

Вадим ПОНОМАРЬОВ¹, канд. фіз.-мат. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-7813-3298
e-mail: vponomarov@knu.ua

Володимир МОРЕНЕЦЬ¹, канд. фіз.-мат. наук, асист.
ORCID ID: 0009-0006-0899-4400
e-mail: vmorenets@knu.ua

Ірина РОЗОРА¹, д-р фіз.-мат. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-8733-7559
e-mail: irozora@knu.ua

Михайло ШАРАПОВ¹, канд. фіз.-мат. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-8047-995X
e-mail: mmsharapov@knu.ua

Руслан ЧОРНЕЙ², канд. фіз.-мат. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-3866-8893
e-mail: r.chornei@ukma.edu.ua

Олександр СЛАБОСПИЦЬКИЙ¹, канд. фіз.-мат. наук, доц.
ORCID ID: 0009-0007-8753-2075
e-mail: alexsl@knu.ua

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Національний університет "Києво-Могилянська академія", Київ, Україна

ПАВЛО КНОПОВ: НАУКОВИЙ ШЛЯХ І СТАНОВЛЕННЯ ШКОЛИ СТОХАСТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Присвячено 85-річчю Павла Соломоновича Кнопова (нар. 21.05.1940, Київ) – д-ра фіз.-мат. наук, чл.-кор. НАН України; фахівця зі стохастичної оптимізації, статистики випадкових процесів і полів, теорії ризику та керування; автора понад 250 праць і 13 монографій; від 1999 р. – завідувача відділу математичних методів дослідження операцій Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, від 1987 р. – професора КНУ; лауреата Державної премії України (2009), премій ім. В. М. Глушкова (1997) та ім. В. С. Михалевича (2021), заслуженого діяча науки і техніки України (2021).

Київська школа стохастичної оптимізації, до розвитку якої істотно долучився П. С. Кнопов, є науковим феноменом, що поєднує теорію ймовірностей, математичну статистику та теорію керування для розв'язання задач ухвалення рішень в умовах невизначеності. У статті також висвітлено непростий життєвий і науковий шлях ученого, що пройшов крізь випробування епохи й утвердився як один із провідних математиків свого покоління.

Ключові слова: стохастична оптимізація, керування стохастичними системами, робастна статистика, М-оцінювання, стохастичні поля, великі відхилення, київська школа ймовірностей.

Класифікація відповідно до AMS 2020: 01A70, 90C15, 01A72, 93E20.

Вступ

Історія науки складається не лише з формул і теорем, а й із людських дол. Вона народжується у спогадах, у деталях біографій, у розмовах про те, як формувалося покоління науковців, що зуміло створити школу світового рівня. Київ другої половини ХХ ст. став одним із центрів теорії ймовірностей та стохастичної оптимізації. Шлях одного із представників цієї школи добре ілюструє, як поєднувалися складні особисті обставини, сила інтелекту й наукова спільнота, що підтримувала й виховувала нових дослідників.

1. Дитинство у воєнні роки

Майбутній математик народився у 1940 р. – у рік, коли над Україною пройшла хвиля війни. Його батько пішов на фронт і загинув у перших боях восени 1941 р. Дитинство від самого початку було позначене трагедією. Родина була евакуйована до Свердловської обл., де вони перебували аж до визволення Києва.

Повернення додому не принесло відчуття спокою: у повоєнному місті довелося ділити кімнату в комунальній квартирі з кількома родинами. Грошей бракувало, мати працювала, отримувала скромну зарплатню й невелику пенсію на сина. Саме ця суворя реальність, постійне відчуття скрути й водночас наполегливість матері виховали у хлопця характер – стриманий, але рішучий.

Попри труднощі, він ріс у середовищі, де навчання цінувалося. Спершу виховувався у дитячих садках Києва, а згодом став учнем школи № 21. Саме там уперше зустрів учительку Розу Зверюху, яка прищепила любов до математики. "Вона, мабуть, у певному сенсі визначила мій шлях", – згадував згодом учений. Родинні приклади теж були важливими: його родичка, яка ще до війни вступила на механіко-математичний факультет, після війни повернулася до навчання й підтримувала зв'язки з провідними математиками того часу.



У дитинстві не було надлишку книжок чи репетиторів, але була жива атмосфера пошуку й пізнання. У таких умовах майбутній науковець формував свій інтерес до точних наук, навіть не підозрюючи, що попереду на нього чекає ціла наукова школа і десятиліття досліджень.

2. Студентські роки

1957 рік став переломним: він вступив на механіко-математичний факультет Київського університету. Це був час, коли університет переживав піднесення. В аудиторіях панувала атмосфера інтелектуальної свободи, а серед викладачів були ті, чиї імена згодом увійшли в історію математики.

Викладачами в той час працювали Й. І. Гіхман, А. В. Скороход, В. С. Михалевич, В. С. Корольок, І. М. Коваленко, М. Й. Ядренко, А. Я. Дороговцев – постаті, які створили основу київської школи ймовірностей. Їхні лекції були чимось більшим, ніж звичний виклад матеріалу: це були зустрічі з людьми, які жили математикою, відкривали нові напрями, працювали пліч-о-пліч й із зарубіжними науковими школами.

Студентські роки були часом не лише навчання, а й формування світогляду. Спочатку П. С. Кнопов цікавився алгеброю й аналізом, але під впливом А. В. Скорохода й інших викладачів поступово занурився у світ теорії ймовірностей. Важливою стала участь у студентських наукових гуртках, де обговорювалися нові статті, задачі, де молодь навчалася мислити на рівні науки, а не лише підручника.

3. Шлях у науці

Після закінчення університету науковий шлях П. С. Кнопова був тісно пов'язаний з Інститутом кібернетики АН УРСР, нині Інститутом кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, – одним із найпотужніших світових наукових центрів у галузі інформатики та прикладної математики. Саме тут розгорталися дослідження у сфері статистики випадкових процесів і полів, негладкої та стохастичної оптимізації, оптимального керування та розпізнавання образів.

Кандидатську дисертацію Павло Соломонович захистив під керівництвом Анатолія Дороговцева. Робота стосувалася статистики випадкових процесів і полів, і вже тоді було зрозуміло, що цей напрям стане провідним у подальшій діяльності.



П. С. Кнопов (ліворуч) із колегами

У 1970–1980-х рр. київська школа активно працювала над теорією стохастичної оптимізації. Це була нова галузь, де поєднувалися ідеї теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії оптимального керування. У Києві проходили масштабні конференції, що збирали провідних математиків з усього світу. Для молодого науковця це було не лише середовище роботи, а й школа життя: він бачив, як формувалися нові теорії, як народжувалася мова науки, зрозуміла і фахівцям, що займаються прикладною наукою, і теоретикам.

Серед тем, якими займався П. С. Кнопов, були:

- Статистика випадкових полів – інструмент для моделювання складних систем у фізиці й техніці.
- Оптимальне керування стохастичними системами – від дискретних моделей до неперервних процесів та полів.
- Методи стохастичної оптимізації – підхід, що згодом став одним із фундаментів сучасної теорії машинного навчання.
- Теорія великих відхилень – галузь, яка пояснює рідкісні події й розробляє математичні моделі та методи для визначення ефективних заходів мінімізації ризиків для об'єктів критичної інфраструктури, довкілля та продовольчої безпеки.
- Моделі теорії запасів, оптимального керування системами, масового обслуговування, забезпечення надійного функціонування складних технічних систем – прикладна математика у сфері економіки, техніки, логістики.
- Випадкові процеси із локальною взаємодією – моделі, що знайшли застосування у фізиці, економіці й теорії розпізнавання образів.

Його праці поєднували фундаментальність і прикладне застосування: вони формували математичний апарат, який можна було використовувати для управління ресурсами, прогнозування надійності систем, аналізу складних процесів.

4. Міжнародна співпраця

Розпад Радянського Союзу відкрив для українських учених нові горизонти. Якщо раніше виїзд за кордон був майже неможливим, то з початку 1990-х рр. почалася активна інтеграція у світову наукову спільноту. Саме тоді Павло Кнопов отримав змогу не лише долучатися до міжнародних досліджень, а й стати повноправним учасником і керівником великих проєктів.

Учений працював у грантових програмах *London Mathematical Society* (1996), *Royal Society* (1997), *DFG* (Німеччина, 1998–2010), співпрацював з університетом Больцано (Італія, 2000), реалізовував спільні проєкти між НАН України

та IIAASA (2007–2025). Одним із ключових партнерів став університет у Тронгеймі (Норвегія), де було здійснено багаторічну програму досліджень разом з українськими науковцями.

Тематика цих робіт була напрочуд широкою: від розроблення методів оцінювання ризиків для атомних електростанцій і моделювання надійності технічних систем – до прикладної статистики й оптимізації енергетичних процесів. Особливе місце займали проекти, пов'язані з ліквідацією наслідків Чорнобильської катастрофи: вони охоплювали оцінювання ризиків, оптимізацію технічного обслуговування, створення моделей безпеки.

Павло Кнопов виступав на багатьох міжнародних конференціях, серед яких: міжнародні конференції з теорії ймовірностей та математичної статистики (1973, 1985, 1989, 1994, 1998), Всесвітній конгрес математиків у Берліні (1998), Європейський конгрес математиків у Стокгольмі (2004), 16-й Міжнародний конгрес з математичного програмування в Лозанні (1997), Scandinavian – Ukraine Conference in Mathematical Statistics в Умео (1997), конференція з проблем ризику SAR and SRA – Europe Annual Conference у Лондоні (2000), міжнародні конференції зі стохастичного програмування в Колумбійському університеті (США, 1998) та в Києві (1984), International Conference on Stochastic Optimization: Algorithms and Applications у Флоридському університеті (2002), а також конференції зі стохастичного аналізу в Києві (2012, 2015).

Участь у міжнародних дослідженнях принесла не лише фінансову підтримку й сучасне обладнання, а й головне – відчуття приналежності до глобальної наукової спільноти. Це дало змогу українській школі стохастичної оптимізації не замкнутися у собі, а впевнено вийти на рівень, де її результати стали широко відомими у світі.

5. Викладання та школа учнів

Викладацька діяльність Павла Соломоновича посідала важливе місце в його житті. У Київському національному університеті імені Тараса Шевченка він викладав на кафедрі прикладної статистики, читав курси з математичної статистики, фінансової математики, теорії керованих стохастичних процесів.

За десятиліття викладання він виховав цілу школу учнів. Серед них – автори монографій із теорії ризику, оптимізації, статистики випадкових процесів. Частина з них створила власні наукові групи, працює у провідних університетах Європи та США.

Учні згадують, що його стиль викладання відзначався вимогливістю й водночас уважністю до кожного студента. Він умів зацікавити складними темами, показати їхній зв'язок із реальними задачами. Для нього навчання було не формальністю, а шляхом формування мислення.

6. Внесок у розвиток науки

Праці Павла Кнопова та сформованої ним наукової школи зробили вагомий внесок у світову математику й прикладну стохастичну. Київська школа теорії ймовірностей і стохастичної оптимізації, до розвитку якої він істотно долучився, здобула міжнародне визнання завдяки поєднанню високих теоретичних стандартів з увагою до реальних інженерних і соціально-економічних задач. Учні та співробітники школи отримували міжнародні відзнаки, а результати було опубліковано у монографіях і розділах провідних видавництв – *Kluwer, Springer, CRC, ISTE-Wiley*.

Дослідження Павла Соломоновича поєднують фундаментальність і практичну орієнтацію. Вони стали основою для розвитку нових сучасних напрямів математики та інформатики. Ключовою віссю його внеску є проблематика прийняття рішень у умовах невизначеності. Тут закладено базові постановки мінімізації ризику за неповної апіорної інформації, зокрема з використанням багатомодельних класів і баєсівських робастних підходів. Показано, як випадкові критерії можна перетворювати на керовані детерміновані функціонали ризику та працювати з імовірнісними обмеженнями (*chance constraints*).

Другим важливим напрямом стала робастна статистика й М-оцінювання для складних моделей – нелінійних, нестационарних та із залежними спостереженнями. Ці дослідження створили фундамент для методів, які нині застосовують у фінансовій математиці, машинному навчанні й інженерії надійності.

Третій напрям пов'язаний із керуванням стохастичними системами, що мають просторову структуру. Тут запропоновано моделі керованих марковських полів і стохастичних ігор на графах із розподіленими агентами та локальними взаємодіями. Було описано умови існування рівноваг і політик із доведеними властивостями стабільності, що стало новим словом у моделюванні багатокомпонентних систем.

Нарешті, важливою складовою є спадкоємність школи. Підготовлено чимало учнів, створено цикл монографій і навчальних матеріалів, що лягли в основу університетських і післядипломних курсів із робастної статистики, стохастичної оптимізації та керування. Завдяки цьому напрацьовані підходи не лише зберігаються, а й розвиваються у нових галузях – від фінансової інженерії до сучасних методів машинного навчання в умовах невизначеності.

7. Публікації

Павло Соломонович Кнопов є автором понад 260 наукових робіт, серед них 13 монографій (вид. Springer, Kluwer, Nova Science Publishers, CRC PRESS, ISTE-WILEY та ін.).

Вибрані монографії:

1. Kasitskaya, E. J., & Knopov, P. S. (2002). *Empirical Estimates in stochastic optimization and identification*. Kluwer.
2. Chornei, R. K., Daduna, H., & Knopov, P. S. (2006). *Control of Spatially Structured Random Processes and Random Fields with Applications*. Springer.
3. Knopov, P. S., & Pardalos, P. M. (2009). *Simulation and Optimization Methods in Risk and Reliability Theory*. Nova Science Publishers, Inc.
4. Knopov, P. S., & Korkhin, A. S. (2013). *Regression Analysis Under A Priory Parameter Restrictions*. Springer.
5. Knopov, P. S., & Derieva, O. N. (2013). *Estimation and Control problems for Stochastic Partial differential Equations*. Springer.
6. Gaivoronskii, A., Knopov, P., & Zaslavskii, V. (2023). *Modern Optimization Methods for Decision Making Under Risk and Uncertainty*. CRC PRESS, Taylor Francis Group, Boca Raton, London, New York.
7. Gaivoronskii, A., Knopov, P., Norkin, V., & Zaslavski, V. (2025). *Stochastic Modeling and Optimization Methods for Critical Infrastructure*. Protection 1 Stochastic Modeling, ISTE-WILEY.

8. Gaivoronskii, A., Knopov, P., Norkin, V., & Zaslavski, V. (2025). *Stochastic Modeling and Optimization Methods for Critical Infrastructure*. Protection 2 Methods and Tools, ISTE-WILEY.
9. Каниовский, М., Некрылова, З. В., & Кнопов, П. С. (1980). *Предельные теоремы для процессов стохастического программирования*. Наукова думка.
10. Кнопов, П. С. (1981). *Оптимальные оценки для стохастических систем*. Наукова думка.
11. Голодніков, О. Н., Кнопов, П. С., & Пепеляев, В. А. (2008). *Робастне оцінювання ризику*. НАНУ, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України.
12. Кнопов, П. С., & Некрилова, З. В. (2008). *Методи моделювання та оцінювання в економетриці*. Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
13. Кнопов, П. С., & Цикунов, І. К. (2009). *Методи комплексної оцінки та прогнозування стану соціально-економічної сфери України*. Інститут кібернетики. ім. В. М. Глушкова НАН України.

Вибрані статті:

1. Knopov, P. S., & Kasitskaya, E. J. (1995). Properties of empirical estimates in stochastic optimization and identification problems. *Annals of Operations Research*, 56(1), 225–239
2. Knopov, P. S. (1997). On some classes of M-estimates for non-stationary regression models. *Theory of Stochastic Processes*, 3(19), 222–228.
3. Knopov, P. S. (1999). Markov fields and their applications in economic. *Journal of Mathematical Sciences*, 3923–3931.
4. Golodnikov, A. N., Knopov, P. S., Pardalos, P., & Uryasev, S. (2000). Optimization in the space of Distribution Functions and Applications in the Bayes Analysis. In *Pardalos, P., Uryasev, S. (Eds.). Probabilistic Constrained Optimization: Methodology and Applications*. Kluwer Academic Publishers, 102–131.
5. Knopov, P. S., Pardalos, P., & Yatsenko, V. A. (2001). Optimal Estimation of signal parameters using linear observation. *Optimization and related topics*. Kluwer Academic Publishers, 103–117.
6. Chorney, R., Daduna, H., & Knopov, P. (2004). Stochastic games for distributed players on graphs. *Mathematical Methods of Operations Research*, 60(2), 279–298
7. Chorney, R., Daduna, H., & Knopov, P. (2005). Controlled Markov fields with finite state space on graphs. *Stochastic Models*, 21(4), 847–874.
8. Kasitskaya, E. I., & Knopov, P. S. (2017). Large deviations for the method of empirical means in stochastic optimization problems with continuous time observations. *Springer Optimization and Its Applications*, 130, 263–276.
9. Knopov, P., & Norkin, V. (2022). Stochastic Optimization Methods for the Stochastic Storage Process Control. *Springer Optimization and Its Applications*, 181, 79–111
10. Knopov, P., & Korkhin, A. (2023). Dynamic models of epidemiology in discrete time taking into account processes with lag. *International Journal of Dynamics and Control*, 11(5), 2193–2214
11. Knopov, P. (2023). Optimization and Identification of Stochastic Systems. *Cybernetics and Systems Analysis*, 375–384.
12. Knopov, P. S., & Pepelyaeva, T. V. (2025). Some Applied Problems of the Theory of Controlled Random Processes. *Cybernetics and Systems Analysis*, 41–52.

Висновки і побажання студентам

У своїх побажаннях молодим дослідникам Павло Соломонович завжди підкреслює: математика залишається фундаментом сучасних технологій і науки. Попри матеріальні труднощі та зниження престижу академічної кар'єри, вона дає можливість вирішувати завдання, що змінюють світ.

"Незважаючи на всі труднощі сучасного життя, не варто забувати про математику та зберігати до неї інтерес. Якщо дослідження справді мають практичну цінність, вони знайдуть визнання і підтримку", – зазначає він.

Цей шлях – від дитинства у воєнному Києві до світового визнання – є свідченням того, що сила науки полягає не лише у формальних здобутках, а й у здатності долати перешкоди, зберігати інтерес до пізнання й передавати його наступним поколінням.



Внесок авторів: Вадим Пономарьов – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання – оригінальний текст; Володимир Моренець – написання – рецензування та редагування, підготовка рукопису до подання; Ірина Розора – концептуалізація, рецензування; Михайло Шарапов – редагування; Руслан Чорней – підбір ілюстрацій і матеріалів; Олександр Слабоспицький – редагування та підбір матеріалів.

Джерела фінансування. Фінансування дослідження здійснюється власним коштом авторів та частково забезпечено Київським національним університетом імені Тараса Шевченка.

Отримано редакцією журналу / Received: 21.05.25
Прорецензовано / Revised: 23.09.25
Схвалено до друку / Accepted: 10.10.25

Vadym PONOMAROV¹, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-7813-3298
e-mail: vponomarov@knu.ua

Volodymyr MORENETS¹, PhD (Phys. & Math.), Assist.
ORCID ID: 0009-0006-0899-4400
e-mail: vmorenets@knu.ua

Iryna ROZORA¹, DSc (Phys. & Math.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-8733-7559
e-mail: irozora@knu.ua

Mykhailo SHARAPOV¹, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-8047-995X
e-mail: mmsharapov@knu.ua

Ruslan CHORNEI², PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-3866-8893
e-mail: r.chornei@ukma.edu.ua

Alexander SLABOSPITSKY¹, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0009-0007-8753-2075
e-mail: alexsl@knu.ua

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²National University of Kyiv Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine

PAVLO KNOPOV: THE SCIENTIFIC PATH AND THE FORMATION OF THE KYIV SCHOOL OF STOCHASTIC OPTIMIZATION

The article is dedicated to the 85th anniversary of Pavlo Solomonovych Knopov (b. May 21, 1940, Kyiv) – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine; a leading specialist in stochastic optimization, statistics of random processes and fields, risk theory and control; author of over 250 scientific works and 13 monographs. Since 1999, he has headed the Department of Mathematical Methods of Operations Research at the V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, and since 1987 he has been a professor at Taras Shevchenko National University of Kyiv. He is a laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology (2009), the V. M. Glushkov Prize (1997), the V. S. Mikhakevich (2021), and was awarded the title of Honored Scientist and Engineer of Ukraine (2021).

The Kyiv school of stochastic optimization, to the development of which P. S. Knopov made a significant contribution, represents a scientific phenomenon that combines probability theory, mathematical statistics, and control theory for solving decision-making problems under uncertainty. The article also outlines the difficult life and scientific path of the scholar, who went through the trials of his time and established himself as one of the leading mathematicians of his generation.

Key words: *stochastic optimization, control of stochastic systems, robust statistics, M-estimation, random fields, large deviations, Kyiv school of probability.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.