

Справка на оригиналните научни приноси

на доц. дн Младен Светославов Савов, избрани за участие в обявения от Софийски университет „Св. Климент Охридски“, Факултет по математика и информатика конкурс за заемане на академична длъжност „професор“ по професионално направление 4.5. Математика, специалност „Вероятности и статистика“, публикуван в ДВ, бр. 21/13.03.2020г. и които не повтарят представените за придобиване на образователната и на научна степен „доктор“ и на научната степен „доктор на науките“, както и за заемане на академичната длъжност „доцент“; и не са подавани в НАЦИД.

Авторската справка съдържа информация за следните научни приноси, на които се базира кандидатурата:

- I. Научни публикации
- II. Дисертация за придобиване на степента доктор на науките
- III. Цитируемост
- IV. Конференции, награди и международни проекти

I. Научни публикации

Общият брой статии, представен за конкурса е 14, от които 13 са публикувани и 1 е приета за печат. Всички от тях са с импакт фактор с разпределение: 4 в Q1, 6 в Q2, 3 в Q3 и 1 в Q4.

Темите на публикациите могат да се разделят в следните направления:

- A. Класически свойства на процеси на Леви;
- B. Дифузии, аномални дифузии и стохастични процеси с ограничения (*conditioned stochastic processes*);
- V. Спектрална теория на Марковски полугрупи и приложения на експоненциалните функционали на процеси на Леви;
- Г. Някои приложения на разклоняващи и сходни процеси;
- Д. Приноси във финансовата математика и вероятностната комбинаторика.

В документа, съдържащ резюмета/обзор на научните публикации, включително и тези, непредставени за конкурса, е направен по-детайлен анализ на всяка отделна публикация. Тук ще бъде очертан приносът на кандидата в развитието на съответните области, като в духа на тези области приносите на съавторите се счита равен, ако са подредени в лексикографски ред.

A. Класически свойства на процеси на Леви (4 публикации) - [1,11-13]

Кандидатът е придобил образователна и научна степен „доктор“ с научен ръководител проф. Дони (Манчестър) през 2008 и резултатите в това направление отразяват темите и техниките, които са усвоени през този начален етап на научно израстване. В този период процесите на Леви достигат нов тласък в развитието си и теорията им придобива по-завършен вид.

Статия [13] е естествен завършек на редица изследвания (общо четири статии) върху поведението на процесите на Леви около 0 (началното време) и се занимава с т.нар. закони на Чънг за повторния логаритъм за процеси на Леви около 0. Тези закони изучават минималния ръст на текущия максимум на процес на Леви, като определят детерминистична функция, която за малки времена дава точна долна граница на ръста на максималния процес. В [13] предлагаме рецепта как тази детерминистична функция може да се конструира за голям клас от процеси на Леви само благодарение на мярката на Леви. Предимството на тази работа е, че проверката дали за даден процес е в сила закона на Чънг се извършва с аналитични количества (входни данни), докато предходни работи разчитат на практически трудноизчислими количества.

Статия [12] доказва за почти всички процеси на Леви, че вероятността процес на Леви да остане t единици от време в краен интервал намалява експоненциално по t с нарастването на t , с грешка на приближението от експоненциален ред. Резултатът е подобрение на работа на проф. Бертоан

(Цюрих), както като клас процеси, така и като точност на оценката на грешката на апроксимацията. Това е постигнато чрез привнасянето на спектралната теория на компактни Марковски полугрупи в областта на процесите на Леви. Изглежда, че асоциацията на тази теория с изучаването на дифузиите я беше оставила извън полезрението на специалистите по процеси на Леви.

Публикация [11] се занимава с класическия въпрос за това каква е асимптотиката на вероятността на процес на Леви да остане над/под нарастваща/намаляваща крива за период от време, клонящ към безкрайност. За процеси на Леви, попадащи в региона на привличане на стабилните разпределения, ние разширяваме кривите, за които можем да оценим гореспоменатата асимптотика и тя на логаритмичната скала на времето съвпада с тази, когато кривата е константата единица. Новата идея е да се използва смяна на мярката за адитивни процеси, така че чрез сложна итеративна процедура задачата за крива f да се сведе до константната граница/крива. Впоследствие наши колеги намериха и по-мощна методология и подобриха значително нашите резултати.

Статия [1] дава общо решение на въпроса: можем ли да определим с аналитичен критерий (детерминистичен интеграл) дали за процес на Леви $(\xi_s)_{s \geq 0}$ и функция f е вярно, че $\int_0^\infty f(x + \xi_s) ds < \infty$ почти сигурно. Такива въпроси възникват в различни изследвания и в литературата имаше частични резултати в тази насока. В [11] ние предложихме универсален, но често нетривиален за изчисление критерий за решението на тази задача за всички преходни процеси на Леви и практически всички измерими, неотрицателни функции f . Много интересното е, че методите ни са базирани на нетривиално обобщение на методология, разработена от Бати за Брауновото движение, което е възможно, защото Марковските моменти, свързани с нарастването на $\int_0^t f(x + \xi_s) ds < \infty$ са *огласими* и поради това ξ е почти сигурно непрекъсната в тях.

Б. Дифузии, аномални дифузии и стохастични процеси с ограничения (*conditioned stochastic processes*) (4 публикации) - [2,8,9,14]

Това направление събира някои приноси относно стохастични процеси, които дори понякога да са явно свързани с процеси на Леви, изискват познаването на теория и техника от други области.

Аномалните дифузии отговарят на огромните и разнообразни нужди за моделирането на процеси, при които не се наблюдава типичното дифузионно поведение и поради това областта изживява истински бум в развитието си. Статия [2] разглежда клас от такива процеси, които най-общо описват движение на частици в среда с капани (например порести среди). Да допуснем, че една частица, заради естествени закони, би следвала Марковски процес в своето движение, ако се движеше в среда без препятствия. Капани по нейния път я задържат, обаче, за някакъв интервал от време в зависимост от силата на препятствието, след което тя продължава своя естествен ход. Моделирането на такова движение се прави чрез $X_t = M(L(t))$, където M е Марковският процес и $L(t)$ е нарастващ процес с константни нива, описващи задържането от капаните. В [2] ние с помощта на общата теория на Марковските процеси, показваме, че при общи допускания, очакванията $q_t = \mathbb{E}[u(X_t)]$ решават общи интегрално-диференциални уравнения с пространствена зависимост в техните ядра (фактът, че задържането може да варира от капан до капан). За случая, когато M е Брауново движение и L е асоцииран с дробна дифузия с вариращ параметър, отразяващ различната сила на капаните, изследваме колко силни трябва да са капаните в даден район, така че процесът с доминираща вероятност да бъде наблюдаван там. Последното е известно като феномен на агрегацията, защото Брауновото движение се лута из пространството, но при силни препятствия се задържа около тях. За доказателствата използваме ключово закони за повторните логаритми и теорията на Крейн за струните.

Брауново движение/дифузия в среда с различен потенциал е подробно изследвано в научната литература. Когато потенциалът е съсредоточен в точки, се говори за движение в среда с капани. Най-общо това се моделира с Поасонов точков процес (облак), който независимо от дифузията поставя капаните и при попадане в някоя от тях движението се преустановява. Изследва се поведението в граница на процеса с условието да не срещне капан до момент t , когато $t \rightarrow \infty$. В случая на Брауново движение с дрефт (h) и Поасонов облак от препятствия (с интензитет ν) поведението на условния процес беше добре разбрано в размерност по-голяма от 2 и в размерност 1, когато $|h| \neq \nu$. Случаят $|h| = \nu$ е критичен и най-вероятно за него нямаше решение, защото се оказва, че едномерният критичен случай има фундаментално по-различно поведение от критичните случаи в

по-големи размерности. В статия [8] показваме, че в размерност 1 поведението в критичния случай е суб-балистично (граничният процес нараства дифузионно), докато в литературата е известно, че в размерност над 1 поведението е балистично (нараства линейно с времето). Техниката ни е специфична за едномерно Брауново движение и използва спектрални разлагания и асимптотичен анализ.

Статия [9] доказва и подобрява хипотези на проф. Бенджамини (Технион) и проф. Берестики (Кеймбридж) относно граничното поведение на едномерно Брауново движение с ограничено завръщане в нулата. Проблемът е следният: ако е дадена ненамаляваща детерминистична функция f , да се определи граничното поведение, ако има такова, на Брауновото движение, за което локалното време в нулата до момента t е по-малко от f и t се сходя към безкрайност. Изискването за ограничено завръщане в нулата на пръв поглед унищожават Марковското свойство на Брауновото движение, защото разпределението на неговата позиция в даден момент зависи от цялата предистория. В [9] ние показахме, че принципът на единия голям скок, т.е. наличието на една много дълга спрямо другите екскурзия отвъд нулата на движението, е водещ в поведението на граничния процес. Така ефектът на дългата памет (цялата предистория) се оказва илюзорен и ние доказахме далеч по-точни резултати от поставените хипотези.

Статия [14] разглежда поведението на конкретно стохастично диференциално уравнение, което възниква като модел на производство на филтри при наслагването на влакна върху повърхност чрез турбулентен поток. Целта е да се докаже, че процесът е ергодичен с геометрична скорост на сходимост, така показвайки, че филтри с малко око ще бъдат формирани относително бързо. Това е и достижението на [14], като основният метод е намирането на функция на Ляпунов за конкретното уравнение. Статията е част от серията публикации в литературата, които изучават все по-точно поведението на тази и сходни системи.

В. Спектрална теория на Марковски полугрупи и приложения на експоненциалните функционали на процеси на Леви (2 публикации) - [5,7]

Статии [5,7] са свързани с направление, което разработваме от десетина години с Пати (Корнел), и в което имаме над 7 публикации. Направлението е теорията на несамоспрегнатите Марковски полугрупи, които макар и по-обща и по-естествени от симетричните полугрупи, са по-малко изучени поради загубата на симетрия. Основната ни идея е да изследваме преплитането на несамоспрегнати полугрупи със симетрични полугрупи чрез необратим оператор. Конкретно, когато се изучават полугрупите, свързани със себеподобни процеси, се появява нуждата от разработването на теорията на експоненциалните функционали на процеси на Леви, свойствата на които кодират основните характеристики на тези полугрупи.

Статия [7] дискутира какви свойства са характерни за Марковски полугрупи, които се преплитат, т.е. $P_t \Lambda = \Lambda Q_t$. По-точно, ако имаме регулярна точка, при достигането на която Марковските процеси, X, Y , свързани с P_t, Q_t се убиват и след това бъдат продължени в смисъл на Ито, то ние доказваме, че локалните времена на X, Y в регулярната точка съвпадат по разпределение. Нещо повече, преплитането е валидно за кое да е продължение в смисъл на Ито. Добър пример е движението на частица с граница от тип на Дирихле (поглъщаща), от тип на фон Нойман (отразяваща), от тип слепване и прочее. В случая, когато Q е квазидифузия, показваме, че спектралното разлагане на Q се прехвърля чрез преплитане към такова за P . Прилагаме и примери от себеподобните Марковски процеси, при които разработките ни по експоненциални функционали са ключови.

В моделирането на различни системи чрез случайни процеси, често се интересуваме до поведението им до конкретен момент. Например, при популационните модели такъв момент е времето на изчезване. Разбирането на този случаен момент е от ключово значение. В литературата има много изследвания на моменти на изчезване (достигане на ниво 0), когато стохастичният процес е Марковски. В статия [5] ние предлагаме клас от себеподобни стохастични процеси, които не са Марковски и за които добиваме пълна информация за трансформацията на Мелин на тяхното време на изчезване, а оттам и много свойства на плътностите на времената на изчезване като асимптотика, гладкост и т.н. Статия [5] използва пълната сила на теорията на експоненциалните функционали на процеси на Леви, която разработихме с Пати (Корнел). Така времената на изчезване за по-широк клас от процеси могат да бъдат изследвани детайлно.

Г. Някои приложения на разклоняващи и сходни процеси (2 публикации) - [3,10]

Статия [3] изследва свойствата на метода на частицата за приближаването на количества, свързани с решението на уравнението на Вигнер от квантовата механика. Методите на частиците се използват широко в Монте-Карло симулациите, като често те превъзхождат детерминистичните. Идеята е количествата на дадено уравнение да се представят като безкраен ред, чиито членове имат вероятностна интерпретация, а именно като очакването на еволюцията на дадена частица, която търпи случайна промяна, зависеща от параметрите и характера на самото уравнение. В конкретния модел на Вигнер n -тия член на безкрайния ред отразява очакваната стойност на частицата в момента от интерес τ , ако той се случва между n -тата и $n + 1$ -та случайна промяна на частицата. По-точно, частицата се движи линейно в пространството, като наклонът зависи от нейното вълново число и промяна на последното настъпва в случаен момент от време и стойност, определени от потенциала на системата. В [3] се намира горна граница за броя на членовете на безкрайния ред, които трябва да приближим с Монте-Карло, така че апроксимацията да е добра. Оказва се, че при много потенциали не могат да се пренебрегнат огромно количество членове и методът е нестабилен дори при много малки τ . Това е първото теоретично обяснение на иначе наблюдаваната нестабилност на този метод. Нашата техника разчита на вероятностни оценки на поведението на стохастичния процес зад метода Монте-Карло и подходящо влагане на проблема в конкретно Хилбертово пространство.

В статия [10] разглеждаме общ модел на популация с раждане и умиране, в който се отчита фенотипа, от който зависят мутациите, раждането, умирането и конкуренцията между индивидите. Процесът се представя като точков процес в пространството на фенотипите и се изследва за голям брой индивиди в началната популация. Има установен еквивалент на силния закон за големите числа за еволюцията на популацията. В статия [10] ние допълваме тази закономерност, като извеждаме и централна гранична теорема, което е новост за толкова общ процес. Недостатък е, че нашата сходимост е в пространството на разпределенията на Шварц, докато законът за големите числа е в пространството на мерките.

Д. Приноси във финансовата математика и вероятностната комбинаторика (2 публикации) - [4,6]

Нека $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$. В статия [4] разглеждаме равномерната вероятностна мярка върху множеството от всички разбивания на $[n]$, т.е. всевъзможни представяния на $[n]$ като обединение на непресичащи се подмножества. В литературата са разгледани различни статистики, свързани с тази мярка. Ние работим върху максималната мултипликативност, т.е. максималният брой подмножества с еднаква размерност във всяко представяне на $[n]$. Добиваме резултат от тип централна гранична теорема, който показва типичната максимална мултипликативност при $n \rightarrow \infty$. Важно е да се отбележи, че централна гранична теорема не е вярна върху естествените числа, а нейната валидност е в сила върху подредици с конкретни свойства. Ако вземем $W(n)$, стойността на функцията на Ламбер и означим $f_n = \lfloor W(n) \rfloor$, то поведението на максималната мултипликативност зависи от $v_n = \max\{W(n) - f(n), f(n) + 1 - W(n)\}$. По-точно, ако $\lim_{k \rightarrow \infty} kv_{n_k} \sqrt{n_k} / \log^{7/4}(n_k) = (2\pi)^{1/4} u \in [0, \infty]$, то максималната мултипликативност, подходящо нормирана и скалирана, се сходя по разпределение към $\max\{Z_1, Z_2 - u\}$, където Z_1, Z_2 са стандартни нормални и независими случайни величини.

Целта статия [6] е да се представят две различни схеми за получаването на частни диференциални уравнения (ЧДУ) за цената на т.нар. *дефолтни деривати*. В първата схема цената на актива е зададена като решение на стохастично диференциално уравнение (СДУ), спряно в случайно време. Втората изследва ефекта на добавянето на процес със скокове, предполагайки, че времето за спиране е моментът на пристигане на първия скок. Ние изследваме степента на загуба, която представлява загубата на актива при случай на *дефолт*. И при двете схеми ние изучаваме различни допускания и зависимости между актива, времето на спиране и степента на загуба. Разискваме отделно случаите, когато цената на актива се задава с Брауново движение или с процес на Леви. Даваме метод за решението на ЧДУ за цената на деривата чрез т.нар. *дефолт-премия*. Като пример прилагаме затворена форма на формулата на цената *Коко бонд*.

Научни публикации, представени в кандидатурата:

- (1) Kolb, M and Savov, M., *A characterization of the finiteness of perpetual integrals of Lévy processes*, BERNOULLI, 2020, Volume: 26, Pages: 1453–1472, DOI: 10.3150/19-BEJ1167, Published: JAN 2020, ISSN: 1350-7265, IF (1.393 - 2018), **Quartile: Q2 (43/123 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 60**
- (2) Savov, M. and Toaldo, B., *Semi-Markov processes, integro-differential equations and anomalous diffusion-aggregation*, ANNALS DE L'INSTITUT HENRI POINCARÉ, PROBABILITÉS ET STATISTIQUES, ISSN: 0246-0203, eISSN: 1778-7017, **accepted**, IF (1.152 - 2018), **Quartile: Q2 (56/123 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 60**
- (3) Dimov, I. and Savov, M., *Probabilistic analysis of the single particle Wigner Monte-Carlo method*, MATHEMATICS AND COMPUTERS IN SIMULATION, 2020, Volume: 173, Pages: 32–50, DOI: 10.1016/j.matcom.2020.01.008, Published: JAN 2020, ISSN: 0378-4754, IF (1.409 - 2018), **Quartile: Q2 (87/254 Mathematics, Applied, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 60**
- (4) Mutafchiev, L. and Savov, M., *On the Maximal Multiplicity of Block Sizes in a Random Set Partition*, RANDOM STRUCTURES AND ALGORITHMS, 2020, Volume: 56, Pages: 867–891, DOI: 10.1002/rsa.20891, Published: MAY 2020, eISSN: 1098-2418, IF (1.008 - 2018), **Quartile: Q2 (90/214 Mathematics, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 60**
- (5) Loeffen, R., Patie, P. and Savov, M., *Extinction Time of Non-Markovian Self-Similar Processes, Persistence, Annihilation of Jumps and the Fréchet Distribution*, JOURNAL OF STATISTICAL PHYSICS, 2019, Volume: 175, Pages: 1022–1041, DOI: 10.1007/s10955-019-02279-3, Published: MAR 2019, ISSN: 0022-4715, eISSN: 1572-9613, IF (1.513 - 2018), **Quartile: Q2 (23/55 Physical, Mathematics, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 60**
- (6) Zaeveski, T.S., Kounchev, O. and Savov, M., *Two frameworks for pricing defaultable derivatives*, CHAOS, SOLITONS AND FRACTALS, 2019, Volume: 123, Pages: 309–319, DOI: 10.1016/j.chaos.2019.04.025, Published: APR 2019, ISSN: 0960-0779, IF (3.064 - 2018), **Quartile: Q1 (3/55 Physics, Mathematical, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 75**
- (7) Patie, P., Savov, M. and Zhao, Y., *Intertwining, Excursion Theory and Krein Theory of Strings for Non-self-adjoint Markov Semigroups*, ANNALS OF PROBABILITY, 2019, Volume: 47, Pages: 3231–3277, DOI: 10.1214/19-AOP1338, Published: NOV 2019, ISSN: 0091-1798, eISSN: 2168-894X, IF (2.085- 2018), **Quartile: Q1 (23/123 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 75**
- (8) Kolb, M and Savov, M., *Conditional survival distributions of Brownian trajectories in a one dimensional Poissonian environment in the critical case*, ELECTRONIC JOURNAL OF PROBABILITY, 2017, Volume: 22, Pages: 1–22, DOI: 10.1214/17-EJP4468, Published: FEB 2017, eISSN: 1083-6489, IF (0.901 - 2017), **Quartile: Q3 (69/123 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 45**
- (9) Kolb, M. and Savov, M., *Transience and recurrence of a Brownian path with limited local time*, ANNALS OF PROBABILITY, 2016, Volume: 44, Pages: 4083–4132, DOI: 10.1214/15-AOP1069, Published: NOV 2016, ISSN: 0091-1798, eISSN: 2168-894X, IF (1.940- 2010), **Quartile: Q1 (16/110 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 75**
- (10) Savov, M. and Wang, S., *Fluctuation limits of a locally regulated population and generalized Langevin equations*, INFINITE DIMENSIONAL ANALYSIS, QUANTUM PROBABILITY AND RELATED TOPICS, 2015, Volume: 18, Pages: 23 pages, DOI: 10.1142/S0219025715500095, Published: JUN 2015, ISSN: 0219-0257, eISSN: 1793-6306, IF (0.682 - 2015), **Quartile: Q3 (78/123 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 45**
- (11) Aurzada, F., Kramm, T., and Savov, M., *First passage times of Lévy processes over a one-sided moving boundary*, MARKOV PROCESSES AND RELATED FIELDS, 2015, Volume: 21, Pages: 1024–2953, Published: MAR 2015, ISSN: 1024-2953, IF (0.484 - 2015), **Quartile: Q4 (100/123 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 36**

- (12) Kolb, M. and Savov, M., *Exponential ergodicity of killed Lévy processes in a finite interval*, ELECTRONIC COMMUNICATIONS IN PROBABILITY, 2014, Volume: 14, Pages: 1–9, DOI: 10.1214/ECP.v19-3006, Published: MAY 2014, eISSN: 1083-589X, IF IF (0.619 - 2014), **Quartile: Q3 (89/122 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 45**
- (13) Aurzada, F., Doering, L. and Savov, M., *Small time Chung-type LIL for Lévy processes*, BERNOULLI, 2013, Volume: 19, Pages: 115–136, DOI: 10.3150/11-BEJ395, Published: JAN 2013, ISSN: 1350-7265, IF (1.296 - 2013), **Quartile: Q2 (34/119 Statistics and Probability, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 60**
- (14) Kolb, M., Savov, M. and Wübcker, A., *(Non-) Ergodicity of a Degenerate Diffusion Modeling the Fiber Lay Down Process*, SIAM JOURNAL ON MATHEMATICAL ANALYSIS, 2013, Volume: 45, Pages: 1–13, DOI: 10.1137/120870724, Published: JAN 2013, ISSN: 0036-1410, eISSN: 1095-7154, IF (1.396 - 2013), **Quartile: Q1 (44/251, JCR-WoS)**, hyperlink **Точки: 75**

II. Дисертация за придобиване на степента „доктор на науките“

За удовлетворяване на Показател Е от минималните национални изисквания е успешно защитена дисертация за степента „доктор на науките“. Трудът е със заглавие „Теория на експоненциалните функционали на процеси на Леви“ и е защитен през 2017. В него се представя един цялостен поглед върху експоненциалните резултати и е изградена единна методология, която позволява за първи път да се изведат много общи и силни резултати за свойствата на тези случайни величини¹, които намират широко приложение в теорията и практиката. Атестат за необходимостта от тези резултати е фактът, че статиите, най-близко до тематиката на дисертацията, са цитирани над 40 пъти в рецензирани статии с импакт фактор². Резултатите са докладвани по покана над 10 пъти на международни форуми в Германия, Испания, Франция, САЩ, Мексико, Швейцария, Белгия, Англия, Гърция и др.³.

III. Цитируемост

За удовлетворяване на Показател Д от минималните национални изисквания са представени 57 цитата от информационната база данни SCOPUS. Източниците са публикации в периода 2017-2019⁴. Пълната библиографска справка на цитатите включва 235 цитата, от които 186 в рецензирани статии и 167 в източници с импакт фактор⁵.

IV. Конференции, награди и международни проекти

Като поканен докладчик кандидатът е участвал в 20 международни научни събития и над 20 семинара. Има спечелен индивидуален проект в България по дейностите „Мария Склодовска-Кюри“ към европейската рамка за научни изследвания Хоризонт 2020 и спечелени научни грантове за пътуване. Носител е на две награди в чужбина, като най-скорошната е награда на SCOPUS за млад учен в категория „Математика“ за Великобритания. Информация може да се намери в Автобиографията.

Дата: 21.05.2020

Младен Савов
Подпис:



¹Виж Резюметата на научните публикации за повече информация

²Виж пълната библиографска справка на цитатите

³Виж Автобиография

⁴Виж Приложение 3 към справката за удовлетворяване на минималните национални изисквания

⁵Виж пълна библиографска справка на цитатите