

5. Кратко описание на най-важните постижения на чл.-кор. Красимир Атанасов

Преди 9 години, в Големия салон на БАН, получавайки диплома си за член-кореспондент, обещах да запазя високия си темп на работа. Сега, участвайки в конкурс за академик, ще се опитам да докажа, че съм изпълнил обещанието си. Действително, от 2012 г. насам бяха публикувани 10 мои монографии – 4 в Springer, 2 в издателство на Полската академия на науките (всичките самостоятелни), 3 в Издателството на БАН и 1 в Nova Science (САЩ), 284 мои статии и доклади, от които 40 – в списания и с импакт-фактор и 88 в списания само с SJR-ранг. От тях, за участие в конкурса давам само част от публикациите, които са най-силно свързани с областта на **изкуствения интелект** и са предимно **самостоятелни**.

Съгласно Web of Science имам 12095 (7750 от 2013 г. насам) цитирания (без самоцитирания) с H-index 21, съгласно Scopus стойностите са: 14 566 (8865 от 2013 г. насам) и H-index 21, а според Google Scholar стойностите са 30 970 (16 157 от 2013 г. насам) и H-index 48. Разполагам с точни данни за 19 176 цитата, от които 12 450 за периода 2012 – 2021 г.. В много от цитиращите ме статии, обектите, дефинирани от мен, са наречени на мое име, а в няколко статии се отбелязва мястото на предложените от мен понятия сред резултатите на другите автори.

Благодарение на тези високи наукометрични показатели, през 2020 г. получих **Голямата награда за изключителен индивидуален принос за оформяне на H-индекса на БАН**, а в класацията на учените по света на Станфордския университет бях класиран на **8700 място**, като само аз и чл.-кор. Константин Хаджииванов сме не само сред първите 2 процента, но и **сред първите 2 промила на учените в света**. В същата класация по критерий „изкуствен интелект и обработка на изображения“ съм класиран на **158-то място** сред учените в света и съм **единственият** от българите с българска афилиация по този критерий, както и на първо място от българите по този критерий (като всички други са с чужди афилиации). Освен за цялостно творчество, в тази класация има подреждане на учените и в рамките на 2019 г. Там съм на **942 място в света**, т.е. **в първите 2 базови точки на учените в света**, като отново съм първи сред българските учени, а в групата „изкуствен интелект и обработка на изображения“ – на **57 място**.

Преди почти 40 години – през 1982, 1983 и 1984 г. в няколко (**самостоятелни**) статии предложих дефинициите на три нови понятия „**Обобщена мрежа**“ (ОМ), „**Интуиционистки размито множество**“ (ИРМ) и „**Индексирана матрица**“ (ИМ), а през следващите години в над 1000 публикации и в 34 монографии положих основите на техните теории и намерих техни приложения в различни области на науката и практиката, в последния случай обикновено съвместно с други специалисти.

През последните 30 години тези мои идеи предизвикаха интереса на учени от над 50 страни по света. Тези колеги са автори на над 10 000 публикации върху теорията и/или приложенията на дефинираните от мен понятия. Сред тези специалисти има немалко започнали научната си кариера в областите, дефинирани от мен, защитавайки дисертационните си трудове. Основните научни центрове, където се работи по ОМ и ИРМ и са защитените дисертации, за които имам данни, са

- **Австралия** (4 научни центъра, защитени 5 дисертации, бях рецензент на 3),
- **Белгия** (1 център, защитени 6 дисертации, бях рецензент на 1),
- **Великобритания** (4 научни центъра, защитени 4 дисертации, бях рецензент на 1),
- **Германия** (2 научни центъра, защитени 5 дисертации, бях ръководител на 1),
- **Гърция** (2 научни центъра, защитени 2 дисертации),
- **Индия** (8 научни центъра, защитени над 40 дисертации, бях рецензент на 17),
- **Испания** (3 научни центъра, защитени 7 дисертации, бях рецензент на 2),
- **Италия** (2 научни центъра),
- **Китай** (11 научни центъра),
- **Полша** (5 научни центъра, защитени 8 дисертации, бях рецензент на 2),
- **Португалия** (2 научни центъра, защитени 2 дисертации),
- **Румъния** (2 научни центъра, защитени 2 дисертации),
- **Русия** (3 научни центъра),
- **Словакия** (3 научни центъра, защитени 8 дисертации, бях рецензент на 1),
- **Турция** (3 научни центъра, защитени 8 дисертации),
- **САЩ** (6 научни центъра, защитени 6 дисертации),
- **Южна Корея** (2 научни центъра).

Към посочените в това Приложение повече от 100 защитени дисертации в чужбина (за които имам информация) трябва да се добавят и около 50 в България, които съдържат елементи от поне една от теориите. Освен това, у нас са защитени и 8 дисертационни труда за получаване на научната степен „доктор на науките“, два от тях – от полски, един – от английски граждани. Всички тези колеги, работещи по дефинираните от мен понятия, образуват общност, с членовете на която се старая да поддържам постоянни научни контакти.

Трите обекта на моите изследвания са компоненти от инструментариума на изкуствения интелект и неговите днешни форми – интелигентни системи и Data Mining. През 2014 г., съвместно със съавтори, предложих още един обект, който също вече започна да се налага като компонент от този инструментариум – **Интеркритериалния Анализ (ИКА)**.

1. Изкуствен интелект и интелигентни системи (ИИ и ИС)

Още в края на 1970-те години редица специалисти по **Изкуствен Интелект (ИИ)** посочиха, че мрежите на Петри и размитите множества са основни компоненти от инструментариума на ИИ. Затова съвсем естествено ОМ и ИРМ също се оказаха сред средствата за описание и оценка на процесите от ИИ. **Интелигентните Системи (ИС)**, като следващ етап в развитието на ИИ, запазиха и наложиха развитие на всички тези инструменти. Така специалистите, работещи в областта на ИС и използващи ИРМ и ОМ, узаконяват **моите претенции, че съм създал полезни за ИС математически средства**. Самият аз достигнах до идеята за тяхната полза за ИС (естествено, тогава се говореше само за ИИ) през 1991 г. Тази идея детайлно е описана в [27], където е показано, че ОМ са удобно средство за описание на всички *Data Mining*-процеси (особено тези, които могат да протичат паралелно), и в [28], където е показано, че ИРМ са удобно средство за оценка на *Data Mining*-параметрите. Разширявайки резултатите от двете статии, написах монография [5]. В нея е показано как двата апарата могат да се приложат в следните *Data Mining*-области: експертни системи и бази от знания, в т.ч. OLAP-куб, невронни мрежи, системи за вземане на решения и оптимизация, процеси на машинно и електронно обучение, оптимизационен алгоритъм по метода на мравките, генетичните алгоритми и други [16, 29].

През последните години стана ясно, че апаратите на ИМ и на ИКА също добре се вписват в инструментариума на ИИ и те също са включени в [5], а теорията и някои от приложенията на ИИ са описани в [2].

2. Обобщени мрежи (ОМ)

През 1982 г. дефинирах понятието *Обобщена Мрежа* като разширение на мрежите на Петри. През следващите десетина години подготвих серия от около 100 статии, голяма част от които бяха публикувани в международното списание *AMSE Press* (отпечатвано във Франция). В рамките на теорията на ОМ бяха създадени *алгебричен, топологичен, логически, операторен, програмен и методологичен аспекти*, отразени в монографиите, с които участвах в конкурса за член-кореспондент и затова не ги прилагам тук. Ще отбележа, че към 1982 г. в теорията на мрежите на Петри все още нямаше почти никакви изследвания в нито един от тези аспекти. Например, в рамките на алгебричния аспект на теорията на мрежите на Петри, бяха дефинирани операции над преходите на мрежа, но не и над цели мрежи, нещо, което аз предложих за пръв път. Имам претенции за първенство при разработване на топологичния (съвместно с доц. Евгени Димитров от Хумболдтовия университет в Берлин) и логическия аспекти на теорията. Първите стъпки към операторен аспект в теорията на мрежите на Петри са направени през 1975 г. от проф. Rudiger Valk, който предлага възможност една дъга в графа на мрежата на Петри временно да престане да съществува. В рамките на операторния аспект, разработен от мен, са дефинирани 6 вида оператори, които могат да модифицират структурата и/или поведението на дадена ОМ по желан от потребителя начин, т.е., това е значително обобщение на идеята на R. Valk. През последните 38 години дадох строги доказателства, че функционирането и резултатите от работата на всяка от мрежите от различните видове мрежи на Петри, а също така на различните видове машини на Тюринг (с една или много ленти, с една или много глави), алгоритъма на Колмогоров, крайните и клетъчните автомати, както и автоматите на Мили и Мур, са описуеми чрез ОМ. Описах конкретни ОМ, които са универсални за всяко едно от множествата на тези обекти.

Още от времето на дефинирането на ОМ намерих и техни реални приложения. Най-общо, те могат да се класифицират като *теоретични и практически приложения*. Приложенията на ОМ в теоретичен план са в следните области:

- **ИИ и ИС** – част от резултатите ми са описани в [5] и посочени в т.1;
- **теория на системите** – в серия статии и монография, с която участвах в конкурса за член-кореспондент, показвах, че функционирането и резултатите от работата на всяка абстрактна система в смисъла на Месарович и Такахара може да се опише чрез ОМ.

Практическите приложения на ОМ са в следните области:

- **медицина** – разработени са около 300 модела на процеси на поставяне на диагнози на заболявания от областта на неврологията, около 250 модела в областта на общата и вътрешна медицина, както и серия модели от областта на нефрологията и други. Резултатите са събрани в серия от над 100 статии и 5 монографии с мое участие, една от които – тритомна. Специално място сред ОМ-моделите от областта на медицината заемат тези на органи и системи в човешкото тяло, които започнах да разработвам с д-р Йосиф Шоршич (1939-2002) и проф. Anthony Shannon. Те са събрани в монография. Съвместно с моя докторант д-р Николай Андреев разработихме ОМ-модели на протичащи в Националния център и в регионалните центрове по трансфузионна хематология. Бе изследвана възможността да се създаде Балкански център по

трансфузионна хематология, както и да се подобри организацията на съществуващите в страната центрове и комуникацията между тях;

химия – през 1991-1992 г. работих по договор с Нефтохимически комбинат, Бургас. В рамките на договора бе изготвен и внедрен програмен продукт (вж. точка 7.1). През последните години работя с д-р Дичо Стратиев, гл. инженер на Лукойл Нефтохим, Бургас. Прилагайки разработени от мен методи (ОМ, ИРМ и интеркритериален анализ) при моделиране и оценка на процеси в комбината. Както е посочено в точка 7.1, в резултат от работата ни е постигнат икономически ефект от 15 000 000 лв.;

- физика и астрономия – съвместно с проф. Боян Джаков и проф. Димитър Съсьлов (Харвард, САЩ) разработих ОМ-моделите от областта на лазерните технологии и динамиката на звездните купове,
- телекомуникации – съвместно с български и немски специалисти разработих ОМ-моделите на телефонна централа и на специализиран сървър за нуждите на T-Systems Nova – Deutsche Telekom;
- компютърни архитектури – участвах в разработването на ОМ-моделите на отделни елементи от компютърни архитектури и на процесите на оценка на интегрални схеми за нуждите на тестовия отдел на фирма (вж. точка 7.2);
- икономика – съвместно със специалист в областта на икономиката, участвах в създаването на ОМ-моделите на олигополен и монополен пазар,
- транспорт – съвместно със специалисти от областта на транспорта разработих ОМ-моделите на камионен парк и на мрежа от бюра за продажби на автобусни билети. Заедно с моя докторант Иван Вълков разработих ОМ-моделите на транспортната мрежа на Бургас преди и след реорганизацията ѝ.
- административни дейности – създадени и публикувани са в серия статии и 3 монографии ОМ-моделите на процеси, протичащи в абстрактен университет и на процеси, протичащи в болнично заведение и други.

През последните 30 години интересът към ОМ започна да нараства. Най-активно обобщените мрежи се използват за моделиране в Австралия, където проф. Anthony Shannon има голям брой защитили магистри и докторанти с трудове, свързани най-вече с ОМ-моделите в медицината (като на трима от докторантите му съм бил рецензент). Апаратът на ОМ се използва и от специалисти от Великобритания, Германия, Испания, Италия, Полша, Португалия, САЩ, Словакия, Хонг Конг, Южна Корея и други страни. Ще отбележа, че през 2003 и през 2009 г. Maciej Krawczak от Института за системни изследвания при Полската академия на науките, а след това и Panagiotis Chountas от Уестминстерския университет в Лондон защитиха в България дисертационни трудове за получаване на научната степен „Доктор на техническите науки“. Първият от тях е посветен на обобщеномрежови представимости на един клас невронни мрежи, дефинирани от проф. Krawczak, а вторият – на специални видове складове от данни, функционирането и резултатите от работата на които са описани чрез ОМ. През последните 23 години в България са защитени над 50 дисертационни труда за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“, свързани с ОМ, на 35 от които съм бил ръководител или консултант, един от които поляк, защитил в България, а друг мой докторант защити в Дрезденския университет на тема, свързана с представимостта на UML-диаграми чрез ОМ. Списъка с имената и темите на дисертационните им трудове е даден в точка 9.

3. Интуиционистки размити множества (ИРМ)

Втората област, в която работя активно и която получи значително признание, е областта на *интуиционистките размити множества*, които дефинирах през 1983 г. От времето на Аристотел до 1965 г. когато Lotfi Zadeh предлага размитите множества, всеки обект се оценява чрез **една оценка** – число или интервал (последното е идея, предложена от Zdzisław Pawlak), докато ИРМ са първият математически обект, в който се използват **едновременно две независими оценки** – степените на *принадлежност към множество* или на *вярност* и на *непринадлежност към множество* или на *невярност*, които пораждат и степента на *неопределеност*, която ги допълва до 1. През годините след дефинирането на ИРМ съм работил над изследването на техните свойства, дефинирането над ИРМ на различни операции, релации и оператори и върху намиране на различни техни приложения. През 1999 г. в издателство *Springer* излезе от печат първата ми монография по ИРМ, в която са събрани по-важните резултати, публикувани преди 1999 г. (с която участвах в конкурса за член кореспондент и затова не прилагам тук), а през 2012 г. бе публикувано и продължението ѝ [1], съдържащо новите резултати от теорията и някои от приложенията ѝ. В монография, подготвена съвместно с бившите ми докторанти доц. Радослав Цветков и гл. ас. Петър Василев се съдържат изследванията ни по норми, метрики и интегрални, дефинирани над ИРМ. Докато операциите и релациите, дефинирани над ИРМ, в основни линии са аналогични на тези, дефинирани над стандартните размити множества, то операторите, които дефинирах над ИРМ, нямат аналози. Те биват три вида: *модални, топологични и оператори на ниво*. В серия от статии, обединени в първата ми монография в *Springer*, в [1] и в [6 - 8, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 28 - 30] изследвах свойствата им. Освен това, ИРМ бяха разширени от мен до ИРМ с интервални стойности (съвместно с доц. Георги Гаргов), интуиционистки *L*-размити множества, ИРМ върху различни универсуми, ИРМ от втори тип и по-общо – от *n*-ти тип, темпорални ИРМ и по-общо – многомерни ИРМ (последните – съвместно с проф. Janusz Kacprzyk и проф. Eulalia Szmidt от Полша). В [4] е дадено цялостно изложение на теорията на ИРМ с интервални стойности, а в [14] е предложено ново ИРМ-разширение, наречено *кръгови ИРМ*. Днес има множество други разширения, предложени от колеги от Белгия, Индия, Китай, Турция и други страни. Съвместно с Георги Гаргов разработих интуиционистки размитото предикатно смятане, а самостоятелно – интуиционистки размитата съждителна, модална и темпорална логики. Пълното изложение на получените до момента резултати в тази област са включени в монографията ми в *Springer* [3]. В тази монография и в [2] се дискутират математическите средства, използвани досега в теорията на ИРМ, както и възможността за развитие на някои математически области (например, модалната логика, теорията на графите), на базата на идеи от ИРМ.

Интуиционистки размитите множества намериха различни приложения в:

- **ИИ и ИС** – резултатите от множество мои статии (в т.ч. [28]) и доклади са събрани в монография [5], където е показано, че апаратът на интуиционистката размитост е удобно средство за оценка на параметрите на Data Mining процеси и обекти.
- **програмирането** – преди 30 години бе предложен интуиционистки размит Пролог, а през последните десетина години работя над идеята за нов логически език за програмиране, базиращ се на интуиционистката размитост и индексирани матрици.
- **медицината** – в серия статии и някои от монографиите ми, свързани с моделиране в медицината бе посочено, че интуиционистки размитите оценки дават по-точна методология за оценяване на състоянието на пациентите,

- **химията** – бе показано, че оценките на параметрите в моделите на химически процеси са по-адекватни и затова и по-информативни и полезни, когато се изразяват чрез интуиционистки размити стойности,
- **икономиката** – моделите на монополен и олигополен пазари с интуиционистки размити стойности на параметрите също се оказаха много по-информативни.

Във всички тези приложения апаратът на ИРМ дава възможност да се работи с оценки, по-детайлни от съществуващите.

Интересът към ИРМ по света започна със серия статии на проф. Toader Buchaescu (Румъния) от 1988 г. През следващите години в Полша започнаха да работят две групи от специалисти по размити множества. Под ръководството на проф. Tadeusz Gerstenkorn през 1992 г. бе защитена първата дисертация по ИРМ от Jacek Mańko, а в Института за системни изследвания при Полската академия на науките проф. Janusz Kacprzyk, академик на Полската АН, чуждестранен академик на БАН и бивш президент на Световната асоциация по размити множества (IFSA), има екип от специалисти, които са автори на над 150 публикации по ИРМ. Втората дисертация по ИРМ бе защитена от Humberto Bustince в Испания през 1994 г. след като той бе при мен на едномесечен докторантски курс. През последните 15-20 години се появиха множество резултати на специалисти от Австрия, Австралия, Алжир, Аржентина, Белгия, Бразилия, Великобритания, Венецуела, Германия, Гърция, Дания, Египет, Еквадор, Индия, Ирак, Иран, Испания, Италия, Йемен, Йордания, Канада, Китай, Колумбия, Куба, Македония, Малайзия, Мароко, Мексико, Нигерия, Нова Зеландия, Пакистан, Португалия, Румъния, Русия, САЩ, Саудитска Арабия, Сингапур, Словакия, Сърбия, Тайван, Тайланд, Тунис, Турция, Унгария, Финландия, Франция, Холандия, Хонг Конг, Чехия, Чили, Южна Африка, Южна Корея, Япония, т.е., общо, около 100 научни центъра в повече от 50 страни. Всички те от една страна развиха в значителна степен теорията на ИРМ, а от друга – намериха голям брой нейни приложения. В точка 14.6 (на компакт диска) са посочени 100 статии, в които ИРМ са кръстени на мое име. В точка 10 са дадени извадки от Web of Science по зададена дума „fuzzy“ и по зададени думи „fuzzy set“. Вижда се, че в първия случай моята статия от 1986 г. е на 4-то място по цитиране от около 120 000 статии и на първо от всички статии в списание “Fuzzy Sets and Systems” (с Q1), което е флагман в областта на размитите множества, а във втория случай същата статия е на 6-то място по цитиране от около 300 000 статии и отново на първо място в списание “Fuzzy Sets and Systems”.

Ще отбележа, че през 2000 г. полската колежка Eulalia Szmidt защити в България дисертационен труд за получаване на научната степен „Доктор на техническите науки“ пред Специализирания научен съвет по електронна и компютърна техника. Аз имам 19 защитили докторанти с дисертации свързани с ИРМ, 6 от които – изцяло посветени на теорията и приложенията на ИРМ.

От 1997 г. в България се провежда ежегодна международна конференция по ИРМ, от 2001 г. в Полша, от 2006 г. – в Словакия (там – уъркшоп), от 2014 г. – в Турция, от 2016 г. – в Мароко, а в началото на 2018 г. се проведе и първата индийска конференция по ИРМ. През последните 18 години в Белгия, Великобритания, Германия, Индия, Италия, Испания, Китай, Мексико, Португалия, САЩ, Турция, Франция, Южна Корея и други страни се проведоха конференции със специални сесии по ИРМ, на много от които съм изнасял доклади по покана.

4. Индексирани матрици (ИМ)

За нуждите на описанието на ОМ, през 1984 г. дефинирах разширение на понятието матрица, на която редовете и стълбовете са индексирани, така че резултатите от операциите над елементите на матриците да зависят не от местата в матриците, а от техните индекси. През 2013 г. написах монография [2], в която събрах основните си резултати върху тези матрици, както и някои техни приложения – в теория на числата, теория на графите, изкуствения интелект, когнитивните карти и други. Идеята за двумерните ИМ бе развита и за случаите на тримерни [2] и n -мерни ИМ [24], както и за случая, когато някои от елементите на дадена ИМ са други ИМ [22] или функции [2]. ИМ са обобщени и до *интуиционистки размити ИМ* [2, 9 - 11]. Над ИМ са дефинирани различни оператори [2], в т.ч. – агрегиращи [19]. През последните години, съвместно с мои докторанти установихме, че ИМ са удобно средство за описание на OLAP-куб и операциите над него. Нещо повече, установихме, че голяма част от операциите, релациите и операторите, вече дефинирани над ИМ, могат да се реализират над OLAP-кубове, които са важен компонент от областта на Data Mining. Сега подготвяме монография на тема ИМ и Data Warehouse. ИМ се оказаха удобно средство както за описание на решението на транспортната задача, така и за генериране на нейни модификации и разширения [26].

5. Интеркритериален анализ (ИКА)

Идеята за този анализ се появи през 2014 г. в съвместна публикация с гл. ас д-р Деян Мавров и доц. д-р Вася Атанасова. Интеркритериалният Анализ (ИКА) е модификация на корелационните анализи на Пирсън, Спирмън и Кендал, при която вместо с числови стойности се работи с релациите между тези стойности (кратко описание е дадено в [2]). Интересно е да се отбележи, че когато се установят разлики между стойностите, получени от ИКА и от някой от корелационните анализи, обикновено причината се дължи на грешки в данните. Следователно, едновременно използване на ИКА и някой от корелационните анализи може да се използва като верификатор на данни. От 2015 г. съм ръководител на два проект и участник в още един проект на ФНИ, посветени на теорията и различни приложения на ИКА (биология и медицина, екология, икономика, химията, фармацията и други). Прилагането на апарата на ОМ и ИКА в нефтопреработвателната индустрия даде икономически ефект от 12 000 000 лв, посочен от главният инженер на **Лукойл Нефтохим, Бургас** (вж. точки 7.1 и 7.5), а в медицината статия [25] предизвика интерес.

6. Планове за бъдеща работа

До края на годината предстои предаване за печат в *Springer* на монографията “*Index Matrices and Data Warehouses*” по която работя от 6 години, а през следващите години – на монографията “*Intuitionistic Fuzzy Topology*”, над която работя от 2002 г.

През следващите години планирам да подготвя серия статии и монографии на тема ИРМ от n -ти тип и нов език за програмиране, разширяващ интуиционистки размития Пролог. Обещаната в предишното ми участие в конкурс за академик през 2018 г. монография „*Arithmetic Functions*“ (съвместно с проф. Jozsef Sandor, Румъния) вече е публикувана в издателство *Nova Science* (САЩ). Сега планирам да започна работа над още една книга по теория на числата „Фибоначи-подобни редици“ за която имам покана от издателство *World Scientific*, като продължение на монографията ми на тази тема от 2002 г.