

Бондаренко П.В., к.е.н., старший викладач кафедри фінансового менеджменту та фондового ринку

(Одеський національний економічний університет, м.Одеса, Україна)

СУЧАСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ АДИТИВНИХ МОДЕЛЕЙ (GAM) ТА GAMM У СТРАХОВИХ КОМПАНІЯХ

Сучасний ринок страхування в Україні та світі характеризується експоненціальним зростанням обсягів даних, швидким розвитком цифрових технологій, ускладненням профілів ризиків та жорсткими регуляторними вимогами до прозорості тарифної політики, резервування та управління капіталом. Особливе значення набуває застосування сучасних актуарних інструментів, які дозволяють страховим компаніям не лише точно оцінювати ризики, а й оптимізувати фінансову стійкість, підвищувати прибутковість і забезпечувати відповідність нормам Нацкомфінпослуг, Національного банку України та міжнародним стандартам Solvency II.

Традиційні узагальнені лінійні моделі GLM, що десятиліттями домінували в актуарній практиці, сьогодні виявляють суттєві обмеження. Їх жорстке припущення про лінійність зв'язків, після логарифмічної або іншої трансформації, між предикторами та цільовою змінною призводить до втрати важливої інформації при моделюванні складних нелінійних ефектів. Це особливо критично у страховому ціноутворенні, де фактори ризику (вік страхувальника, стаж, пробіг, територія, сезонність) мають явно нелінійний характер впливу на частоту й тяжкість збитків.

Узагальнені адитивні моделі GAM, запропоновані [1] ще у 1990 році, радикально розширюють можливості моделювання. Математично GAM представляється у вигляді:

$$g(E[Y]) = \beta_0 + f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_p(x_p), \quad (1)$$

де $g(\cdot)$ — лінк-функція, а $f_i(\cdot)$ — гладкі нелінійні функції, реалізовані зазвичай через пеналізовані кубічні регресійні сплайни або тонкі пластинчасті сплайни. Такий підхід зберігає повну інтерпретованість моделі, характерну для GLM, але дозволяє точно відтворювати нелінійні залежності без штучної категоризації безперервних змінних, яка часто спотворює результати.

У страхових компаніях GAM активно застосовуються для моделювання частоти страхових випадків, тяжкості збитків та розрахунку чистої премії. Найбільш ефективними вони є в автострахуванні, де ефекти віку водія, стажу керування, річного пробігу та територіального розташування мають яскраво виражений нелінійний профіль: ризик різко зростає для водіїв до 25 років, стабілізується в діапазоні 35–60 років і знову підвищується після 70 років. Використання сплайнів дозволяє точно відтворювати ці залежності, що безпосередньо впливає на точність тарифів і фінансову стійкість страхового портфеля.

Узагальнені адитивні змішані моделі GAMM є логічним розвитком GAM і включають випадкові ефекти для врахування кореляції між спостереженнями. GAMM є незамінними під час роботи з панельними та лонгітюдними даними страхового портфеля, коли один клієнт генерує кілька спостережень протягом кількох років. ці моделі дозволяють ефективно моделювати індивідуальну гетерогенність страхувальників, часові тренди, територіальні кластери та ефекти повторних вимірювань. Це має критичне значення для точної оцінки агрегатних збитків, формування резервів, розрахунку економічного капіталу та стрес-тестів відповідно до вимог ризик-орієнтованого нагляду.

Сучасна міжнародна практика провідних страховиків та спеціалізованих платформ Akur8, SAS, R-пакет mgcv демонструє масове впровадження узагальнених адитивних моделей GAM та їх змішаних варіантів GAMM у виробничі системи актуарного

ціноутворення. Дослідження [2] показало, що GAM з територіальним кластерним дизайном значно точніше прогнозують претензії в автострахованні порівняно з GLM, особливо в умовах регуляторного контролю тарифів. [3] запропонували застосування GAM для моделювання залежних розподілів частоти та тяжкості в рамках Tweedie-моделей, що забезпечило кращі значення інформаційних критеріїв AIC та BIC, а також покращену графічну діагностику.

Особливо актуальним є поєднання GAM із телематичними даними в рамках страхування на основі використання системи UBI. Тут нелінійні ефекти пробігу, стилю водіння (різке гальмування, прискорення), часу доби та динамічних територіальних факторів вимагають гнучких адитивних структур. Автоматизовані платформи моделювання дозволяють актуаріям швидко будувати моделі, візуалізувати часткові ефекти і забезпечувати повну прозорість для регулятора та керівництва компанії.

Порівняно з «чорними ящиками» машинного навчання (XGBoost, LightGBM, нейронні мережі), GAM та GAMM мають високу інтерпретованість і легкість інтеграції в існуючі актуарні та фінансові системи. Це дозволяє забезпечувати відповідність принципам прозорості, що є обов'язковою умовою для регуляторної звітності та внутрішнього аудиту.

В Україні застосування GAM та GAMM поки що не набуло масового характеру через переважання традиційних GLM у більшості страхових компаній та обмежену доступність великих телематичних даних. Однак з активним впровадженням цифрових платформ, розвитком UBI, вимог НБУ щодо ризик-орієнтованого нагляду та переходом до МСФЗ 17, інтерес до цих моделей стрімко зростає. Їх використання дозволяє страховим компаніям одночасно підвищувати точність актуарних розрахунків, оптимізувати структуру тарифів, зменшувати волатильність фінансових результатів і розвивати персоналізовані страхові продукти.

Серед основних переваг GAM/GAMM варто виділити:

- можливість візуалізації впливу кожного фактора ризику;
- відсутність необхідності штучної категоризації змінних;
- стійкість до overfitting завдяки механізмам пеналізації;
- легкість інтеграції у фінансові моделі резервування та капіталу.

Водночас моделі вимагають ретельного вибору параметрів гладкості, перевірки на overfitting за допомогою крос-валідації, GCV та інформаційних критеріїв AIC, BIC, UBRE. Сучасні розширення, такі як Bayesian GAM, GAMLSS та robust GAM, дозволяють додатково моделювати не лише середнє, а й дисперсію, асиметрію та ексцес розподілу ризиків, що особливо важливо для фінансового управління портфелем.

Таким чином, узагальнені адитивні моделі GAM та їх змішані варіанти GAMM становлять один із найсучасніших і найбільш затребуваних інструментів актуарної аналітики, фінансового ризик-менеджменту та тарифної політики в страхових компаніях. Перехід від жорстких лінійних структур до гнучких адитивних моделей означає не лише підвищення точності прогнозів, але й суттєве посилення фінансової стійкості страховиків, оптимізацію капіталу, розвиток інноваційних продуктів і забезпечення конкурентоспроможності на цифровому страховому ринку України та Європи.

Список використаних джерел

1. Hastie T., Tibshirani R. (1990). Generalized Additive Models. London: Chapman and Hall.
2. Xie S., Shi K. (2023). Generalised Additive Modelling of Auto Insurance Data with Territory Design: A Rate Regulation Perspective. Mathematics, 11(2), 334. DOI: <https://doi.org/10.3390/math11020334>
3. Chen T., Desmond A.F., Adamic P. (2023). Generalized Additive Modelling of Dependent Frequency and Severity Distributions for Aggregate Claims. Journal of Statistical and Econometric Methods, 12(4), 1-37. DOI: <https://doi.org/10.47260/jsem/1241>