ефективност на алгоритмите.

2.2.2 Тест за минималност на частичните решения

Тестът за минималност на частичните решения търси еквивалентно преобразование, изобразяващо текущото частично решение в частично решение, което е лексикографски по-малко от него [60, раздел 7.1.2]. Ако тестът намери такова еквивалентно преобразование, не разширяваме по-нататък текущото частично решение.

2.2.3 Тест за разширимост на частичните решения

Прилага се когато е възможно с проверка на прости условия да се установи, че частичното решение е неразширимо до пълно решение. Както и теста за минималност, ранният отрицателен тест за разширимост може да спести построяването на множество по-големи неразширими частични решения (по отрязаните клони на дървото на търсене) и съществено да ускори работата на алгоритъма.

2.3 Софтуер

Всички компютърно-зависими класификационни резултати, представени в дисертацията, са получени със софтуер на автора, който реализира описаните алгоритми и е написан на C++. В случаите, когато е употребяван и друг софтуер, това е обяснено на съответните места. Използвани са персонални компютри със сравнително добри за времето си параметри (съвсем различни в началото и в края на 18-годишния период, за който става въпрос). На тях най-тежките задачи са отнемали 20 – 30 дни.

2.4 Достоверност

В голямата част от случаите всички или част от пресмятанията са правени и от съавторите с помощта на различен софтуер, а понякога и на различни алгоритми. Това е един от начините да сме по-сигурни в достоверността на резултатите. Винаги е разглеждана и съвместимостта на полученото с предварително известните теоретични изследвания и граници, както и с класификации на сродни обекти.

3 Структура на изложението и обзор на съдържанието

Дисертацията съдържа увод и 6 глави. Всяка глава се състои от няколко части, а всяка част от няколко раздела.

В първата глава са представени предварителни резултати във вид, който е удобен за по-нататъшното им използване в дисертацията.

Част 1.1 включва дефиниции, означения и резултати, които се използват в повече от една от следващите пет глави. Те касаят преди всичко комбинаторните дизайни и/или техните резолюции, защото дизайните са свързани по един или друг начин с всички обекти, разглеждани в дисертацията. Понятия и резултати, които се използват само в една от следващите глави, са дефинирани в нейната първа част, а такива, които се срещат само в една от частите на дадена глава, са дефинирани в първия раздел на тази част.

Дефиниция 3.1. *Нека $V = \{P_i\}_{i=1}^{v}$ е крайно множество от* ***точки****, а $\mathcal{B} = \{B_j\}_{j=1}^{b}$ – крайна фамилия от k-елементни подмножества на V, наречени* ***блокове****. Казваме, че $D = (V, \mathcal{B})$ е* ***дизайн*** *с параметри t-(v,k,λ), ако всяко t-подмножество на V се съдържа точно в λ блока на $\mathcal{B}$.*

Дефиниция 3.2. ***Матрица на инцидентност*** *на дизайна наричаме (0,1) матрица с v реда и b стълба, в която елементът от i-ия ред и j-ия стълб е равен на 1, ако $P_i \in B_j$ $(i = 1, 2, ..., v,\ j = 1, 2, ..., b)$ и на 0 в противен случай.*

Дефиниция 3.3. *Два дизайна са* ***изоморфни****, ако съществува взаимно-еднозначно съответствие между точките и блоковете на единия дизайн и, съответно, точките и блоковете на другия, запазващо инцидентността.*

Дефиниция 3.4. ***Автоморфизъм*** *наричаме всеки изоморфизъм на дизайна със себе си.*

Автоморфизмите представяме като пермутация на точките, при която блоковете се изобразяват в блокове. Множеството от всички автоморфизми на дизайна образува група по отношение на операцията композиция на изображения. Наричаме я ***пълна група от автоморфизми***. Всяка нейна подгрупа наричаме група от автоморфизми на дизайна.

Дефиниция 3.5. ***Паралелен клас*** *се нарича множество от блокове на дизайна, такова, че всяка точка се съдържа точно в един блок.*

Дефиниция 3.6. ***Резолюция*** *наричаме всяко разбиване на блоковете на дизайна на паралелни класове. Един дизайн е* ***разрешим****, ако има поне една резолюция.*

Дефиниция 3.7. *Две резолюции на дизайна D са* ***изоморфни****, ако съществува автоморфизъм на D, който изобразява всеки паралелен клас на едната резолюция в паралелен клас на другата.*

Дефиниция 3.8. *Две резолюции на един и същ дизайн са* ***ортогонални****, ако всяка двойка паралелни класове, единият от едната, а другият от другата резолюция, имат най-много един общ блок.*

Дефиниция 3.9. *Един 2-(v,k,λ) дизайн е* ***двойно разрешим*** *ако притежава поне две ортогонални резолюции.*

В част 1.2 са описани предварително известните алгоритми, които са използвани, модифицирани или надграждани в дисертацията - в раздел 1.2.2 - изчерпващо търсене с връщане с отхвърляне на частични решения [40], [60], в 1.2.5 - класификация на дизайни със зададени автоморфизми с локалния подход [3], в 1.2.6 - класификация на оптимални ООС [1], в 1.2.7 - тест за изоморфизъм на дизайни, в 1.2.8 - определяне реда на пълната група от автоморфизми на дизайн и в 1.2.9 - намиране на неизоморфните резолюции [3].

Глави 2 до 6 съдържат получените нови резултати и подробно описание на разработените за нуждите на всяка задача методи и алгоритми.

Глава 2 включва класификационни резултати за симетрични дизайни и за Адамарови матрици, които получаваме от Адамарови симетрични дизайни.

Дефиниция 3.10. *Един дизайн се нарича* ***симетричен****, ако броят на точките е равен на броя на блоковете му ($v = b$).*

Равният брой на точките и блоковете на симетричните дизайни води до редица допълнителни свойства и приложения (част 2.1). Алгоритмите за конструирането им също използват техните специфични свойства.

При симетричен дизайн $k = r$ и всеки два блока имат точно λ общи точки. Транспонираната на неговата матрица на инцидентност е матрица на инцидентност на дизайн със същите параметри, наречен ***дуален*** на дадения. Ако един симетричен дизайн е изоморфен на дуалния си, той се нарича ***самодуален***.

Дефиниция 3.11. *Ако от симетричен 2-(v,k,λ) дизайн премахнем един блок и точките, които той съдържа, се получава 2-$(v-k,k-\lambda,\lambda)$ дизайн, наречен* ***остатъчен****.*

В част 2.2 е описан разработеният алгоритъм за конструиране на симетрични дизайни със зададени автоморфизми от прост ред, който е модификация на алгоритъма от раздел 1.2.5.

Тема на част 2.3 са 2-(69,17,4) дизайните. Преди настоящото изследване бяха известни два симетрични 2-(69,17,4) дизайна [71] - единият е от безкрайния клас, конструиран от Shrikhande и Singhi [90], а другият е намерен от Božikov [14] като инвариантен относно група на Frobenius от ред 39. В този раздел конструираме всички неизоморфни 2-(69,17,4) дизайни с автоморфизми от ред 13 и техните остатъчни 2-(52,13,4) дизайни.

Адамарова матрица от ред n наричаме $n \times n$ (± 1)-матрица H, за която $HH^t = nI$ (т.е. редовете са взаимно ортогонални). Две Адамарови матрици са ***еквивалентни*** ако едната може да бъде получена от другата чрез пермутация на редовете и стълбовете и умножение с -1 на някои редове или стълбове. Една Адамарова матрица е ***самодулна*** ако е еквивалентна на своята транспонирана. Под ***автоморфизъм*** на Адамарова матрица разбираме нейна еквивалентност със себе си.

Всяка Адамарова матрица може да бъде ***нормализирана***, т.е. заменена с еквивалентна Адамарова матрица, чиито първи ред и стълб съдържат само 1-ци. Ако отстраним първия ред и стълб на нормализирана Адамарова матрица от ред $4m$ и заменим -1-те с 0-ли, получаваме симетричен 2-($4m-1$,$2m-1$,$m-1$) дизайн, наречен ***Адамаров 2-дизайн***. От всеки Адамаров 2-дизайн D можем да получим по единствен начин Адамарова матрица, както и Адамаров 3-($4m$,$2m$,$m-1$) дизайн, който съдържа блоковете на D и тези на допълнителния му 2-($4m-1$,$2m$,m) дизайн (всеки негов блок съдържа точките, които не се съдържат в съответния блок на D) и една нова точка, която е инцидентна с блоковете на D.

Адамаровите дизайни и матрици са тема на останалите части от тази глава. Те имат разнообразни приложения [26], [27], [89] и са напълно класифицирани за редове до 32 [58], [45], [61], [62], [95], докато за по-големите редове има само частични класификации (например [13], [28], [38], [39], [96], [100]).

Част 2.4 представя разработените алгоритми за установяване на Адамарова еквивалентност и намиране на групата от автоморфизми на Адамарова $n \times n$ матрица, които свеждат задачите до съответните задачи за бинарни матрици с размер $2n \times 2n$.

В част 2.5 са разгледани Адамарови матрици от ред 44. Преди резултатите, представени в него, бяха известни два Адамарови 2-(43,21,10) дизайна [71] с автоморфизми от ред 43 [42], [80]. В дисертацията е представена класификацията на всички нееквивалентни Адамарови матрици от ред 44, които имат автоморфизми от ред 7, и съответните им Адамарови 3-(44,22,10) и Адамарови 2-(43,21,10) дизайни. От 2-(43,21,10) дизайните с методи, описани в [9] и [102] намираме двоични двойно-четни самодуални кодове с дължина 88. Два от тях са екстремални, единият от които беше нов към момента на публикуване на резултата. Конструираме и много самодуални кодове с дължина 86, сред които няма екстремални.

Част 2.6 е посветена на Адамарови матрици от ред 64. Hamada формулира хипотеза [43], според която дизайните, получени от точките и подпространствата с дадена размерност в $AG(n, p^m)$ (p е просто) имат минимален p-rank, а всички други дизайни със същите параметри имат по-голям p-rank. Сред няколкото намерени контрапримера на тази хипотеза са три 2-(64,16,5) дизайна [44], [72], [104], които посредством конструкцията на Rahilly [85] съответстват на три Адамарови 2-(63,31,15) дизайна. И трите са инвариантни относно диедралната група от ред 10. Това мотивира представената тук класификация на всички Адамарови 2-(63,31,15) дизайни, инвариантни относно диедралната група от ред 10 и на съответните им нееквивалентни Адамарови матрици от ред 64.

От 2-(63,31,15) дизайните с 2-ранг не по-голям от 16 чрез конструкцията на Rahilly [85] построяваме 2-(64,16,5) дизайни. Така получаваме точно предварително известните (от [44] и [72]) три 2-(64,16,5) дизайна с 2-ранг 16. Описан е разработеният алгоритъм за намиране на 2-(64,16,5) дизайни с минимален ранг от Адамарови 2-(63,31,15) дизайни, свеждащ задачата до построяването на спредове от прави на Адамаровите дизайни, като ни интересуват само спредовете с минимален ранг.

Изследванията от глава 2 са публикувани в [T1], [T2] и [T6].

Глава 3 представя решението на поредица от задачи за конструиране на дизайни, инвариантни относно групи от автоморфизми от ред 2 или 3, които са използвани след това за изброяване на дизайните с дадените параметри и с тривиална група от автоморфизми.

Част 3.1 разглежда възможността за определяне броя на всички неизоморфни дизайни с дадени параметри и евентуални допълнителни свойства, ако са конструирани дизайните с нетривиални автоморфизми и е известен броят на всички дизайни (заедно с изоморфните).

Дефиниция 3.12. *Под* ***Щайнерова система*** *$S(t,k,v)$ разбираме t-$(v,k,1)$ дизайн, а под* ***Щайнерова система от тройки от ред v*** *– 2-$(v,3,1)$ дизайн. Ако последният е разрешим, резолюциите се наричат* ***Киркманови системи от тройки от ред v****.*

Щайнеровите системи от тройки от ред v ($STS(v)$) са сред най-изучаваните и най-широко използвани дизайни. До момента са класифицирани всички $STS(v)$ за $v \leq 19$ [59] и следователно $STS(21)$ са системите от най-малък ред, от които са изследвани само някои класове с допълнителни свойства [23], [57], [69], [70], [101]. Те представляват особен интерес и поради това, че още не е известно дали сред тях има двойно-разрешими.

Тема на част 3.2 е класификацията на Уилсоновите Щайнерови системи от тройки от редове 19 и 21. Те съдържат три Щайнерови подсистеми от тройки от ред 7 и са разглеждани за пръв път от Wilson [111], който с помощта на известни резултати за латински квадрати определя общия им брой и извежда долни граници за броя на техните класове на изоморфизъм. В настоящата част 3.2 е определен точният брой на тези класове на изоморфизъм, като за целта е използвана конструктивната класификация на всички дизайни с нетривиални автоморфизми.

В раздел 3.2.3 са разгледани начините за построяване на дизайните при различни случаи на предварително зададени автоморфизми от ред 2 или 3, при каквито локалният подход, описан в раздел 1.2.5, не винаги е достатъчно ефективен. Затова най-често са използвани особеностите на конкретната задача за разработване на алгоритъм за изчерпващо търсене за конкретния случай.

В раздел 3.2.4 са събрани класификационните резултати за всички STS(21) от Уилсонов тип и за Уилсоновите STS(19). Получените STS(21) са изследвани за двойна разрешимост.

Дефиниция 3.13. ***Квазикратен*** *на 2-(v,k,λ) дизайн наричаме дизайн с параметри 2-(v,k,$m\lambda$), където m е цяло число, по-голямо от единица.*

Дефиниция 3.14. *Един квазикратен дизайн е* ***разделим (кратен)*** *на m дизайна с параметри 2-(v,k,λ), ако съществува разбиване на блоковете му на m подмножества, всяко от които е 2-(v,k,λ) дизайн.*

Част 3.3 съдържа класификация на двойните на единствения с точност до изоморфизъм 2-(21,5,1) дизайн. Той може да бъде получен от инцидентността на точките и правите на проективната равнина от ред 4. Както и в предишната част, класификацията е конструктивна само за дизайните с нетривиални автоморфизми. Нашите разглеждания от раздел 3.3.2 показват, че това е възможно, ако двойните дизайни са уникално разделими, а в раздел 3.3.3 доказваме, че това е в сила за двойните на 2-(21,5,1) дизайна и извеждаме долна граница за техния брой.

В раздел 3.3.4 е разработен алгоритъм за конструиране на двойни дизайни, при който тестът за минималност съществено използва групата от автоморфизми на дизайна, чиито двойни търсим. Ако конструираните двойни дизайни са уникално-разделими, с прилагането на този тест построяваме само неизоморфни дизайни.

В раздел 3.3.5 са разгледани модификациите на алгоритъма от раздел 3.3.4, с които са конструирани двойни дизайни с различни видове автоморфизми от ред 2, а в раздел 3.3.6 са представени и обсъдени получените класификационни резултати за двойните на 2-(21,5,1) дизайна. Техният брой е доста близък до долната граница, получена в раздел 3.3.3.

Изследванията от глава 3 са публикувани в [T4] и [T5].

На векторното пространство $V_{n+1}(q)$ с размерност $n+1$ над крайно поле с q елемента съответства крайно проективно пространство с размерност n и ред q, чиито точки съответстват на нормализираните вектори от $V_{n+1}(q)$. Означаваме го с ***PG(n,q)***. Всяко крайно проективно пространство с $n \geq 3$ е изоморфно на някое $PG(n,q)$, получено по описаното по-горе съответствие [99, теорема 2.22].

Дефиниция 3.15. ***Автоморфизъм*** *на $PG(n,q)$ е взаимно еднозначно съответствие, което изобразява точките в точки, правите в прави и запазва инцидентността.*

Дефиниция 3.16. *Множество от t-мерни подпространства на $PG(n,q)$, което задава разбиване на множеството от точките, се нарича **t-спред**.*

Дефиниция 3.17. *Два t-спреда са **изоморфни**, ако съществува автоморфизъм на проективното пространство, изобразяващ единия в другия.*

Дефиниция 3.18. *разбиване на фамилията от всички t-мерни подпространства на $PG(n,q)$ на t-спредове се нарича **t-паралелизъм**.*

Необходимо условие за съществуването на t-спредове и t-паралелизми е $(t+1)|(n+1)$. Обикновено 1-спредовете и 1-паралелизмите се наричат само ***спредове*** и ***паралелизми***.

Инцидентността на точките и t-мерните подпространства на $PG(n,q)$ дефинира 2-дизайн ([2], [99]) с параметри:

$$v = (q^{n+1}-1)/(q-1),\ k = (q^{t+1}-1)/(q-1),$$

$$\lambda = \begin{cases} \frac{(q^{n+1}-q^2)(q^{n+1}-q^3)\dots(q^{n+1}-q^t)}{(q^{t+1}-q^2)(q^{t+1}-q^3)\dots(q^{t+1}-q^t)} & t > 1, \\ 1 & t = 1. \end{cases}$$

Следователно съществува взаимно еднозначно съответствие между паралелен клас от резолюция на съответния дизайн и t-спред от t-мерни подпространства на проективното пространство, както и между резолюция на дизайна от t-мерните подпространства и t-паралелизъм. Изоморфизъм и ортогоналност при t-паралелизмите се дефинира както за резолюциите.

Глава 4 е посветена на конструктивната класификация на всички или избрана част от спредовете на $PG(n,2)$. Освен като геометрични обекти, спредовете в проективни пространства представляват интерес и заради приложенията си в теорията на кодирането [31], [32], [67], [72] и криптографията [82]. Те са обект, както на много теоретични разглеждания [5], [46], [47], [52], [53], така и на компютърни класификации [12], [72], [94].

Дефиниция 3.19. *Един спред S в $PG(n,2)$ е **регулярен (геометричен)**, ако за всеки три прави $a, b, c \in S$: или $c \in \langle a, b\rangle$, или c не съдържа точки от $\langle a, b\rangle$. Както обикновено, с $\langle a, b\rangle$ означаваме най-малкото подпространство, съдържащо правите a и b.*

В част 4.2 е описан разработеният алгоритъм за конструиране на всички (с точност до проективна еквивалентност) спредове на $PG(n, 2)$, който съществено използва свойствата на групата от автоморфизми на проективното пространство, както при теста за минималност, така и за предварително подреждане по удобен начин на елементите от множеството на търсене и фиксиране на част от тях без загуба на общност.

Преди настоящото изследване $PG(5, 2)$ е най-малкият отворен случай за пълна класификация на спредове в $PG(n, 2)$, като частична класификация на такива спредове е направена в [72]. В част 4.3 на дисертацията е представена конструктивната класификация на всички (131044) спредове на $PG(5, 2)$. За построяването им е използвана модификация на алгоритъма от част 4.2, при която фиксираме 3 прави и предварително намираме и запазваме конкретни автоморфизми на $PG(5, 2)$. Частта завършва с обобщение в раздел 4.3.3 на получените резултати за групите от автоморфизми, за броя на правите от спреда, съдържащи се в различните тримерни подпространства и за ранга на 2-(64,16,5) дизайна, получен с конструкцията на Rahilly [85].

Дефиниция 3.20. *Под* $\boldsymbol{(n, q, r, s)}$ ***книга*** *разбираме съвкупност от r-мерни подпространства в $PG(n, q)$, наречени* ***страници****, които покриват цялото проективно пространство и се пресичат в общо s-мерно подпространство, наречено* ***гръбнак*** *и такова, че всяка точка извън гръбнака е в точно една страница.*

Дефиниция 3.21. *Един t-спред в $PG(n, q)$ е* $\boldsymbol{(n, q, r, s)}$ ***книжен t-спред****, ако точките от всяка страница на (n, q, r, s) книга и точките от нейния гръбнак се разбиват на t-мерни подпространства от този t-спред.*

Книжните спредове, дефинирани от Shaw, представляват самостоятелен интерес заради допълнителните си геометрични свойства, които позволяват и пообстоятелствено теоретично разглеждане. Част 4.4 разглежда конструирането на книжните спредове на $PG(5, 2)$. В раздел 4.4.2 е описана използваната модификация на алгоритъма от част 4.2 за дадения случай, при който са фиксирани шест конкретно подбрани прави от спреда. Получените резултати са обобщени в раздел 4.4.3. Те са в съответствие с теоретичните разглеждания, направени от Shaw.

Част 4.5 е посветена на книжните спредове на $PG(7, 2)$. Въпреки, че съставляват малък процент от всички спредове в това проективно пространство, тяхната пълна конструктивна класификация засега е невъзможна. Затова в тази част от дисертацията са построени само книжните спредове, отговарящи на някои допълнителни условия. Тези условия, както и съобразената с тях модификация на алгоритъма от раздел 4.2 са описани в раздел 4.5.2, а в раздел 4.5.3 са обобщени получените класификационни резултати.

Изследванията от глава 4 са публикувани в [T7], [T10] и [T11].

Предмет на глава 5 са задачи, които включват класификация на всички резолюции на даден дизайн или само на тези от тях, които са инвариантни относно избрана група от автоморфизми от прост ред. Част от резултатите касаят t-паралелизми на $PG(n,q)$, защото те могат да бъдат разглеждани като резолюции на дизайна от точките и t-мерните подпространства на $PG(n,q)$.

Алгоритъмът за класификация на резолюции със зададени автоморфизми е описан в част 5.2. Ако броят на автоморфизмите на дизайна не е прекалено голям, в процеса на конструиране намираме и автоморфизмите на резолюцията. При много голяма група от автоморфизми на дизайна, обаче, за да ускорим конструирането използваме друг тест за минималност и в такъв случай се налага допълнително определяне на пълната група от автоморфизми на резолюцията. В глава 5 са представени и двата разработени за целта алгоритъма - единият е приложим за всякакви резолюции и е описан в раздел 5.3, а другият е предназначен само за резолюции, които притежават даден автоморфизъм. Той се основава на предварителното генериране на някои спрегнати на зададения автоморфизъм и е предмет на част 5.4.

Резолюции с богати групи от автоморфизми представляват особен интерес с оглед на някои приложения [41], [55]. Затова резолюциите на циклични дизайни са обект на множество статии [25], [37], [56], [63], [64], [69], [74], [75], [105].

Дефиниция 3.22. *t-(v,k,λ) дизайн е* ***цикличен****, ако притежава автоморфизъм α, който пермутира точките му в един цикъл.*

В част 5.5 са разгледани резолюции на циклични Щайнерови системи от тройки ($STS(v)$) с малки параметри. Целта е от една страна конструирането на нови резолюции, а от друга – изследване на свойствата на всички известни резолюции на циклични $STS(v)$ с $v \leq 39$, както и събирането им и предоставянето на web-достъп до тях с оглед на възможни бъдещи приложения и теоретични изследвания.

Специфичните особености на задачата са разгледани в раздел 5.5.2, а в раздел 5.5.3 е представена класификацията и някои инварианти на резолюциите на цикличните $STS(15)$, $STS(21)$ и $STS(27)$, на резолюциите с нетривиални автоморфизми на цикличните $STS(33)$ и на резолюциите с автоморфизми от ред 13 на цикличните $STS(39)$. Сред тях особен интерес представляват *точково цикличните* (point-cyclic) резолюции. Те притежават автоморфизъм, който пермутира точките в един цикъл.

Резолюциите на $STS(21)$ представляват особен интерес с оглед на нерешения въпрос за съществуване на двойно разрешим дизайн с тези параметри и са обект на много изследвания [23], [57], [69], [70], [101]. В част 5.6 са конструирани всички $STS(21)$ с автоморфизми от ред 3 с 3 фиксирани точки и 7 фиксирани блока и са класифицирани техните резолюции.

Изследването на t-паралелизми в $PG(n,q)$ представлява интерес понеже те имат много връзки с други математически обекти, както и разнообразни приложения [16], [31], [51], [93], [97]. Затова са обект, както на множество теоретични изследвания [6], [8], [29], [30], [49], [50], [81], [114], така и на класификации с помощта на компютър [7], [83], [84], [87] [88], [98], [106], [107], [108], [109], [117].

Дефиниция 3.23. ***Автоморфизъм*** *на t-паралелизма P наричаме автоморфизъм на $PG(n, q)$, който изобразява всеки t-спред на P в t-спред на P.*

Дефиниция 3.24. ***Транзитивен*** *се нарича t-паралелизъм, притежаващ група от автоморфизми, която действа транзитивно върху t-спредовете му.*

Дефиниция 3.25. *Един t-паралелизъм е* ***цикличен****, ако притежава автоморфизъм, който пермутира t-спредовете му в един цикъл.*

Цикличните t-паралелизми са транзитивни, но обратното не винаги е вярно.

В част 5.7 са класифицирани всичките 12312 неизоморфни 2-паралелизми на $PG(5, 2)$ с автоморфизъм от ред 31. Задачата беше от особен интерес, защото преди настоящото изследване въпросът за съществуване на транзитивни t-паралелизми в $PG(n, q)$ за $t > 1$ беше отворен. С решаването на тази задача са намерени първите и единствени [54] до момента 92 примера на такива паралелизми. Това са 2-паралелизми в $PG(5, 2)$ с пълна група от автоморфизми от ред 155, която е транзитивна върху спредовете. От тях са построени и множества от по 10 взаимно-ортогонални паралелизми.

Изследванията от глава 5 са публикувани в [T3], [T8], [T12] и [T13].

Глава 6 разглежда двоични циклично-пермутационни константно-тегловни кодове (CPCW), циклични дизайни, антиконфликтни кодове (CAC) и силни антиконфликтни кодове (SCAC). Тук са обединени класификационни резултати за обекти, които са различни, но имат сходна циклична структура и множество връзки помежду си, което определя и сходния подход към класификационната задача в тези случаи. В главата са разработени модификации на алгоритъма от раздел 1.2.6. Едната от тях касае проверката за несъществуване на код с дадени параметри и размер, а останалите отчитат специфичните особености на разглежданите обекти. От особена важност са начините за минимизиране и подреждане на множеството на търсене (възможните кодови думи) и някои допълнителни тестове за разширимост на частичните решения.

Със Z_n означаваме цикличната адитивна група от целите числа по модул n. Ако целите числа a и n са взаимно прости ($gcd(a, n) = 1$) и $a \in Z_n$, елементът a генерира цялата група, а умножението на всички елементи на групата с него задава автоморфизъм на Z_n. Всеки автоморфизъм на Z_n се получава с умножение (multiplication) на елементите на групата с елемент, който я генерира. Затова тези автоморфизми се наричат мултипликативни.

За краткост изследваните в тази глава кодове наричаме с общото име кодове с циклична структура. С n означаваме дължината им, а с k теглото. Техните кодови думи разглеждаме като k-елементни подмножества на Z_n. За всяка кодова дума $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_k\}$ означаваме с $\triangle' C$ мултимножеството от стойности на разликите $c_i - c_j,\ i \neq j,\ i,j = 1,\ 2,\ \ldots,\ k$, а с $\triangle C$ съответното му множество. Върху кодовите думи дефинираме ***лексикографска наредба*** по следния начин: Приемаме, че $c_1 < c_2 < \ldots < c_k$ за всяка кодова дума $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_k\}$. Тогава $C' = \{c'_1, c'_2, \ldots, c'_k\}$ е лексикографски по-малка от $C'' = \{c''_1, c''_2, \ldots, c''_k\}$ ако $|\Delta(C')| < |\Delta(C'')|$ или ако $|\Delta(C')| = |\Delta(C'')|$ и $c'_i = c''_i$ за $i < a$, а $c'_a < c''_a$. Без загуба на общност, приемаме, че всяка кодова дума е лексикографски по-малка от всички свои транслации.

Дефиниция 3.26. *Два кода с циклична структура C и C' са **мултипликативно еквивалентни**, ако могат да бъдат получени един от друг чрез прилагане на автоморфизъм на Z_n и замяна на кодови думи с някоя от техните транслации.*

Предмет на част 6.3 са оптималните $(n, k, 1)$ двоични циклично-пермутационни константно-тегловни кодове (CPCW) с малки дължини и свързани с тях циклични дизайни. CPCW кодовете намират приложение в комуникационни канали без обратна връзка, използвани едновременно от много потребители [10], [24].

Дефиниция 3.27. *Всеки (n, k, λ) циклично-пермутационен константно-тегловен код е колекция $\mathcal{C} = \{C_1, \ldots, C_s\}$ от k-елементни подмножества (кодови думи) на Z_n, такива че всеки две различни транслации на кодова дума имат най-много λ общи елемента и всеки две транслации на две различни кодови думи също имат най-много λ общи елемента:*

$$|C_i \cap (C_i \oplus t)| \leq \lambda, \quad 1 \leq i \leq s, \quad 1 \leq t \leq n-1 \tag{1}$$

$$|C_i \cap (C_j \oplus t)| \leq \lambda, \quad 1 \leq i < j \leq s, \quad 0 \leq t \leq n-1 \tag{2}$$

При $\lambda = 1$ второто условие означава, че $\Delta C_1 \bigcap \Delta C_2 = \emptyset$ за две различни кодови думи C_1 и C_2. CPCW кодове с параметри $(n, k, 1)$ са еквивалентни на $(n, k, 1)$ оптични ортогонални кодове и са обект на редица статии - [4], [11], [15], [17], [18], [19], [21], [68], [78], [79], [110]. За кодове с $\lambda = 1$ е в сила следната горна граница за броя M на кодовите им думи [22]:

$$M(n, k, 1) \leq \left\lfloor \frac{(n-1)}{k(k-1)} \right\rfloor.$$

CPCW кодове с $\lambda = 1$, които достигат тази граница, се наричат ***оптимални***. Ако $M(n, k, 1)$ е точно $(n-1)/k(k-1)$, то $(n, k, 1)$ циклично-пермутационният константно-тегловен код е ***съвършен*** и съответства на цикличен 2-$(n, k, 1)$ дизайн и на циклична $(n, k, 1)$ разностна фамилия.

Дефиниция 3.28. ***Разностна*** (n, k, λ) ***фамилия*** *наричаме множество $\mathcal{C} = \{C_1, \ldots, C_s\}$, където $C_i = \{c_{i_1}, c_{i_2}, \ldots, c_{i_k}\}$ са k-елементни подмножества на Z_n, такива, че всеки ненулев елемент на Z_n се среща точно λ пъти сред разликите $c_{i_j} - c_{i_l}$ за $1 \leq i \leq s$, $1 \leq j \neq l \leq k$.*

Преди нашите изследвания не бяха известни класификационни резултати за оптималните $(n,k,1)$ CPCW кодове и за цикличните 2-$(73,4,1)$ и 2-$(76,4,1)$ дизайни. Имаше само класификации на циклични 2-$(n,k,1)$ дизайни с някои по-малки параметри.

До настоящото изследване $q = 127$ беше първият неизяснен случай за съществуване на $(q,7,1)$ циклична разностна фамилия (цикличен 2-$(q,7,1)$ дизайн) за q, което е степен на просто число и $q \equiv 1 \pmod{42}$ [20].

В част 6.3 са класифицирани с точност до мултипликативна еквивалентност оптималните $(n,k,1)$ CPCW кодове с $k = 4, 5, 6$ и 7 и с точност до изоморфизъм цикличните 2-$(73,4,1)$ и 2-$(76,4,1)$ дизайни и е установено, че не съществува цикличен 2-$(127,7,1)$ дизайн. Особеностите на използваните алгоритми са описани в раздел 6.3.2, а резултатите са обобщени в раздел 6.3.4.

Част 6.4 е посветена на (n,k) антиконфликтните кодове (CAC). Това са кодове, които гарантират, че в комуникационните системи с множествен достъп без обратна връзка всеки измежду s (колкото е броят на кодовите думи) потенциални участници в комуникацията може да изпрати успешно поне един пакет с данни в рамките на определен времеви период от n еднакви интервала, ако е активен през този период и ако най-много k участници са активни едновременно.

Дефиниция 3.29. *Всеки (n,k) антиконфликтен код C можем да разглеждаме като съвкупност от k-елементни подмножества на Z_n (кодови думи), такива, че*

$$\Delta(X) \cap \Delta(Y) = \emptyset \qquad X, Y \in C,$$

където $\Delta(X)$ и $\Delta(Y)$ са множествата от ненулевите разлики между елементите на кодовите думи.

Дефиниция 3.30. *Казваме, че един (n,k) CAC със s кодови думи е* ***плътен****, ако $|\bigcup_{i=1}^{s} \Delta X_i| = n - 1$, т.е. всички ненулеви разлики са покрити.*

Един CAC е **оптимален**, ако има максималния възможен (за дадените параметри) брой кодови думи. Оптималните CAC са обект на интензивни изследвания. Случаят $k = 3$ е напълно решен [35], [36], [48], [65], [66], [73], [76], [112], а конструкции на оптимални CAC с тегла 4 и 5 са дадени в [77]. Известни са и някои горни граници за размера на CAC [91], [92]. Примери за CAC с тегла 3, 4 и 5 и малки дължини могат да бъдат намерени в [103], но на автора не са известни класификационни резултати преди настоящото изследване.

В част 6.4 са определени множество неизвестни преди стойности на максималния брой кодови думи $M(n,k)$ на (n,k) CAC с малки дължини и $k \leq 7$. За повечето разглеждани дължини е представена и класификация. Използваният класификационен алгоритъм и спецификата на задачата са описани в раздел 6.4.2. Получените резултати са обобщени в раздел 6.4.3, където е представена и отделна класификация на плътните CAC с $k \leq 7$ и малки дължини.

Докато CAC се използват в комуникационните системи с множествен достъп без обратна връзка, но с налична синхронизация по време (слот), то в случаите, когато такава синхронизация няма, се използват антиконфликтни кодове, отговарящи на някои допълнителни условия. Те се наричат *силни антиконфликтни кодове (SCAC)* [115] и са предмет на част 6.5.

За всяка кодова дума X на SCAC означаваме *множеството от разликите* между всеки два елемента на X с $d(X) = \{a - b\ (mod\ n) | a, b \in X\}$, *множеството от ненулевите разлики* в X с $d^*(X) = d(X) \backslash \{0\}$ и с $d^*(X)'$ множеството

$$d^*(X)' = d^*(X) \cup (d^*(X) + \{1\}) \cup (d^*(X) - \{1\}).$$

Дефиниция 3.31. *Силен антиконфликтен код (SCAC) с дължина n и тегло k (за k едновременно активни потребители) е множество $C = \{X_1, \ldots, X_s\}$ удовлетворяващо условието, че за всяко $j \neq k$,*

$$d^*(X_j)' \cap d(X_k) = \emptyset.$$

Някои горни граници за размера на SCAC са изведени в [113] и [116]. В част 6.5 са класифицирани оптимални SCAC с малки параметри. Използваните алгоритми са описани в раздел 6.5.2 и представляват модификации на алгоритма от част 6.2 и на този от раздел 6.4.2, като промените касаят основно *възможните кодови думи* (които генерираме и подреждаме преди да започне търсенето), допълнителни проверки при добавянето на кодова дума и теста за минималност. За разлика от CAC и CPCW кодовете, класът на еквивалентност на един SCAC не е затворен относно прилагането на автоморфизъм на Z_n. По тази причина тест за мимималност не може да бъде прилаган на частичните, а само на пълните решения. Класификационните резултати за оптимални SCAC с $k \leq 5$ и малки дължини са представени в раздел 6.5.3.

Изследванията от глава 6 са публикувани в [T9], [T14], [T15], [T16], [T17] и [T18].

4 Възможности за бъдеща работа

Много често интересните отворени случаи за близки до успешно разгледаните параметри се оказват невъзможни за класификация по абсолютно същия начин. Обикновено причината е в бързодействието на софтуера, но може да бъде и в значително по-големия брой на решенията, което затруднява както самото им получаване и изследване, така и практическата им приложимост.

Що се отнася до бързодействието, авторът е оптимист относно по-нататъшното успешно използване на модификации на описаните класификационни алгоритми. Опитът показва, че въпреки лошата си теоретична оценка, те имат големи възможности за повишаване на ефективността чрез отразяването на подходящи математически и други съображения. Що се отнася до големия брой решения, там най-доброто е да бъдат потърсени критерии за конструиране само на *представителна* част от обектите. Тук ще изредим съвсем малка част от отворените проблеми, близки до разгледаните в дисертацията.

Все още са отворени огромен брой случай на дизайни с не много големи параметри, за които няма класификационни резултати, а за някои дори и въпросът за съществуването не е решен. Все още не са класифицирани, например, Щайнеровите системи от тройки от ред 21 и не е ясно дали сред тях има двойно-разрешими.

Напоследък t-спредовете и t-паралелизмите на проективни пространства намират все повече приложения при кодове, използвани в компютърните мрежи, а конструктивна класификация е направена за много малко параметри, като изобщо няма класификации на t-спредове и t-паралелизми за $t > 2$. Отворени са и чисто фундаментални въпроси като този за съществуването на други транзитивни 2-паралелизми, освен тези в $PG(5, 2)$. Теоретични конструкции на паралелизми за $q > 2$ има само в $PG(2^m - 1, q)$ и единственият пример за размерност, която не можем да представим като $2^m - 1$ са наскоро намерени паралелизми в $PG(5, 3)$ [33].

В последно време се работи много върху оптични ортогонални кодове, чиито думи могат да имат няколко различни дължини и тегла. За такива кодове засега няма известни класификационни резултати.

Убеждение на автора е, че съществуват и много други обекти, дори на пръв поглед съвсем различни от разглежданите в дисертацията, за чиято класификация могат да бъдат използвани алгоритми, подобни на описаните тук.

Разбира се, някои от повдигнатите в дисертацията въпроси, които са решени в нея за даден частен случай, в бъдеще биха могли да намерят и теоретично решение, например въпросът за това дали двойните на дизайна от точките и правите на проективните равнини от прост ред са уникално-разделими. Възможно е, също така, представените тук конкретни резултати да се окажат полезни за намирането на теоретични доказателства за съществуване на нови безкрайни фамилии от тези обекти.

5 Апробация на резултатите

Включените в дисертацията резултати са получени от автора в периода от 2000 до 2017 година. Част от тях са самостоятелни изследвания – [T1], [T2], [T3], [T12], [T13]. Останалите статии са в съавторство с:

- Z. Mateva – [T6] и [T7];
- S. Zhelezova – [T8];
- T. Baicheva – [T9], [T14], [T15], [T16], [T17], [T18];
- R. Shaw – [T11];
- T. P. McDonough , R. Shaw – [T10];
- V. Fack, J. Winne, R. Zlatarski – [T4];
- P. Kaski, P. Östergård, R. Zlatarski – [T5].

В дисертацията са описани само резултатите, които са получени от автора. В много от случаите за проверката на пресмятания с помощта на компютър, голяма част от тях са направени едновременно от още един или повече съавтори с различни алгоритми и/или програмни реализации, а в [T10] и с теоретични разглеждания. В статиите [T5] и [T10] е описан приносът на отделните автори.

Публикациите са в следните научни списания:

- Journal of Statistical Planning and Inference (ISI IF) – [T1];
- Discrete Mathematics (ISI IF) – [T2], [T4], [T5], [T6], [T11];
- Journal of Combinatorial Designs (ISI IF) – [T7];
- Graphs and Combinatorics (ISI IF) – [T8];
- Problems of Information Transmission (ISI IF) – [T9], [T14];
- IEEE Communications Letters (ISI IF) – [T17];
- Designs Codes and Cryptography (ISI IF) – [T18];
- Note di Matematica (SJR) – [T10];
- Electronic Notes in Discrete Mathematics (SJR) – [T15];
- Cybernetics and Information Technologies (SJR) – [T16];
- Journal of Algebra Combinatorics Discrete Structures and Applications –[T13];

- Mathematica Balkanica – [T3];
- Serdica Journal of Computing – [T12];

Изследванията по дисертацията са представяни на различни научни конференции:

- Международните конференции *Algebraic and Combinatorial Coding Theory*, Русия (2002, 2010), България (2000, 2004, 2012, 2016);
- Международните конференции *Optimal codes and Related Topics*, България (2001, 2005, 2017);
- Международна EWM конференция *Groups and Graphs*, Варна, България (2002);
- Международна конференция *Congress MASSEE*, Боровец, България (2003);
- Международен *Workshop on Combinatorial Algorithms and Algorithmic Graph Theory*, Ghent University, Гент, Белгия (2003);
- Международна конференция *European Conference on Combinatorics, Graph Theory and Applications (EuroComb '05)* , Берлин, Германия (2005);
- Международна конференция *Pioneers of Bulgarian Mathematics*, София (2006);

Доклади по отделни задачи, които са решени в дисертацията, са изнасяни на:

– Семинара по Кодиране, Институт проблем передачи информации на Руската академия на науките, Москва (2001);

– Националния семинар по теория на кодирането (2002, 2010, 2016);

– Семинара по комбинаторика към Института по математика на Унгарската академия на науките – Будапеща (2002);

– Семинара на Department of Applied Mathematics and Computer Science, Ghent University, Гент, Белгия (2004);

– Семинар Математически основи на информатиката - съвместен регулярен семинар на Секция "Математически основи на информатиката" към ИМИ – БАН и Факултет "Математика и информатика" на ВТУ Св. Св. Кирил и Методий (2009).

6 Авторска справка за приносите

По мнение на автора основните приноси на дисертационния труд са:

Разработени са поредица от алгоритми за конструктивна класификация, както и алгоритми за допълнително изследване на построените обекти, в това число:

– алгоритъм за конструиране на симетрични дизайни със зададени автоморфизми от прост ред [T1];

– алгоритми за установяване на Адамарова еквивалентност и за намиране на групата от автоморфизми на Адамарова $n \times n$ матрица [T2], [T6];

– алгоритъм за конструиране на двойни дизайни [T4];

– алгоритъм за конструиране на всички (с точност до проективна еквивалентност) спредове на $PG(n, 2)$ [T7];

– алгоритъм за класификация на резолюции със зададени автоморфизми от прост ред [T8], [T13];

– алгоритъм за намиране на пълната група от автоморфизми на резолюция с даден автоморфизъм [T12];

– алгоритми за класификация или установяване на несъществуване на CAC [T14], [T15], SCAC [T17] и CPCW кодове [T9], [T18];

– алгоритми, които са приложими само в контекста на конкретна задача и параметри.

Тези алгоритми се основават на специфичните свойства на разглежданите структури. С програмните им имплементации са направени приноси в изучаването на дизайни и техните резолюции, Адамарови матрици, спредове и паралелизми на проективни пространства, самодуални кодове, двоични циклично-пермутационни константно-тегловни кодове, антиконфликтни и силни антиконфликтни кодове. По-точно, в дисертацията е направена конструктивна класификация на:

- Четирите неизоморфни 2-(69,17,4) дизайна с автоморфизми от ред 13 и техните 16 остатъчни 2-(52,13,4) дизайни [T1];

- Всичките 384 нееквивалентни Адамарови матрици от ред 44, които имат автоморфизми от ред 7 и съответните им 1683 Адамарови 3-(44,22,10) и 57932 Адамарови 2-(43,21,10) дизайна. От 2-(43,21,10) дизайните са построени двоични самодуални кодове с дължини 86 и 88, сред които има екстремални и нови [T2];

- Всичките 8330 Адамарови 2-(63,31,15) дизайни, инвариантни относно диедралната група от ред 10 и съответните им 1691 нееквивалентни Адамарови матрици от ред 64. От 2-(63,31,15) дизайните с 2-ранг не по-голям от 16 чрез конструкцията на Rahilly са намерени всички съответстващи им 2-(64,16,5) дизайни с 2-ранг 16, които представляват особен интерес във връзка с хипотезата на Hamada за ранга на геометричните дизайни [T6];

- Всички Уилсонови Щайнерови системи от тройки от ред 19 и 21, които притежават нетривиални автоморфизми (1192 STS(19) и 10165 STS(21)). От резултатите следва, че броят на неизоморфните Уилсонови STS(21) е 2166351. Конструираните STS(21) са изследвани за двойна разрешимост, защото това са Щайнеровите системи от най-малък ред, за които не се знае съществуват ли двойно-разрешими [T5];

- Всичките 1028899 двойни на 2-(21,5,1) дизайна, които притежават нетривиални автоморфизми. С тяхна помощ и след доказване на уникалната разделимост на двойните на 2-(21,5,1), е установено, че броят на всички двойни е 1746461307 [T4];

- Всичките 131044 спреда на $PG(5,2)$. За тях са пресметнати инварианти, включващи групата от автоморфизми, броя на правите от спреда, съдържащи се в различните тримерни подпространства и ранга на 2-(64,16,5) дизайна, получен с конструкцията на Rahilly [T7];

- Деветте книжни спреда на $PG(5,2)$. Получените резултати са в съответствие с теоретичната класификация, направена от Shaw [T10];

- Книжни спредове на $PG(7,2)$ (над 2 милиона), отговарящи на някои допълнителни условия. За тях са пресметнати инварианти, включващи групата от автоморфизми и броя на тримерните и петмерните подпространства, чиито точки са изцяло покрити с прави от спреда [T11];

- Всички 2963 неизоморфни $STS(21)$ с автоморфизъм от ред 3 с 3 фиксирани точки и 7 фиксирани блока и техните резолюции [T3];

- Резолюции на циклични Щайнерови системи от тройки ($STS(v)$) с малки параметри, сред които особен интерес представляват *точково цикличните* (point-cyclic) резолюции. Представени са инварианти на 19364 резолюции на цикличните $STS(v)$ с $v \leq 27$, на 844346 резолюции с нетривиални автоморфизми на цикличните $STS(33)$ и на 2827 резолюции с автоморфизми от ред 13 на цикличните $STS(39)$ [T13];

- Всичките 12312 неизоморфни 2-паралелизми на $PG(5,2)$ с автоморфизъм от ред 31. С решаването на тази задача са намерени първите и единствени до момента 92 примера на транзитивни t-паралелизми в $PG(n,q)$ за $t > 1$. Това са 2-паралелизми в $PG(5,2)$ с пълна група от автоморфизми от ред 155, която е транзитивна върху спредовете. От тях са построени и множества от по 10 взаимно-ортогонални паралелизми [T8];

- Всички с точност до изоморфизъм оптимални $(v,k,1)$ двоични циклично-пермутационни константно-тегловни кодове (CPCW) с $k = 4,5,6$ и 7 и малки дължини (за някои дължини има милиони кодове); От класификационните резултати следва несъществуването на $(127, 7, 1)$ циклична разностна фамилия и, респективно, цикличен 2-$(127, 7, 1)$ дизайн [T9], [T18];

- Всички неизоморфни циклични 2-$(73, 4, 1)$ и 2-$(76, 4, 1)$ дизайни, чиито брой е, съответно, 1426986 и 1113024 [T9];
- Мултипликативно нееквивалентните оптимални (n, k) антиконфликтни кодове (CAC) с $k = 3, 4, 5, 6$ и 7 и малки дължини (милиони кодове за някои дължини). За други дължини е определен само максималният брой кодови думи $M(n, k)$ [T14], [T15];
- Мултипликативно нееквивалентните плътни оптимални (n, k) антиконфликтни кодове (CAC) с $k = 3, 4, 5, 6$ и 7 и малки дължини [T16];
- Мултипликативно нееквивалентните оптимални (n, k) силни антиконфликтни кодове (SCAC) с $k = 3, 4$ и 5 и малки дължини [T17].

7 Съответствие на изискванията

Точки по националните изисквания:

- от публикациите по дисертацията: 373 точки (при изискване за минимум 100)

  - 15 от представените публикации са в списания, индексирани в Web of Science или Scopus (12 с импакт фактор и 3 с SJR) и носят общо 313 точки (по $40/n$ точки всяка, където n е броят на съавторите)
  - 3 публикации са в рецензирани списания и носят 60 точки (по $20/n$ точки)

- от цитирания на публикациите по дисертацията: 192 точки (при изискване за минимум 100)

  - 150 точки са от 30 цитирания в публикации в списания, индексирани в Web of Science или Scopus
  - 24 точки са от 8 цитирания в монографии или колективни томове с научно рецензиране
  - 18 точки са от 9 цитирания в публикации в рецензирани списания (7 от тях реферирани в ZbMath)
  - цитирания, които не носят точки: 4 в сборници от международни конференции, 10 в дисертации в чужбина и 10 в дисертации в България.

Нито една от представените тук 18 публикации не е използвана в дисертацията на автора за придобиване на образователната и научна степен *доктор*. Съвместните публикации с Цонка Байчева не са използвани в нейната дисертация за придобиване на научната степен *доктор на науките*.

Въпреки, че няма изисквания за припокриване с публикациите, представени на конкурса за заемане на академичната длъжност професор, този въпрос често се задава и беше зададен и на мене. Осемте публикации от 2014 година насам не са използвани в конкурсите за академичните длъжности доцент (2001) и професор (2013). От тях две са самостоятелни (останалите са с по един съавтор), 4 са с импакт фактор и 2 – с SJR.

8 Благодарности

Със задачи за конструктивна класификация, сродни на разгледаните в настоящата дисертация, са се занимавали на даден етап не малко от българските специалисти, работещи в областта на комбинаториката и алгебричната теория на кодирането – Тончев , Капралов, Ланджев, Буюклиев, Буюклиева, Байчева, Матева, Железова, Монев, Джумалиева и др. Работила съм съвместно с някои от българите със сходни научни интереси (Стоян Капралов, Николай Манев, Иван Ланджев, Росен Златарски, Златка Матева, Стела Железова, Цонка Байчева), други (например Стефан Додунеков, Владимир Тончев, Стоян Капралов, Иван Ланджев, Стефка Буюклиева, Илия Буюклиев, Евгения Великова, Ася Русева) са откликвали и отговаряли (наживо или по е-мейл) на различни мои запитвания и са ме насочвали към интересни задачи, а с трети просто сме дискутирали по отворени въпроси, най-често повдигнати при срещите ни на Националния семинар по теория на кодирането или на международните конференции Algebraic and combinatorial coding theory (ACCT) и Optimal codes and related topics (OC). В годините, когато все още беше много трудно да разбереш какво вече е направено по даден конкретен проблем, при визитите си в чужбина колегите (най-често Додунеков и Тончев, но и много други) са ми изпращали (носили) статии и справочници, които ме интересуват. Изключително приятно е да се работи в такава силна и добронамерена група. Благодаря на всичките си съавтори за плодотворната и приятна съвместна работа. Благодаря на цялата колегия за помощта, която са ми оказвали, и за разбирането, което винаги са проявявали. А на всички колеги от Велико Търново благодаря и затова, че с удоволствие съм ходила на работа през тези години.

За съжаление, Стефан Додунеков - човекът, на когото най-много бих искала да благодаря, вече не е между живите. Основаването и оцеляването на Велико Търновския филиал на БАН стана възможно само благодарение на неговите нестандартни идеи и на размаха, оптимизма, смелостта и всеотдайността, с които ги осъществяваше, на дарбата му да ръководи и насърчава останалите, на способността му да открие и насочи в правилна посока заложбите на всеки един от колектива, на готовността му да рискува, за да помогне с всичко, с каквото може, и на всестранната му подкрепа. Благодаря на Николай Манев за неоценимата помощ, която му оказваше при прохождането на Велико Търновското звено, а на ръководствата на БАН, на ИМИ и на община Велико Търново – за усилията да съхранят и доразвиват създаденото от професор Додунеков.

Литература

[1] Ц. Байчева, *Оптимални кодове за контрол на грешки и оптични комуникации*, Дисертация за присъждане на научната степен доктор на науките, ИМИ, София, 2015 г.

[2] В.Д. Тончев, *Комбинаторни конфигурации. Дизайни, кодове, графи*, Наука и изкуство, София 1984.

V.D. Tonchev, *Combinatorial configurations*, Longman Scientific and Technical, New York, 1988.

[3] С. Топалова, *Конструиране и изследване на комбинаторни дизайни със зададени автоморфизми*, Дисертация за присъждане научната и образователна степен доктор, ИМИ, София, 1998.

[4] R.J.R. Abel, M. Buratti, Some progress on (v, 4, 1) difference families and optical orthogonal codes, *J. Comb. Theory A* **106** (2004), 59 – 75.

[5] L. Bader, G. Lunardon, Desarguesian spreads, *Ricerche mat.* **60** (2011), 15 – 37.

[6] R. Baker, Partitioning the planes of $AG_{2m}(2)$ into 2-designs, *Discrete Math.*, **15** (1976), 205 – 211.

[7] A. Betten, The packings of $PG(3,3)$, *Design. Code. Cryptogr.* **79** (3) (2016), 583 – 595.

[8] A. Beutelspacher, On parallelisms in finite projective spaces, *Geometriae Dedicata*, **3** (1) (1974), 35 – 45.

[9] V.K. Bhargava, J.M. Stein, (v, k, λ) configurations and self-dual codes, *Information and Control*, **28** (1975), 352 – 355.

[10] I.C.M. Bird, A.D. Keedwell, Design and applications of optical orthogonal codes - a survey, *Bull. Inst. Comb. Appl.* **11** (1994), 21 – 44.

[11] S. Bitan, T. Etzion, Constructions for optimal constant weight cyclically permutable codes and difference families, *IEEE T. Inform. Theory*, **41** (1) (1992) 77 – 87.

[12] A. Blokhuis, A.E. Brouwer, H.A. Wilbrink, Blocking sets in PG(2,p) for small p, and partial spreads in PG(3,7), *Adv. Geom.*, Special Issue (2003) 245 – 253.

[13] I. Bouyukliev, V. Fack, J. Winne, Hadamard matrices of order 36 and double-even self-dual [72,36,12] codes, *Proc. of EUROCOMB'2005*, Berlin, Germany, (2005), 93 – 98.

[14] Z. Božikov, Symmetric designs with parameters (69,17,4) and F_{39} as a group of automorphisms, *J. Comb. Des.* **6** (4) (1998), 231 – 233.

[15] E.F. Brickell, V. Wei, Optical orthogonal codes and cyclic block designs, *Congr. Numer.* **58** (1987), 175 – 182.

[16] R. Bruck, Construction Problems of Finite Projective Planes, *Proc. Conf. Combinatorics*, University of North Carolina Press, (1967), 427 – 514.

[17] M. Buratti, Cyclic designs with block size 4 and related optimal optical orthogonal codes, *Design. Code. Cryptogr.* **26** (2002), 111 – 125.

[18] M. Buratti, A. Pasotti, Further progress on difference families with block size 4 or 5, *Design. Code. Cryptogr.* **56** (2010), 1 – 20.

[19] Y. Chang, R. Fuji-Hara, Y. Miao, Combinatorial constructions of optimal optical orthogonal codes with weight 4, *IEEE T. Inform. Theory*, **49** (2003), 1283 – 1292.

[20] Chen K., Wei R., Zhu L., Existence of $(q, 7, 1)$ difference families with q a prime power, *J. Comb. Des.* **10** (2002), 126 – 138.

[21] K. Chen, L. Zhu, Existence of $(q, k, 1)$ difference families with q a prime power and $k = 4, 5$. *J. Comb. Des.* **7** (1999), 21 – 30.

[22] F.R.K. Chung, J.A. Salehi, V.K. Wei, Optical orthogonal codes: design, analysis and applications, *IEEE T. Inform. Theory* **35** (1989), 595 – 604.

[23] M. Cohen, C. Colbourn, L. Ives, A. Ling, Kirkman triple systems of order 21 with nontrivial automorphism group, *Math. Comput.* **71** (238) (2002), 873 – 881.

NP-complete, *J. Combin. Theory A* **35** (1983), 100 – 105.

[24] C.J. Colbourn, J.H. Dinitz, D.R. Stinson, Applications of combinatorial designs to communications, cryptography, and networking, In J.D. Lamb, D.A. Preece (eds.) *Surveys in combinatorics*, Cambridge University Press, London, 1999, 37 – 100.

[25] C.J. Colbourn, S.S. Magliveras, R.A. Mathon, Transitive Steiner and Kirkman triple systems of order 27, *Math. Comput.* **58** (1992), 441 – 449.

[26] R. Craigen, Hadamard matrices and designs, *Handbook of Combinatorial Designs*, Boca Raton, FL.,CRC Press, 1996, 370 - 377.

[27] R. Craigen, W. Wallis, Hadamard matrices, 1893-1993, Congressus Numeratum, 97 (1993), 99 – 129.

[28] R. Craigen, H. Kharaghani, Weaving Hadamard matrices with maximum excess and classes with small excess, *J. Comb. Des.* **12** (2004), 233 – 255.

[29] R.H.F. Denniston, Some packings of projective spaces, *Atti Accad. Naz. Lincei Rend. Cl. Sci. Fis. Mat. Natur.* **52** (8) (1972), 36 – 40.

[30] R.H.F. Denniston, Cyclic packings of the projective space of order 8, *Atti Accad. Naz. Lincei Rend.* **54** (1973), 373 – 377.

[31] T. Etzion, N. Silberstein, Codes and designs related to lifted MRD codes, *IEEE T. Inform. Theory* **59** (2) (2013), 1004 – 1017.

[32] T. Etzion, A. Vardy, Error-correcting codes in projective space, *IEEE T. Inform. Theory* **57** (2) (2011), 1165 – 1173.

[33] T. Etzion, A. Vardy, Automorphisms of codes in the Grassmann scheme. arXiv:1210.5724 (October 2012).

[34] I. A. Faradžev, Constructive enumeration of combinatorial objects, in Problèmes Combinatoires et Théorie des Graphes, (Université d'Orsay, July 9 – 13, 1977), CNRS, Paris, (1978), 131 – 135.

[35] H. Fu, Y. Lin, M. Mishima, Optimal conflict-avoiding codes of even length and weight 3, *IEEE T. Inform. Theory* **56** (11) (2010), 5747 – 5756.

[36] H. Fu, Y. Lo, and K. Shum, Optimal conflict-avoiding codes of odd length and weight three, *Design. Code. Cryptogr.* **72** (2) (2014), 289 – 309.

[37] M. Genma, M. Mishima, M. Jimbo, Cyclic resolvability of cyclic Steiner 2-designs, *J. Comb. Des.* **5** (1997), 177 – 187.

[38] S. Georgiou, C. Koukouvinos, J. Seberry, Hadamard matrices, orthogonal designs and construction algorithms, In Designs 2002: Further Computational and Constructive Design Theory (W.D. Wallis (eds.)), Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, (2003), 133 – 205.

[39] S. Georgiou, C. Koukouvinos, S. Stylianou, On good matrices, skew Hadamard matrices and optimal designs, *Comput. Stat. Data An.* **41** (1) (2002), 171 – 184.

[40] P. Gibbons, P. Östergård, Computational methods in design theory, *In: Handbook of Combinatorial Designs, C. Colbourn, J. Dinitz (eds.)*, 2nd edition, (Discrete mathematics and its applications, K. Rosen (eds.)), CRC Press, Boca Raton, FL., (2007), 755 –782.

[41] A. Gruner and M. Huber, New Combinatorial Construction Techniques for Low-Density Parity-Check Codes and Systematic Repeat-Accumulate Codes, *IEEE T. Commun.* **60** (9) (2012), 2387 – 2395.

[42] M. Hall Jr., A survey of difference sets, *Proc. Amer. Math. Soc.*, **7** (1956), 975 – 986.

[43] N. Hamada, On the p-rank of the incidence matrix of a balanced or partially balanced incomplete block design and its applications to error-correcting codes, *Hiroshima Math. J.* **3** (1973), 153 - 226.

[44] M. Harada, C. Lam and V. D. Tonchev, Symmetric (4,4)-nets and generalized Hadamard matrices over groups of order 4, *Design. Code. Cryptogr.* **34** (2005), 71 – 87.

[45] N. Ito, J.S. Leon, J.Q. Longyear, Classification of 3-(24,12,5) designs and 24-dimensional Hadamard matrices, *J. Comb. Theory A* **31** (1981), 66 – 93.

[46] V. Jha, N.L. Johnson, The classification of spreads in $PG(3,q)$ admitting linear groups of order $q(q+1)$, II. Even order, *Advances in Geometry*, Special Issue (2003), 271 – 313.

[47] V. Jha, N.L. Johnson, The classification of spreads in $PG(3,q)$ admitting linear groups of order $q(q+1)$, I. Odd order, *J. Geometry* **81** (2004), 46 – 80.

[48] M. Jimbo, M. Mishima, S. Janiszewski, A.Y. Teymorian, V.D. Tonchev, On conflict-avoiding codes of length $n = 4m$ for three active users, *IEEE T. Inform. Theory* **53** (8) (2007), 2732 – 2742.

[49] N.L. Johnson, Subplane Covered Nets, *Monographs and Textbooks in Pure and Applied Mathematics* **222** Marcel Dekker, New York, 2000.

[50] N.L. Johnson, Some new classes of finite parallelisms, *Note Math.* **20** (2) (2000/01), 77 – 88.

[51] N.L. Johnson, Parallelisms of projective spaces, *J. Geom.* **76** (2003), 110–182.

[52] N.L. Johnson, Spreads in $PG(3, q)$ admitting several homology groups of order $q + 1$, *Note di Matematica* **24** (2) (2005), 9 – 39.

[53] N.L. Johnson, *Combinatorics of Spreads and Parallelisms*, Series: Chapman & Hall Pure and Applied Mathematics, CRC Press, 2010.

[54] N.L. Johnson, A. Montinaro, The transitive t-parallelisms of a finite projective space, *Adv. Geom.* **12** (2012), 401–429.

[55] S.J. Johnson and S.R. Weller, Resolvable 2-Designs for Regular Low-Density Parity-Check Codes, *IEEE T. Commun.* **51** (9) (2003), 1413 – 1419.

[56] S. Kageyama, A survey of resolvable solutions of balanced incomplete block designs, *Rev. Inst. Internat. Stat.* **40** (1972), 269 – 273.

[57] S.N. Kapralov, S. Topalova, On the Steiner Triple Systems of order 21 with automorphisms of order 3, *Proc. Third International Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory, V.Voda, Bulgaria* (1992), 105 – 108.

[58] H. Kharaghani and B. Tayfeh-Rezaie, On the classification of Hadamard matrices of order 32, http://www3.interscience.wiley.com/journal/123249643/abstract

[59] P. Kaski, P. Östergård, The Steiner Triple Systems of order 19, *Mathematics of Comput.* **73** (2004), 2075 – 2092.

[60] P. Kaski, P. Östergård, *Classification algorithms for codes and designs*, Springer, Berlin, 2006.

[61] H. Kimura, New Hadamard matrix of order 24, *Graphs and Combin.* **5** (1989), 235 – 242.

[62] H. Kimura, Classification of Hadamard matrices of order 28, *Discrete Math.* **133** (1994), 171 – 180.

[63] C. Lam and Y. Miao, On Cyclically Resolvable Cyclic Steiner 2-Designs, *J. Comb. Theory A* **85** (1999), 194 – 207.

[64] C. Lam and Y. Miao, Cyclically resolvable cyclic Steiner triple systems of order 21 and 39, *Discrete Math.* **219** (2000), 173 – 185.

[65] V. I. Levenshtein, Conflict-avoiding codes and cyclic triple systems, *Probl. of Inform. Transm.* **43** (3) (2007), 199 – 212.

[66] V. I. Levenshtein, and V. D. Tonchev, Optimal conflict-avoiding codes for three active users, Proc. IEEE Internat. Symposium on Inform. Theory, Adelaide (2005), 535 – 537.

[67] F. Manganiello, E. Gorla, and J. Rosenthal, Spread codes and spread decoding in network coding, Proc. of International Symposium on Information Theory, Toronto, Ontario, Canada (2008), 881 – 885.

[68] S. Martirosyan and A. J. Han Vinck, A construction for optical orthogonal codes with correlation 1, *IEICE Trans. Fundamentals* **E85-A** (1) (2002), 269 – 272.

[69] R. Mathon, K. Phelps, A. Rosa, A class of Steiner triple systems of order 21 and associated Kirkman systems, *Math. Comput.* **37** (1981), 209 – 222.

[70] R. Mathon, A. Rosa, The 4-rotational Steiner and Kirkman triple systems of order 21, *Ars Combinatoria* **17**A (1984), 221 – 250.

[71] R.Mathon, A. Rosa, 2-(v, k, λ) designs of small order, *In: Handbook of Combinatorial Designs, C. Colbourn, J. Dinitz (eds.)*, 2nd edition, (Discrete mathematics and its applications, K. Rosen (eds.)), CRC Press, Boca Raton, FL., (2007), 25 - 57.

[72] V.C. Mavron, T. McDonough and V.D. Tonchev, On affine designs and Hadamard designs with line spreads, *J. Discrete Math.* **308** (2008), 2742 – 2750.

[73] M. Mishima, H. Fu, S. Uruno, Optimal conflict-avoiding codes of length $n \equiv 0$ $(mod\ 16)$ and weight 3, Design. Code. Cryptogr. **52**(3), 275–291 (2009).

[74] M. Mishima and M. Jimbo, Some types of cyclically resolvable cyclic Steiner 2-designs, *Congr.Numer.* **123** (1997), 193 – 203.

[75] M. Mishima and M. Jimbo, Recursive constructions for cyclic quasiframes and cyclically resolvable cyclic Steiner 2-designs, *Discrete Math.* **211** (2000) 135 – 152.

[76] K. Momihara, Necessary and sufficient conditions for tight equi-difference conflict avoiding codes of weight 3. *Design. Code. Cryptogr.* **45** (3) (2007), 379 – 390.

[77] K. Momihara„ M. Müler, J. Saton, and M. Jimbo, Constant weight conflict-avoiding codes, *SIAM J. Discr. Math.* **21** (4) (2007), 959 – 979.

[78] O. Moreno, Z. Zhang, P. V. Kumar, V. A. Zinoviev, New constructions of optimal cyclically permutable constant weight codes, *IEEE T. Inform. Theory* **41** (2) (1995), 448 – 455.

[79] Q. A. Nguyen, L. Gyöfri, J. L. Massey, Constructions of binary constant weight cyclic codes and cyclically permutable codes, *IEEE T. Inform. Theory* **38** (3) (1992), 940 – 949.

[80] R.E.A.C. Paley, On orthogonal matrices, *J. Math. Phys. MIT* **12** (1933), 311 – 320.

[81] T. Penttila, B. Williams, Regular packings of $PG(3, q)$*Eur. J. Combin.* **19** (6) (1998), 713 – 720.

[82] F. Piper, M. Walker, Linear Ciphers and Spreads, *J. Cryptol.* **1** (1989), 185 – 188.

[83] A. Prince, Parallelisms of $PG(3, 3)$ invariant under a collineation of order 5, In: Mostly Finite Geometries, Iowa City, 1996, N.Johnson, (eds.), *Lect. Notes Pure Appl.* **190**, Marcel Dekker, New York (1997), 383–390.

[84] A. Prince, The cyclic parallelisms of $PG(3, 5)$, *Eur. J. Combin.* **19** (5) (1998), 613–616.

[85] A. Rahilly, On the line structure of designs, *Discrete Math.* **92** (1991), 291 – 303.

[86] R. C. Read, Every one a winner; or, How to avoid isomorphism search when cataloguing combinatorial configurations, *Ann. Discrete Math.* **2** (1978), 107 – 120.

[87] J. Sarmiento, Resolutions of $PG(5, 2)$ with point-cyclic automorphism group, *J. Comb. Des.* **8** (1) (2000), 2 – 14.

[88] J. Sarmiento, On point-cyclic resolutions of the 2-$(63, 7, 15)$ design associated with $PG(5, 2)$, *Graph. Combinator.* **18** (3) (2002), 621 – 632.

[89] J. Seberry , M. Yamada, Hadamard matrices, sequences, and block designs, *In: Contemporary Design Theory, a collection* of surveys (J.H.Dinitz and D.R.Stinson (eds.)), Wiley, 1992, 431 - 560.

[90] S.S. Shrikhande, N.M. Singhi, Construction of geomatroids, *Utilitas Mathematica* **8**) (1975), 187 - 192.

[91] K. W. Shum, S. W. Wong, A tight asymptotic bound on the size of constant-weight conflict-avoiding codes, *Design. Code. Cryptogr.* **57** (1) (2010), 1 – 14.

[92] K. W. Shum,, S. W. Wong, and C. S. Chen, A general upper bound on the size of constant-weight conflict avoiding codes, *IEEE T. Inform. Theory* **56** (7) (2010), 3265 – 3276.

[93] N. Silberstein, Coding Theory and Projective Spaces, Ph.D. thesis, Israel Institute of Technology, Haifa (2011).

[94] L. Soicher, Computation of Partial Spreads, web preprint, http://www.maths.qmul.ac.uk/∼ leonard/partialspreads (2000),

[95] E. Spence, Classification of Hadamard Matrices of Orders 24 and 28, *Discrete Math.* **140** (1995), 185 – 243.

[96] E. Spence, Regular two-graphs on 36 vertices, *Linear Algebra Appl.* **226-228** (1995), 459 – 497.

[97] D. Stinson, *Combinatorial Designs: Constructions and Analysis*, Springer-Verlag, New York, (2004).

[98] D. Stinson, S. Vanstone, Orthogonal packings in PG(5,2), *Aequationes Math.* **31** (1) (1986), 159–168.

[99] L. Storme, Finite Geometry, *In: Handbook of Combinatorial Designs, C. Colbourn, J. Dinitz (eds.)*, 2nd edition, (Discrete mathematics and its applications, K. Rosen (eds.)), CRC Press, Boca Raton, FL., (2007), 702–729.

[100] V.D. Tonchev, Hadamard matrices of order 36 with automorphisms of order 17, *Nagoya Math.J.* **104** (1986), 163 – 174.

[101] Tonchev V.D., Steiner triple systems of order 21 with automorphisms of order 7, *Ars Combinatoria* **23** (1987), 93-96.

[102] V.D. Tonchev, Symmetric designs without ovals and extremal self-dual codes, *Annals of Discrete Math.* **37** (1988), 451 – 458.

[103] V.D. Tonchev, *Tables of Conflict-Avoiding Codes*, available online at `http://www.math.mtu.edu/∼tonchev/CAC.html`.

[104] V.D. Tonchev, On Affine Designs and GMW Difference Sets, *In: Finite Geometries, Groups, and Computation*, A. Hulpke, R. Liebler, T. Penttila and A. Seress (eds.), Walter de Gruyter, Berlin, (2006), 237 – 245.

[105] V.D. Tonchev and S.A. Vanstone, On Kirkman triple systems of order 33, *Discrete Math.* **106/107** (1992), 493 – 496.

[106] S. Topalova, S. Zhelezova, On transitive parallelisms of $PG(3,4)$, *Appl. Algebr. Eng. Comm.* **24** (3-4) (2013), 159 – 164.

[107] S. Topalova, S. Zhelezova, On point-transitive and transitive deficiency one parallelisms of $PG(3,4)$, *Design. Code. Cryptogr.* **75** (1) (2015), 9 – 19.

[108] S. Topalova, S. Zhelezova, New regular parallelisms of $PG(3,5)$, *J. Comb. Des.* **24** (10) (2016), 473 – 482.

[109] S. Topalova, S. Zhelezova, Types of spreads and duality of the parallelisms of $PG(3,5)$ with automorphisms of order 13, *Design. Code. Cryptogr.* (2018) https://doi.org/10.1007/s10623-018-0558-2.

[110] X. Wang, Y. Chang, Further results on $(v,4,1)$-perfect difference families, *Discrete Math.* **310** (13 – 14) (2010), 1995 – 2006.

[111] R.M. Wilson, Nonisomorphic Steiner triple systems, *Math. Z.* **135** (1974), 303 – 313.

[112] S.L. Wu, H.L. Fu, Optimal tight equi-difference conflict-avoiding codes of length $n = 2^k \pm 1$ and weight 3, *J. Comb. Des.* **21** (6) (2013), 223 – 231.

[113] Z. Yu and J. Wang, Strongly conflict-avoiding codes with weight three, *Wireless Pers. Commun.* **84** (2015), 153 – 165.

[114] G. Zaitsev, V. Zinoviev, N. Semakov, Interrelation of Preparata and Hamming codes and extension of Hamming codes to new double-errorcorrecting codes, Proc. of Second Intern. Symp. on Information Theory (Armenia, USSR, 1971), Budapest, Academiai Kiado, (1973), 257 – 263.

[115] Y. Zhang, K.W. Shum, and W.S. Wong, Strongly conflict-avoiding codes, *SIAM J. Discrete Math.* **25** (3) (2011), 1035 – 1053, .

[116] Y. Zhang, Y. Lo, and W. S. Wong, Optimal strongly conflict-avoiding codes of even length and weight three, *Design. Code. Cryptogr.* **79** (2) (2016), 367 – 382.

[117] S. Zhelezova, Cyclic parallelisms of $PG(5,2)$, *Math. Balkanica* **24** (1-2) (2010), 141–146.

Публикации по дисертацията

[T1] S. Topalova, Symmetric 2-$(69, 17, 4)$ designs with automorphisms of order 13, *Journal of Statistical Planning and Inference* **95** (2001), 335 – 339. ISSN 0378-3758, SJR(2001) = 0.711, ISI IF (2001) = 0.366.

[T2] S. Topalova, Classification of Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, *Discrete Mathematics* **260** (1–3) (2003), 275 – 283. ISSN 0012-365X, SJR(2003) = 0.775, ISI IF (2003) = 0.303.

[T3] S. Topalova, STS(21) with automorphisms of order 3 with 3 fixed points and 7 fixed blocks, *Mathematica Balkanica* **18** (2004), 215 – 220. ISSN 0205-3217.

[T4] V. Fack, S. Topalova, J. Winne, R. Zlatarski, Enumeration of the doubles of the projective plane of order 4, *Discrete Mathematics* **306** (2006) 2141 – 2151. ISSN 0012-365X, SJR(2006) = 0.867, ISI IF (2006) = 0.347.

[T5] P. Kaski, P. Östergård, S. Topalova, R. Zlatarski, Steiner Triple Systems of Order 19 and 21 with Subsystems of Order 7, *Discrete Mathematics* **308** (2008), 2732 – 2741. ISSN 0012-365X, SJR(2008) = 0.894, ISI IF (2008) = 0.502.

[T6] Z. Mateva, S. Topalova, Hadamard 2-(63,31,15) designs invariant under the dihedral group of order 10, *Discrete Mathematics* **309** (6) (2009), 1347 – 1356. ISSN 0012-365X, SJR(2009) = 0.914, ISI IF (2009) = 0.548.

[T7] Z. Mateva, S. Topalova, Line spreads of $PG(5, 2)$, *Journal of Combinatorial Designs* **17** (1) (2009), 90 – 102. ISSN 1063-8539, SJR(2009)=0.996, ISI IF (2009) = 0.709.

[T8] S. Topalova, S. Zhelezova, 2-spreads and transitive and orthogonal 2-parallelisms of PG(5,2), *Graphs and Combinatorics* **26** (5) (2010), 727 – 735. ISSN 0911-0119, SJR(2010)=0.729, ISI IF (2010) = 0.242.

[T9] T. Baicheva, S. Topalova, Classification of optimal $(v, 4, 1)$ binary cyclically permutable constant weight codes and cyclic $S(2, 4, v)$ designs with $v \leq 76$, *Problems of Information Transmission* **47** (3) (2011), 224 – 231. ISSN 0032 - 9460, SJR(2011)=0.467, ISI IF (2011) = 0.484.

[T10] T.P. McDonough, R. Shaw, S. Topalova, Classification of book spreads in $PG(5, 2)$, *Note di Matematica* **33** (2), (2013), 43-64. ISSN: 1123-2536, e-ISSN: 1590-0932, SJR(2013) = 0.162.

[T11] R. Shaw, S. Topalova, Book spreads in $PG(7, 2)$, *Discrete Mathematics* **330** (2014), 76 – 86. ISSN: 0012-365X, SJR(2014) = 1.03, SJR(2014) = 0.974, IF (2014) = 0.557.

[T12] S. Topalova, Conjugates for finding the automorphism group and isomorphism of design resolutions, *Serdica Journal of Computing* **10** (1), ИМИ, (2016), 79 – 92. ISSN:1312-6555.

[T13] S. Topalova, On the resolutions of cyclic Steiner triple systems with small parameters, *Journal of Algebra Combinatorics Discrete Structures and Applications* **3** (3) (2016), 201 – 208. ISSN: 2148-838X (online).

[T14] T. Baicheva and S. Topalova, Optimal conflict-avoiding codes for 3, 4 and 5 active users, *Problems of Information Transmission* **53** (1) (2017), 42 – 50. ISSN: 0032-9460 (print version) ISSN: 1608-3253 (electronic version), SJR(2017): 0.353, ISI IF(2017):0.359.

[T15] T. Baicheva and S. Topalova, Classification of optimal conflict-avoiding codes of weights 6 and 7, *Electronic Notes in Discrete Mathematics* **57**, Elsevier, (2017), 9 – 14, ISSN:1571-0653, SJR(2017):0.262.

[T16] T. Baicheva and S. Topalova, On tight optimal conflict-avoiding codes for 3, 4, 5 and 6 active users, *Cybernetics and Information Technologies* **18** (5) (2018), 5-11. ISSN:1311-9702, SJR(2017):0.204.

[T17] T. Baicheva and S. Topalova, Classification of strongly conflict-avoiding codes, *IEEE Communications Letters* **22** (12) (2018), 2415 – 2418, Print ISSN: 1089-7798, Electronic ISSN: 1558-2558, SJR(2017):0.589, IF(2017) = 2.723.

[T18] T. Baicheva and S. Topalova, Classification of optimal $(v, k, 1)$ binary cyclically permutable constant weight codes with $k = 5$, 6 and 7 and small lengths, *Designs Codes and Cryptography* (2018), Online first https://doi.org/10.1007/s10623-018-0534-x. ISSN: 0925-1022, e-ISSN: 1573-7586, SJR(2017) = 0.549, IF(2017) = 1.114.

Цитирания на публикациите по дисертацията
(Подредбата е според вида на изданието с цитата и по години.)

Цитирания в списания с импакт фактор:

T1. **S. Topalova**, Symmetric 2-$(69, 17, 4)$ designs with automorphisms of order 13, *Journal of Statistical Planning and Inference* **95** (2001), 335 – 339.

1. Kaski P., Isomorph-free exhaustive generation of designs with prescribed groups of automorphisms, *SIAM Journal on Discrete Mathematics* 19 (3) (2005), 664-690.

2. Krčadinac V., Nakić A., Pavčević M. O., The Kramer – Mesner method with tactical decompositions: some new unitals on 65 points, Journal of Combinatorial Designs 19 (2011), 290 – 303.

T2. **S. Topalova**, Classification of Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, *Discrete Mathematics* **260** (2003), 275 – 283.

3. Goodwin V., Yorgov V., New extremal self-dual doubly-even binary codes of length 88, *Finite Fields and Their Applications* 11 (1) (2005), 1-5.

4. Kaski P., Isomorph-free exhaustive generation of designs with prescribed groups of automorphisms, *SIAM Journal on Discrete Mathematics* 19 (3) (2005), 664-690.

T2c. **S. Topalova**, Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, Proceedings of the Seventh International Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory, Bansko, Bulgaria (2000), 305-310.

5. Gulliver A., Harada M., Kim J., Construction of new extremal self-dual codes, *Discrete Mathematics* 263 (1 - 2) (2003) 81 – 91.

6. Carlach J.-C., Otmani A., A systematic construction of self-dual codes , *IEEE Transactions on Information Theory* 49 (11) (2003), 3005 – 3009.

T5. **P. Kaski, P. Östergård, S. Topalova, R. Zlatarski**, Steiner Triple Systems of Order 19 and 21 with Subsystems of Order 7, *Discrete Mathematics* **308** (2008), 2732 – 2741.

7. Eslami Z. ,Classification of designs with nontrivial automorphism groups, *Journal of Combinatorial Designs* 14 (6) (2006) , 479 - 489.

8. Armanious, M. H., On Steiner Quasigroups of Cardinality 21, *Ars Combinatoria* 104 (2012), 417 – 430.

9. Ihringer, F., Meagher, K., Mikls-Manickam-Singhi conjectures on partial geometries, *Des. Codes Cryptogr.* 86 (6) (2018), 1311–1327.

T7. **Z. Mateva, S. Topalova**, Line spreads of $PG(5, 2)$, *Journal of Combinatorial Designs* **17** (1) (2009), 90 – 102.

10. Draisma J., Shaw R., Some noteworthy alternating trilinear forms, *Journal of Geometry* 105 (1) (2014), 167 – 176.

11. Kiermaier, M., Kurz, S. and Wassermann, A., The order of the automorphism group of a binary q-analog of the Fano plane is at most two, *Des. Codes Cryptogr.* 86 (2) (2018), 239 – 250.

12. Honold, T., Kiermaier, M. and Kurz, S. , Classification of large partial plane spreads in PG(6,2) and related combinatorial objects, Journal of Geometry (2019) 110: 5.

T8. **S. Topalova, S. Zhelezova**, 2-spreads and transitive and orthogonal 2-parallelisms of PG(5,2), *Graphs and Combinatorics* **26** (5) (2010), 727 – 735.

13. Etzion T., Silberstein N., Codes and designs related to lifted MRD codes, *IEEE Transactions on Information Theory* 59 (2) (2013), 1004 – 1017.

14. Johnson N.L., Montinaro A., The transitive t-parallelisms of a finite projective space, *Advances in Geometry* 12 (3) (2012), 401 – 429.

15. A. Betten, The packings of $PG(3,3)$, *Design. Code. Cryptogr.* 79 (3) (2016), 583 – 595.

16. Etzion, T., Storme, L., Galois geometries and coding theory, *Des. Codes Cryptogr.* 78 (1) (2016), 311–350.

17. Huang, LP. and Lv, B., Cores and Independence Numbers of Grassmann Graphs, *Graphs and Combinatorics* 33 (6) (2017), 1607 – 1620.

T9. **T. Baicheva, S. Topalova**, Classification of optimal $(v, 4, 1)$ binary cyclically permutable constant weight codes and cyclic $S(2, 4, v)$ designs with $v \leq 76$, *Problems of Information Transmission* **47** (3) (2011), 224 – 231.

18. Fujiwara Y., Self-synchronizing pulse position modulation with error tolerance, *IEEE Trans. Inform. Theory* 59 (9) (2013), 5352-5362.

Цитирания в реферирани и индексирани в Scopus списания без импакт фактор

T2. **S. Topalova**, Classification of Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, *Discrete Mathematics* **260** (2003), 275 – 283.

19. Georgiou S., Koukouvinos C., Lappas E., Extremal doubly-even self-dual codes from Hadamard matrices, *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography* 9(2) (2006), 331-339, SJR(2006)=0.176.

20. Georgiou S., Kotsireas I., Koukouvinos C., Inequivalent Hadamard matrices of order 2n constructed from Hadamard matrices of order n, *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing* 63 (2007), 65-79.

T5. **P. Kaski, P. Östergård, S. Topalova, R. Zlatarski**, Steiner Triple Systems of Order 19 and 21 with Subsystems of Order 7, *Discrete Mathematics* **308** (2008), 2732 – 2741.

21. Li X., Xu Z., Chou W., Method of Construction and Enumeration Steiner Triple Systems with Order 19, *Key Engineering Materials* 474 – 476 (2011), 1205 – 1208, SJR(2011)=0.177.

22. Xu Z., Li X., Chou W., Two Isomorphic 9 Order Steiner Triple Systems Large Sets, *Applied Mechanics and Materials* 427 (2013), 1237–1240, SJR(2013)=0.132.

23. A. Drapal, T. S. Griggs, On cosets in Steiner loops, *Buletinul Academiei de Stiinte a Republicii Moldova. Matematica* 1(80) (2016), 118 – 124, SJR(2016)=0.218.

24. Li X., Xu Z., Chou W., A new method of constructing Steiner triple systems, *Chinese Control and Decision Conference* 2010, 3760 – 3764, SJR(2010)=0.11.

25. Li X., Xu Z., Chou W., A method of constructing Kirkman triple system of higher order, *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* 2010, 2318 – 2322, SJR(2010)=0.11.

26. Li X., Xu Z., Chou W., A new method of constructing Kirkman triple system, *Chinese Control and Decision Conference* 2011 , 4237 – 4242, SJR(2011)=0.12.

27. Li X., Xu Z., Chou W., Construction and enumeration of Steiner triple systems with order $s \times t$, *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* 2011, 4243 – 4247, SJR(2011)=0.12.

28. Xu Z., Li X., Chou W., New method of constructing triple system with order $s \times t$, 24th *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* 2012, 3757 – 3761, SJR(2012)=0.123.

29. Xu Z., Li X., Chou W., Decomposition of K_{2n} into $n-1$ Hamiltonian cycles and a perfect matching M_i, 24th *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* 2012, 3762 – 3767, SJR(2012)=0.123.

T8. **S. Topalova, S. Zhelezova**, 2-spreads and transitive and orthogonal 2-parallelisms of PG(5,2), *Graphs and Combinatorics* **26** (5) (2010), 727 – 735.

30. Silberstein N., Etzion T., Codes and designs related to lifted MRD codes , *IEEE International Symposium on Information Theory Proceedings (ISIT)* 2011, St. Petersburg, 2288 - 2292, SJR(2011)=0.673.

Цитирания в монографии и колективни томове с научно рецензиране:

T1. **S. Topalova**, Symmetric 2-$(69, 17, 4)$ designs with automorphisms of order 13, *Journal of Statistical Planning and Inference* **95** (2001), 335 – 339.

31. Kaski P., Ostergard P., *Classification Algorithms for Codes and Designs*, **Springer Verlag**, Berlin Heidelberg, 2006 (p.396).

32. Gibbons P., Ostergard P., Computational Methods in Design Theory, in: C.Colbourn and J.Dinitz (Eds.), *The CRC Handbook of Combinatorial Designs*, **CRC Press**, Boca Raton, FL., 2007, 755-783.

33. Mathon R., Rosa A., 2-(v, k, λ) designs of small order, in: C.Colbourn and J.Dinitz (Eds.), *The CRC Handbook of Combinatorial Designs*, **CRC Press**, Boca Raton, FL., 2007, 25-58.

T2. **S. Topalova**, Classification of Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, *Discrete Mathematics* **260** (2003), 275 – 283.

34. Georgiou S., Koukouvinos C., Seberry J., Hadamard matrices, orthogonal designs and construction algorithms, in *Designs 2002: Further Computational and Constructive Design Theory* (Ed. W.D. Wallis), **Kluwer Academic Publishers**, Norwell, Massachusetts, (2003), 133–205.

35. Kaski P., Ostergard P., *Classification Algorithms for Codes and Designs*, **Springer Verlag**, Berlin Heidelberg, 2006 (p.396).

36. Gibbons P., Ostergard P., Computational Methods in Design Theory, in: C.Colbourn and J.Dinitz (Eds.), *The CRC Handbook of Combinatorial Designs*, **CRC Press**, Boca Raton, FL., 2007, 755–783.

T7. **Z. Mateva, S. Topalova**, Line spreads of $PG(5,2)$, *Journal of Combinatorial Designs* **17** (1) (2009), 90 – 102.

37. Honold T., Kiermaier M., Kurz S., Partial Spreads and Vector Space Partitions. In: Greferath M., Pavčević M., Silberstein N., Vázquez-Castro M. (eds) *Network Coding and Subspace Designs. Signals and Communication Technology*, **Springer**, Cham, 2018, 131 – 170.

38. V. Tonchev, Finite geometry designs, codes and Hamada's conjecture, In: *Information Security, Coding Theory and Related Combinatorics*, D. Crnkoviĉ and V. Tonchev (eds), **IOS Press**, 2011, 437 – 448.

Цитирания в реферирани в други известни бази рецензирани списания без импакт фактор

T1. **S. Topalova**, Symmetric 2-$(69,17,4)$ designs with automorphisms of order 13, *Journal of Statistical Planning and Inference* **95** (2001), 335 – 339.

39. Zhelezova S., A method for classification of doubly resolvable designs and its application, *Serdica Journal of Computing* 5(3) (2011), 273-308 (**zbMATH**).

T2. **S. Topalova**, Classification of Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, *Discrete Mathematics* **260** (2003), 275 – 283.

40. Zhelezova S., A method for classification of doubly resolvable designs and its application, *Serdica Journal of Computing* 5(3) (2011), 273-308 (**zbMATH**).

T3. **S. Topalova**, STS(21) with Automorphisms of order 3 with 3 fixed points and 7 fixed blocks, *Mathematica Balkanica* **18** (2004), 215 – 220.

41. Zhelezova S., A method for classification of doubly resolvable designs and its application, *Serdica Journal of Computing* 5(3) (2011), 273-308 (**zbMATH**).

T4. **V. Fack, S. Topalova, J. Winne, R. Zlatarski**, Enumeration of the doubles of the projective plane of order 4, *Discrete Mathematics* **306** (2006) 2141 – 2151.

42. Zhelezova S., A method for classification of doubly resolvable designs and its application, *Serdica Journal of Computing* 5(3) (2011), 273-308 (**zbMATH**).

T5. **P. Kaski, P. Östergård, S. Topalova, R. Zlatarski**, Steiner Triple Systems of Order 19 and 21 with Subsystems of Order 7, *Discrete Mathematics* **308** (2008), 2732 – 2741.

43. Armanious M.H., On the classes of Steiner loops of small orders, *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics* 17(2) (2011), 52-68 (**zbMATH**).

44. Zhelezova S., A method for classification of doubly resolvable designs and its application, *Serdica Journal of Computing* 5(3) (2011), 273-308 (**zbMATH**).

T7. **Z. Mateva, S. Topalova**, Line spreads of $PG(5,2)$, *Journal of Combinatorial Designs* **17** (1) (2009), 90 – 102.

45. Zhelezova S., A method for classification of doubly resolvable designs and its application, *Serdica Journal of Computing* 5(3) (2011), 273-308 (**zbMATH**).

Цитирания в други рецензирани списания

T7. **Z. Mateva, S. Topalova**, Line spreads of $PG(5,2)$, *Journal of Combinatorial Designs* **17** (1) (2009), 90 – 102.

46. Zhelezova S., Cyclic parallelisms of PG(5,2), *Mathematica Balkanica* 24 (1-2) (2010), 141-146.

47. P Ranjan, N Spencer, A Unified Approach to Factorial Designs with Randomization Restrictions, *Calcutta Statistical Association Bulletin* 65 (1–4) (2013).

Цитирания в сборници от международни конференции:

T4. **V. Fack, S. Topalova, J. Winne, R. Zlatarski**, Enumeration of the doubles of the projective plane of order 4, *Discrete Mathematics* **306** (2006) 2141 – 2151.

48. Mateva Z., Doubles of Hadamard 2-(15,7,3) designs, Eleventh International Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory, June 16-22, 2008, Pamporovo, Bulgaria pp. 210-214.

T5. **P. Kaski, P. Östergård, S. Topalova, R. Zlatarski**, Steiner Triple Systems of Order 19 and 21 with Subsystems of Order 7, *Discrete Mathematics* **308** (2008), 2732 – 2741.

49. Zhelezova S., PCIMs in constructing doubly resolvable designs, Proceedings of the Fifth International Workshop on Optimal Codes and related topics, White Lagoon, Bulgaria (2007), 260 - 266.

50. Zhaodi Xu , Xiaoyi Li, Wanxi Chou, Construction and counting of t+1 Steiner triple, International Conference on Applied Science and Engineering Innovation (ASEI 2015), 2015.

51. Wei Tian , Xiaoyi Li, Wanxi Chou, Different configurations of 25-order structure of Steiner triple systems of counting, International Conference on Applied Science and Engineering Innovation (ASEI 2015), 2015

Цитирания в дисертации в чужбина

T1. **S. Topalova**, Symmetric 2-$(69,17,4)$ designs with automorphisms of order 13, *Journal of Statistical Planning and Inference* **95** (2001), 335 – 339.

52. Kaski P., Algorithms for classification of combinatorial objects, Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, Department of Computer Science and Engineering, Helsinki University of Technology, 2005.

T2. **S. Topalova**, Classification of Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, *Discrete Mathematics* **260** (2003), 275 – 283.

53. Kaski P., Algorithms for classification of combinatorial objects, Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, Department of Computer Science and Engineering, Helsinki University of Technology, 2005.

T2c. **Topalova S.**, Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, Proceedings of the Seventh International Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory, Bansko, Bulgaria (2000), 305-310.

54. Otmani A., Codes Cortex et construction de codes auto-duaux optimaux, THESE pour obtenir le grade de docteur de l'universite de Limoges, discipline : mathematiques et ses applications, Universite de Limoges U.F.R. de sciences et techniques, 2002.

T5. **P. Kaski, P. Östergård, S. Topalova, R. Zlatarski**, Steiner Triple Systems of Order 19 and 21 with Subsystems of Order 7, *Discrete Mathematics* **308** (2008), 2732 – 2741.

55. Gugisch R., Konstruktion von Isomorphieklassen orientierter Matroide, Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften, Universitat Bayreuth, 2005.

56. Degraer J., Isomorph-free exhaustive generation algorithms for association schemes, PhD thesis, Ghent University, Belgium, 2007.

57. Winne J., Software tools for combinatorial algorithms, Ph.D. thesis, Ghent University, 2007.

T6. **Z. Mateva, S. Topalova**, Hadamard 2-(63,31,15) designs invariant under the dihedral group of order 10, *Discrete Mathematics* **309** (6) (2009), 1347 – 1356.

58. Clark D. C., Applications of Finite Geometries to Designs and Codes, Ph. D. thesis, Michigan Technological University, 2011.

T7. **Z. Mateva, S. Topalova**, Line spreads of $PG(5, 2)$, *Journal of Combinatorial Designs* **17** (1) (2009), 90 – 102.

59. Clark D. C., Applications of Finite Geometries to Designs and Codes, Ph. D. thesis, Michigan Technological University, 2011.

T8. **S. Topalova, S. Zhelezova**, 2-spreads and transitive and orthogonal 2-parallelisms of PG(5,2), *Graphs and Combinatorics* **26** (5) (2010), 727 – 735.

60. Silberstein N., Coding Theory and Projective Spaces, Ph. D. thesis, Israel Institute of Technology, Haifa, 2011.

61. Chowdhury A. N., Shadows and Intersections, Ph. D. Thesis, University of California, San Diego, 2012.

Цитирания в дисертации в България

T1. **S. Topalova**, Symmetric $2\text{-}(69, 17, 4)$ designs with automorphisms of order 13, *Journal of Statistical Planning and Inference* **95** (2001), 335 – 339.

62. Матева З., Конфигурации с адамарови дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ТУ Варна, 2011.

T2. **S. Topalova**, Classification of Hadamard matrices of order 44 with automorphisms of order 7, *Discrete Mathematics* **260** (2003), 275 – 283.

63. Буюклиев И., Алгоритмични подходи за изследване на линейни кодове, Дисертация за присъждане научната степен доктор на математическите науки по научна специалност информатика, ИМИ, София, 2008.

64. Матева З., Конфигурации с адамарови дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ТУ Варна, 2011.

T3. **S. Topalova**, STS(21) with Automorphisms of order 3 with 3 fixed points and 7 fixed blocks, *Mathematica Balkanica* **18** (2004), 215 – 220.

65. Железова С., Изследване и класификация на двойно разрешими дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ИМИ, София, 2009.

66. Матева З., Конфигурации с адамарови дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ТУ Варна, 2011.

T4. **V. Fack, S. Topalova, J. Winne, R. Zlatarski**, Enumeration of the doubles of the projective plane of order 4, *Discrete Mathematics* **306** (2006) 2141 – 2151.

67. Матева З., Конфигурации с адамарови дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ТУ Варна, 2011.

T5. **P. Kaski, P. Östergård, S. Topalova, R. Zlatarski**, Steiner Triple Systems of Order 19 and 21 with Subsystems of Order 7, *Discrete Mathematics* **308** (2008), 2732 – 2741.

68. Железова С., Изследване и класификация на двойно разрешими дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ИМИ, София, 2009.

69. Матева З., Конфигурации с адамарови дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ТУ Варна, 2011.

T6. **Z. Mateva, S. Topalova**, Hadamard 2-(63,31,15) designs invariant under the dihedral group of order 10, *Discrete Mathematics* **309** (6) (2009), 1347 – 1356.

70. Буюклиев И., Алгоритмични подходи за изследване на линейни кодове, Дисертация за присъждане научната степен доктор на математическите науки по научна специалност информатика, ИМИ, София, 2008.

T7. **Z. Mateva, S. Topalova**, Line spreads of $PG(5,2)$, *Journal of Combinatorial Designs* **17** (1) (2009), 90 – 102.

71. Железова С., Изследване и класификация на двойно разрешими дизайни, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор по научна специалност информатика, ИМИ, София, 2009.