

УДК 004.942

ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВИХ РИЗИКІВ

Н.В. Кузнєцова, П.І. Бідюк

*Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

natalia-kpi@ukr.net, pbidyuke_00@ukr.net

Запропоновано новий підхід до аналізу та оцінювання фінансових ризиків з прогнозуванням можливого часу настання ризику, ймовірності та рівня втрат. На прикладі статистичних даних телекомунікаційної компанії виконано динамічне моделювання фінансового ризику, пов'язаного з недоотриманням доходу компанії через можливий відтік клієнтів (абонентів), з використанням моделей пропорційних ризиків Кокса і статистик LogRank та Wilcoxon. Підхід може бути застосованим для стрес-тестування фінансових компаній, оцінювання їх діяльності та своєчасного реагування на їхні економічні проблеми.

Ключові слова: моделювання ризиків, фінансові ризики, пропорційні ризики Кокса, динамічний підхід.

A new approach to analysis and estimation of financial risks by forecasting possible time of occurrence of risk, probability and level of losses is proposed. On example of a telecommunication company, a dynamic modeling is carried out of financial risk associated with a lack of revenue for the company due to the potential outflow of customers (subscribers) using Cox proportional risk models and LogRank and Wilcoxon statistics. The approach can be used for stress-testing of financial companies, estimation of their activities, and timely reaction on their economic problems.

Keywords: risks modeling, financial risks, proportional risks of Cox, dynamic approach.

В работе предложен новый подход к анализу и оцениванию финансовых рисков с возможностью прогнозирования времени наступления риска, вероятности и уровня потерь. На примере телекоммуникационной компании выполнено динамическое моделирование финансового риска, связанного с недополучением дохода компании из-за возможного оттока клиентов (абонентов), с использованием моделей пропорциональных рисков Кокса и статистик LogRank и Wilcoxon. Подход может быть применен для выполнения стресс-тестирования финансовых компаний, оценивания их деятельности и своевременного реагирования на их экономические проблемы.

Ключевые слова: моделирование рисков, финансовые риски, пропорциональные риски Кокса, динамический подход.

Вступ

Фінансові ризики відображають ризикованість фінансової діяльності людини внаслідок коливання попиту та пропозиції, нестабільності економічної ситуації в країні, неправильного планування ресурсів, тощо. Зокрема, під фінансовим ризиком підприємства розуміють ймовірність виникнення несприятливих фінансових наслідків у формі втрати доходу чи капіталу у ситуації невизначеності умов здійснення його фінансової діяльності [1–3]. Основними задачами дослідження фінансових ризиків є їх аналіз, моделювання і мінімізація, а в реальній діяльності це означає неперервне виконання

постійного моніторингу ризиків, удосконалення процесів збору, обробки і оцінювання інформації, що використовується у процедурах аналізу і напрацювання рішень щодо оцінювання і менеджменту ризиків. Значною практичною проблемою є відсутність статистичної інформації, напрацьованих рекомендацій для оцінювання та зменшення фінансових ризиків, складність формалізації задачі аналізу, а інколи навіть відсутність методики формалізації задачі. Сьогодні практичні відсутні універсальні комп'ютерні системи, які можна було б рекомендувати для використання у будь-якій «ризиковій» ситуації, для будь-якого процесу моделювання, оцінювання та прогнозування ризиків. Це пов'язано не тільки з різноманітністю множини факторів ризиків чи їх проявів, а й складністю їх фізичного опрацювання: вартість засобів, великі обсяги аналізованих даних, швидкість процедур опрацювання, тощо.

Розробка нових підходів та принципів до моделювання фінансових ризиків є актуальною задачею стратегічного планування як у межах окремого підприємства, так і для фінансового планування в окремій країні та світі.

Постановка задачі

У роботі пропонується новий підхід до урахування фінансових ризиків з прогнозуванням можливого часу настання ризику, ймовірності та рівня втрат, яких при цьому може бути заподіяно. Розглядається аспект фінансового ризику з точки зору недоотримання доходу компанії через можливий відтік клієнтів. На реальному прикладі показано, як можна здійснювати динамічне моделювання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Оперуючи поняттям «фінансовий ризик», будемо мати на увазі, що це імовірнісна характеристика події, яка у віддаленій перспективі може призвести до виникнення втрат та недоотримання доходів в результаті усвідомлених дій підприємства під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів, функціонування в умовах невизначеності ринкового середовища.

Фінансові ризики класифікують за сукупністю інструментів, що досліджуються (індивідуальний та портфельний); за об'єктом, що характеризується (ризик окремої фінансової операції, різних видів фінансової діяльності); за джерелом виникнення фінансових ризиків (зовнішній, систематичний або ринковий ризик та внутрішній, не систематичний або специфічний ризик); за фінансовими наслідками (ризик, що спричиняє лише економічні втрати, ризик втраченої вигоди, ризик, що спричиняє як економічні втрати, так і додаткові доходи); за характером прояву у часі (постійний та тимчасовий фінансові ризики); за рівнем фінансових втрат (допустимий, критичний та катастрофічний); за можливістю передбачення (прогнозований та непрогнозований); за можливістю страхування, тощо [1, 2].

Наявні підходи до оцінювання фінансових ризиків можна умовно розділити на три великі групи:

1. Оцінювання ймовірності виникнення. Фінансовий ризик як ймовірність виникнення несприятливого результату, втрати або збитку.

2. Оцінювання можливих збитків при тому чи іншому сценарії розвитку ситуації. Фінансовий ризик як абсолютний розмір втрат можливої несприятливої події.

3. Комбінований підхід. Оцінювання фінансового ризику, як ймовірності його виникнення, так і розміру втрат.

На практиці, найчастіше використовують комбінований підхід, тому що він визначає не тільки ймовірність виникнення ризику, а й дозволяє оцінити можливий негативний вплив на фінансово-господарську діяльність підприємства, виражений в грошовому еквіваленті.

Для того щоб здійснювати менеджмент ризиків, перш за все необхідно їх коректно оцінити. Умовно методи оцінювання фінансових ризиків підприємства можна розділити на дві великі групи: кількісні та якісні [4]. Кількісним методам оцінювання властива об'єктивність оцінювання фінансових ризиків, можливість розроблення моделі варіації (зміни) того чи іншого ризику на основі статистичних даних. Недоліком кількісних методів залишається складність чисельної формалізації якісних фінансових ризиків підприємства. Для якісних методів характерна можливість оцінювання ризиків якісного характеру, проте їм все ж притаманна певна суб'єктивність оцінок як наслідок застосування експертного підходу.

Умовно фінансові ризики можна розділити на кредитний ризик, операційний ризик, ризик ліквідності та ринковий ризик.

Підходи до менеджменту ризиків

Принципи менеджменту фінансових ризиків:

- ✓ принцип існування ризику;
- ✓ принцип усвідомленого прийняття ризиків;
- ✓ принцип керованості прийнятих ризиків;
- ✓ принцип незалежного менеджменту окремих груп ризиків;
- ✓ принцип відповідності рівня прийнятих ризиків до рівня прибутковості операцій, що проводяться;
- ✓ принцип відповідності рівня прийнятих ризиків до можливих втрат.

Авторами розробляються та пропонуються два додаткові принципи: принцип адаптивного менеджменту ризиків та принцип динамічного урахування *фактору часу* в аналізі ризиків. Принцип адаптивного менеджменту ризиків передбачає необхідність неперервного моніторингу ризику, корегування та адаптації розробленої раніше моделі, що оцінює обраний вид фінансового ризику з урахуванням того, що як мінімум один з параметрів оцінювання ризику, ймовірність або втрати, змінюється. Принцип

динамічного урахування фактору часу буде докладніше описано та формалізовано нижче.

Наразі використовується статистичний підхід до оцінювання ризиків на основі обчислення ймовірності настання ризиків та обсягів потенційних втрат на основі IBR-підходу [5, 6]:

$$EL = \sum_{i=1}^N P(R_i) \cdot CE_i \cdot LGD_i,$$

де $P(R_i)$ – ймовірність (очікувана частота) прояву i -го виду ризику (наприклад, ризику зниження фінансової стабільності), що набуває значення на відрізку $[0,1]$; CE – загроза внаслідок реалізації ризику – сума втрат (заборгованості внаслідок реалізації даного ризику); LGD – покриття ризику страховкою (в разі її наявності), заставою або ефективність запобіжних заходів, що приймає значення від 0 (ризик, повністю покритий заставою) до 1 (ризик, не покритий заставою); N – кількість типів ризиків.

Методологія опрацювання фінансових ризиків

Методологія опрацювання фінансових ризиків має узагальнювати кілька дуже важливих моментів, пов'язаних з необхідністю опрацювання невизначеностей та неструктурованості вхідних даних, розробки і побудови моделей інтелектуального аналізу даних та використання інтегрованих моделей та комбінованих методів для отримання вищих прогнозних оцінок. Перевірка описаних моделей здійснюється за сукупністю статистичних критеріїв з метою визначення кращої з моделей-кандидатів.

На рис. 1 подана методологія зниження та менеджменту фінансових ризиків, де на першому етапі здійснюється оцінювання фінансового ризику, виявляються притаманні даному підприємству фінансові ризики і розробляються моделі їх кількісної оцінки. Оцінка фінансових ризиків дає можливість визначити можливі втрати при коливаннях ринку і розмір капіталу, який необхідно резервувати для покриття цих втрат [7].

На сьогодні розроблено множину методів оцінювання фінансових ризиків, зокрема різноманітні варіації VaR (Value-at-Risk), методи на основі IRB-підходу, Shortfall, LDA, методи з використанням байєсівського програмування та нечіткої логіки. Методи VaR оцінюють ризик як очікуваний максимальний збиток протягом встановленого періоду часу із встановленим рівнем ймовірності; Shortfall є більш консервативним, ніж VaR метод оцінювання ризику, тобто оцінювання ризику того, що фактичний прибуток інвестиції буде меншим, ніж очікуваний дохід; за методом LDA виконується оцінювання розподілу втрат для розрахунку суми капіталу банку для операційного ризику.

Методи байєсівського програмування та нечіткої логіки є більш універсальними і можуть застосовуватись до різних видів фінансового ризику, з

можливістю встановлення правил та критеріїв і формування висновку щодо рівня ризику (нечітка логіка) [8]. Байєсівське програмування включає сукупність таких методів, як мережі Байєса для прогнозування ймовірності ризику, байєсівська регресія для оцінювання рівня ризику і можливих втрат, гранулярна фільтрація та байєсівський класифікатор для обробки вхідних даних і моделювання багатовимірних розподілів.

При виконанні наступного етапу здійснюють глибинний аналіз фінансових ризиків, зокрема визначення значень ключових параметрів, які можуть поставити під сумнів успіх бізнесу (аналіз чутливості), аналіз різноманітних сценаріїв, розглядаючи альтернативні набори вхідних даних, які можуть з'явитись в реальній ситуації; імітаційне моделювання, тобто імітаційні комп'ютерні прогони моделей, що оцінюють фінансові показники.

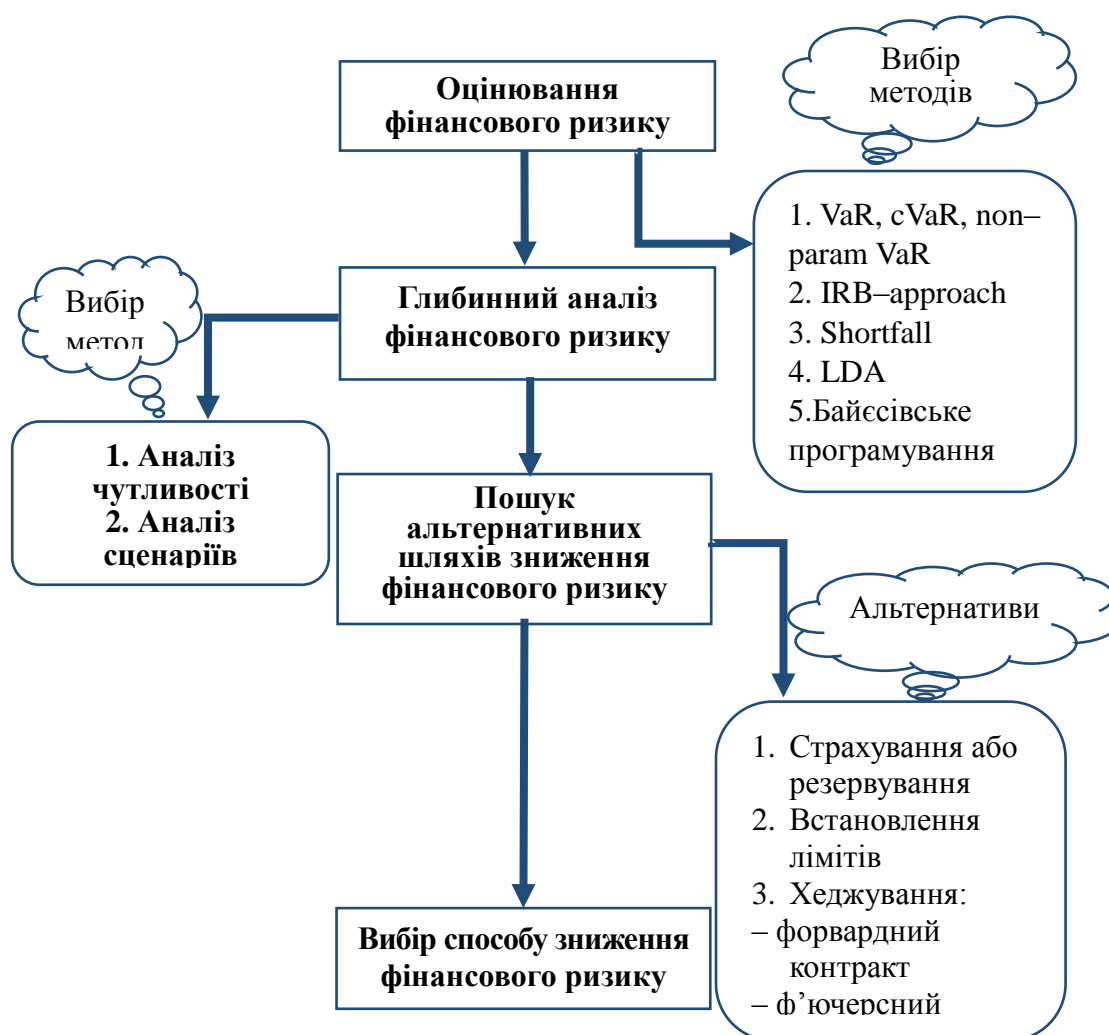


Рис.1. Методологія статистичного опрацювання фінансових ризиків

На третьому етапі відбувається пошук альтернативних шляхів зниження фінансового ризику: за рахунок страхування або резервування (без зменшення ймовірності появи ризиків, а лише з орієнтацією на відшкодування матеріальних збитків від прояву ризиків); встановлення лімітів операцій; хеджування (мінімізація цінового ризику з метою фіксації певного рівня цін) та

диверсифікація (зменшення сукупної схильності до ризику за рахунок розподілу коштів між різними активами, ціна або прибутковість яких слабо корельовані між собою). Сутність диверсифікації полягає у зниженні максимально можливих втрат за одну подію, однак при цьому одночасно зростає кількість видів ризику, які необхідно контролювати. Для хеджування можна використовувати біржові (товарні ф'ючерси та опціони) та позабіржові інструменти (форвардні контракти, свопи тощо) [7].

На останньому, четвертому етапі приймається управлінське рішення щодо фінансового ризику. На основі всіх проаналізованих альтернатив, методів зниження збитків обирається та альтернатива (або навіть комбінація альтернатив), яка дозволяє отримати найменші фінансові втрати і тим самим збільшити прибутковість.

Узагальнюючи описану вище методологію можна виділити такі фактори, що потребують реалізації окремих методів для обробки невизначеностей, пошуку кращої альтернативи стосовно оцінювання ймовірності та рівня ризику, тобто можливих втрат.

1. Статичний випадок:

- ❖ *неповнота вхідних даних* (адаптація для коротких вибірок, обробка неповних даних, урахування інформаційних ризиків)
- ❖ *неструктурованість вхідних даних* (критерії для формування структури моделі R^2, X^2, IV, WOE)
- ❖ оцінювання ризиків *інтегрованими моделями* (нейро-нечіткі методи, дерева рішень, регресійні та байєсові моделі);
- ❖ визначення міри ступеня ризику (*скорингові карти*);
- ❖ вибір *статистичного критерію якості* (*GINI, CA, BS*).

2) Динамічний випадок:

- ❖ момент настання ризику (визначення часу з використанням параметричних, напівпараметричних та непараметричних моделей);
- ❖ визначення ймовірності ризику через *hazard function*;
- ❖ втрати на конкретний момент часу (засоби і методи оцінки).

Ми пропонуємо новий підхід до оцінювання ризиків з урахування фактору часу. Саме момент, в який переходить і змінюється рівень ризику від допустимого до катастрофічного, є найбільш важливим для оцінювання рівня втрат. Ймовірність прояву ризиків також оцінюється і змінюється в часі, і момент, в який ймовірність прояву ризику різко зростає, також може бути оцінений. На рис.2 подана характеристика основних зон ризику через ймовірність прояву ризику та обсяг його можливих втрат.

Динамічний підхід передбачає структурно-параметричну адаптацію ризику з урахуванням фактору часу, тобто урахування таких показників: $\langle PR, Losses, t, S(t|x), \lambda(t|x) \rangle$, де

PR – ймовірність настання ризику;

$Losses$ – рівень максимально можливих втрат;

t – час;

$S(t|x)$ – функція умовного виживання, тобто подальше функціонування компанії навіть після прояву ризику;

$\lambda(t|x)$ – умовний рівень небезпеки, тобто рівень втрат в момент часу t .

Стратегія, яку компанія обере в подальшому для своєї роботи буде суттєво залежати від її фінансових можливостей та толерантності до ризику, тобто того, який рівень ризику і, відповідно, можливих втрат, може на себе прийняти. Формально це множина кривих – функцій виживання.

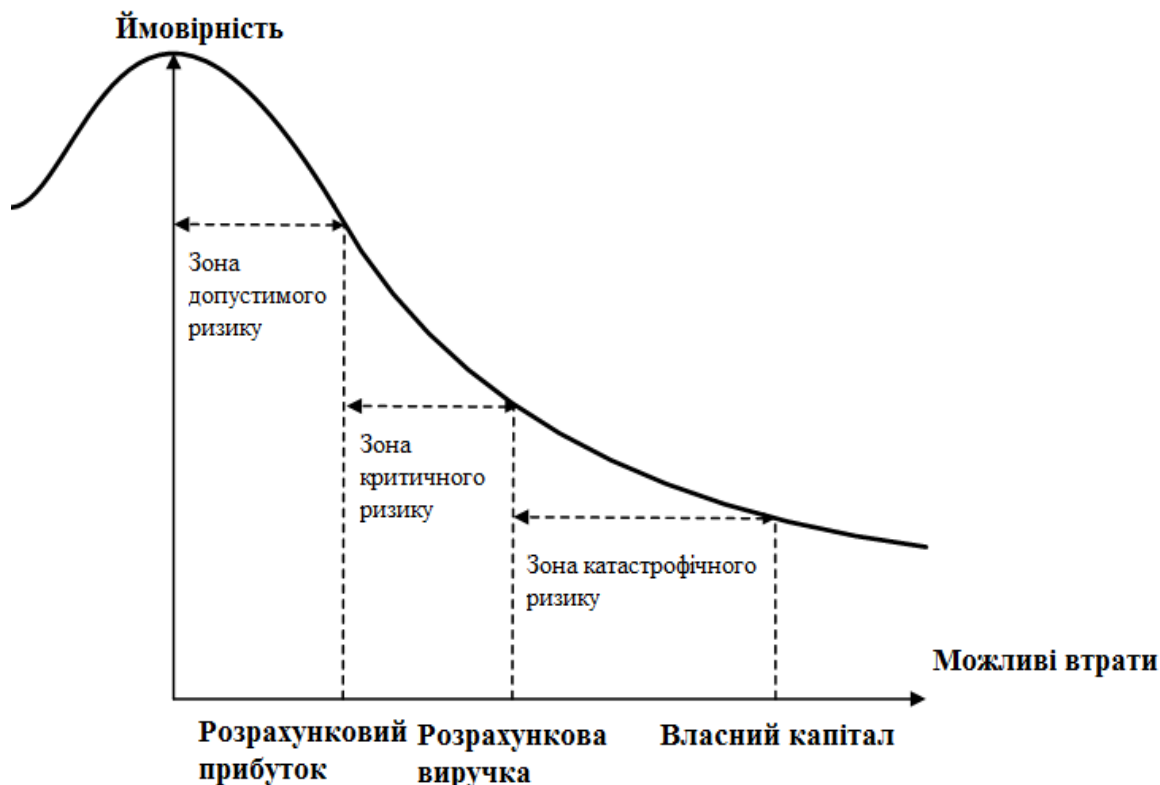


Рис. 2 Характеристика основних зон ризику

$S(t_1|x)$ – функція умовного функціонування компанії на рівні допустимого ризику, в якому вона успішно працює до часу t_1 . В цей момент розмір можливих втрат оцінюється через недоотримання розрахункового прибутку.

$S(t_2|x)$ – функція умовного функціонування компанії на рівні критичного ризику (в момент часу від t_1 до t_2). Можливі втрати компанії вже вираховуються з виручки компанії.

$S(t_3|x)$ – функція умовного функціонування компанії на рівні катастрофічного ризику (в момент часу від t_1 до t_2), коли компанії вже несе втрати з власного капіталу.

$\lambda(t|x)$ – умовний рівень небезпеки (перехід у зону катастрофічного рівня), що призводить великого відтоку клієнтів і великих фінансових втрат.

Визначення рівня небезпеки і ключових моментів часу, які характеризують допустимий, критичний та катастрофічний рівень ризику, є задачею системного аналізу, яку необхідно вирішувати в рамках кожного виду ризику незалежно від типу ризику та галузі, в якій він спостерігається. Ми пропонуємо підхід, що базується на визначенні втрат компанії як допустимих $\lambda(t_1 | x) = c_1$, критичних $\lambda(t_2 | x) = c_2$ та катастрофічних $\lambda(t_3 | x) = c_3$, де c_1, c_2, c_3 – певні константи, які визначаються компанією в залежності від її фінансових оборотів, потужностей, тощо (наприклад, обсяг власного капіталу тощо).

Далі, постає питання визначення саме моментів часу t_1, t_2, t_3 . Для цього ми пропонуємо використати деякі ідеї з теорії виживання.

Деякі припущення теорії аналізу виживання

Для аналізу даних використовується вибірка (популяція), яка характеризується певними ознаками: по кожному об'єкту відомий результат події (загибель чи виживання). Для цього здійснюється один з видів цензурування. Спостереження називаються цензурованими, якщо спостережувана залежна змінна представляє момент настання термінальної події, а тривалість дослідження обмежена за часом. Можливі механізми цензурування змінних такі: фіксоване цензурування (спостереження відбувається протягом фіксованого проміжку часу) та випадкове цензурування (спостереження відбувається протягом проміжку часу, який настає після того часу, коли елементи вибірки пережили певну подію).

Для фіксованого цензурування визначено 2 типи [9]. *Перший тип* цензурування означає, що час цензурування фіксований (знаходиться під контролем дослідника), і всі спостереження мають один і той самий цензурований час. Навіть ті спостереження, які не цензуровані, мають кінцевий час цензурування, визначений дослідником. Це означає, що протягом цього цензурованого часу їх загибель не спостерігалась.

Другий тип цензурування використовується, коли спостереження припиняється після завчасно визначеної частоти (кількості випадків), що сталися. Наприклад, 50 зразків із популяції 100 зразків загинуло. Але таке цензурування не прийнятне для наших досліджень.

При цензуруванні можна вказати напрямок, в якому проводиться цензурування. Наразі існують наступні напрями цензурування: правостороннє цензурування (має місце, коли відомо, в який момент експеримент був розпочатий і що він закінчиться в момент часу, розташований праворуч від точки початку експерименту) та лівостороннє цензурування (якщо немає інформації про те, коли експеримент було розпочато) та інтервальне цензурування (коли відома лише інформація, що час виживання розподілений між змінними a та b ($t \in [a, b]$)).

Оцінка Каплан-Майєра

Ця оцінка має вигляд:

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_j < t} \left(1 - \frac{d_j}{n_j} \right),$$

де d_j – кількість зразків, що вибули під час дослідження (загибель); n_j – кількість зразків, що знаходяться під загрозою вибування (number at risks).

Оскільки візуальне порівняння кривих виживання для різних видів зразків (А, В) не завжди є зручним, то пропонується використовувати такі статистичні критерії [9]:

$$1) \text{LogRank} = \frac{(\sum_{j=1}^r (d_{1j} - e_{1j}))^2}{\text{var}(\sum_{j=1}^r (d_{1j} - e_{1j}))},$$

де e_{1j} – кількість випадків 1-го виду на j -му часовому інтервалі; r – кількість часових проміжків. Цей критерій подібний до χ^2 і використовується, коли функції ризику однакові, а рівень ризику є константою в часі.

$$2) \text{Wilcoxon} = \frac{(\sum_{j=1}^r n_j (d_{1j} - e_{1j}))^2}{\text{var}(\sum_{j=1}^r n_j (d_{1j} - e_{1j}))}$$

Він дуже чутливий до зразків, що цензуються. Рекомендовано використовувати до ранніх періодів дослідження.

Пропорційні ризики Кокса

Девід Кокс у своїй роботі [10] висунув припущення, що ризик є пропорційною функцією. Найпростіша функція, яка визначає, що ризик є константою в часі: $h(t) = \lambda$, або що еквівалентно $\log h(t) = \mu$.

Оскільки $S(t) = \exp[-\int_0^t h(u) du]$, то після підстановки та інтегрування отримуємо: $S(t) = e^{-\lambda t}$, а $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$. Це функція щільності ймовірності, яка має відомий експоненційний розподіл з параметром λ . Таким чином, сталий ризик передбачає експоненційний розподіл для часу, поки не наступить подія (або час між подіями).

Оцінка функції умовного рівня небезпеки визначається наступним чином:

$$\hat{\lambda}(t | x) = \hat{\lambda}_0(t) \exp(x^T \hat{\beta}),$$

де $\hat{\lambda}_0(t)$ є оцінкою базової функції рівня небезпеки $\lambda_0(t)$, а $\hat{\beta}$ – оцінка вектора параметрів β .

Таким чином, за припущення про модель пропорційних ризиків, ймовірність настання ризику для моделі пропозиційних ризиків PD оцінюється так [10,11]:

$$PD^{\hat{\beta}^{PHM}}(t|x) = \frac{\hat{F}_{\hat{\beta}}(t+b|x) - \hat{F}_{\hat{\beta}}(t|x)}{1 - \hat{F}_{\hat{\beta}}(t|x)} = 1 - \frac{\hat{S}_{\hat{\beta}}(t+b|x)}{\hat{S}_{\hat{\beta}}(t|x)},$$

де $1 - \hat{F}_{\hat{\beta}}(t|x) = \hat{S}_{\hat{\beta}}(t|x) = \exp(-\hat{\Lambda}(t|x))$.

Метод оцінювання для цієї моделі складається з двох кроків. На першому етапі інтегральна функція базового ризику $\Lambda_0(t)$, оцінюється таким чином:

$$\hat{\Lambda}_0(t) = \frac{\sum_{i=1}^n 1\{Y_i \leq t, \delta_i = 1\}}{\sum_{j=1}^n 1\{Y_j \geq Y_i\}}.$$

Тоді параметр β оцінюється так: $\hat{\beta}^{PHM} = \arg \max_{\beta} L(\beta)$, де часткова функція правдоподібності задається так:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \frac{\exp(x_i^T \beta)}{\left(\sum_{j=1}^n 1\{Y_j > Y_i\} \exp(x_j^T \beta) \right)}.$$

Таким чином, оцінка умовної інтегральної функції ризику обчислюється за формулою [12]:

$$\hat{\Lambda}(t|x) = \int_0^t \hat{\lambda}(s|x) ds = \exp(x^T \hat{\beta}^{PHM}) \hat{\Lambda}_0(t)$$

Для апробації запропонованого динамічного підходу виконано експериментальне моделювання на прикладі оцінювання фінансових втрат, зокрема оцінювання ліквідності компанії через можливі втрати її клієнтів.

Приклад динамічного моделювання

Для прикладу використано реальні дані української телекомунікаційної компанії, а втрати компанії оцінено через втрату її клієнтів і можливість недоотримання доходу.

Опис вхідних даних. Вхідна вибірка – інформація про активність 150 тисяч абонентів в мережі протягом 15 місяців за 84 характеристиками. На основі даних побудовані статистичні моделі за відібраними 10 основними показниками та 5-ма додатковими, що описували кількість хвилин вхідних та вихідних дзвінків на стаціонарні номери та на мобільні номери інших

операторів, вихідних дзвінки цього ж оператора в одному регіоні та в інші регіони, вихідних дзвінків на мобільні інших операторів, всередині мережі, закордон, кількість мегабайт спожитого інтернет-трафіку, кількість надісланих СМС, дата активації абонента, його стать, вік, індикатор, чи є він корпоративним клієнтом, моделі пристрою зв'язку (мобільний телефон, планшет тощо) та вихідна змінна – чи залишається даний абонент клієнтом компанії (gone).

Насправді телекомунікаційна компанія здійснює свою діяльність і досліджує своїх клієнтів з метою:

- 1) Запропонувати клієнтам певні додаткові послуги. Спостерігаючи за поведінкою своїх клієнтів, їх уподобаннями, чи користуються вони наприклад, інтернетом, компанія може запропонувати свої мобільні додатки для спілкування в соціальних мережах, тощо.
- 2) Залучити нових клієнтів. Наприклад, ті, кому дзвонить клієнт найчастіше (друзі, родина) можуть отримати бонуси на рахунок, якщо придбають номер, скориставшись послугою «Приведи друга».
- 3) Збільшити продаж існуючих послуг. Збільшити обсяг пакету інтернету, кількість пакетних хвилин та СМС.
- 4) Збільшити лояльність клієнта, пропонуючи йому вигідні тарифи і супутні товари (мобільні телефони за привабливими цінами).
- 5) Партнерські послуги. Нарахування додаткових балів за користування власними додатками при сплаті за товари на автозаправках, торговельних центрах, тощо.
- 6) План розвитку мережі. Встановлення додаткових мобільних станцій, налаштування нових стандартів зв'язку, покриття нових регіонів, розвиток домашнього інтернету та телебачення тощо.
- 7) Оптимізація власних витрат. Заохочення за вхідні дзвінки від інших операторів, переорієнтація клієнтів на дзвінки всередині мережі, коректне формування тарифів на більш дорогі послуги (наприклад, роумінг в інших країнах).

Так чи інакше, описані вище цілі дослідження клієнтів мають враховувати саме фінансові ризики, пов'язані з діяльністю конкурентів, ринку в цілому, кон'юнктурними змінами, пов'язаними з появою нових технологій (наприклад, безкоштовних мобільних додатків для спілкування типу Viber, Whatsapp, Skype).

Зупинимось детальніше на оцінюванні ризику ліквідності компанії, тобто прогнозуванні надходжень від клієнтів в наступні періоди та оцінювання можливого відтоку клієнтів. Спочатку здійснювалось моделювання фінансових ризиків з використанням методів інтелектуального аналізу даних (нейронні мережі, градієнтний бустинг, випадковий ліс, логістична регресія) і прогнозування самого факту відтоку абоненту, тобто оцінювання ймовірності настання такого ризику для конкретного абонента та популяції в цілому. Найкращі результати за характеристикою AUC (площа під кривою) показав

градієнтний бустинг, за точністю моделі, тобто здатністю прогнозувати саме відток абонентів, показав класифікатор випадковий ліс (табл. 1) [13].

Побудовано різні типи моделей непараметричного умовного розподілу з використанням оцінок LogRank та Wilcoxon та отримані такі статистики (рис. 3).

Таблиця 1.

Порівняння моделей на тестовій вибірці

Модель	precision	Recall	F1	F0.5	AUC
Градiєнтний бустинг	0,70	0,64	0,66	0,68	0,842 ± 0,005
Випадковий ліс	0,72	0,60	0,65	0,69	0,832 ± 0,008
Нейронні мережі	0,69	0,59	0,63	0,66	0,825 ± 0,007
Логістична регресія	0,63	0,37	0,46	0,55	0,842 ± 0,002

Rank Statistics		
SUBSCRIPTION_TYPE_CODE	Log-Rank	Wilcoxon
CRP	-128.7	-36172
f	-1829.5	-3.327E8
m	1958.2	3.3269E8

Covariance Matrix for the Log-Rank Statistics			
SUBSCRIPTION_TYPE_CODE	CRP	f	m
CRP	979.7	-622.9	-356.8
f	-622.9	14248.8	-13625.9
m	-356.8	-13625.9	13982.7

Covariance Matrix for the Wilcoxon Statistics			
SUBSCRIPTION_TYPE_CODE	CRP	f	m
CRP	1.116E13	-7.09E12	-4.07E12
f	-7.09E12	1.736E14	-1.66E14
m	-4.07E12	-1.66E14	1.706E14

Test of Equality over Strata			
Test	Chi-Square	DF	Pr > Chi-Square
Log-Rank	280.6203	2	<.0001
Wilcoxon	654.6026	2	<.0001
-2Log(LR)	242.8871	2	<.0001

Рис.3 Моделювання ризиків з використанням оцінок LogRank та Wilcoxon

Таке моделювання є доволі суб'єктивним і прогнозує ризик для окремих осіб, але не дає відповіді як зменшити його, тобто який момент часу є найбільш критичним, які характеристики на це можуть впливати. Тому було продовжено дослідження з використанням запропонованого динамічного підходу.

Оскільки дані у вибірці представлені за кожний місяць як статистика по абонентах, які обслуговуються, то необхідно було виконати групування даних, щоб отримати інформацію по конкретному абоненту за весь період його обслуговування.

Далі здійснено побудову моделей виживання, тобто прогнозування продовження обслуговування клієнтів в залежності від його типу (корпоративний чи приватний клієнт) (рис. 4). На рис. 4 чітко можна відстежити потенційний відтік клієнтів через 1-2 місяці, коли закінчуються наперед проплачені суми коштів, акційні пропозиції, або просто були тимчасові абоненти, які купували номери для користування послугами зв'язку в Україні, на відпочинку або у відрядженні.

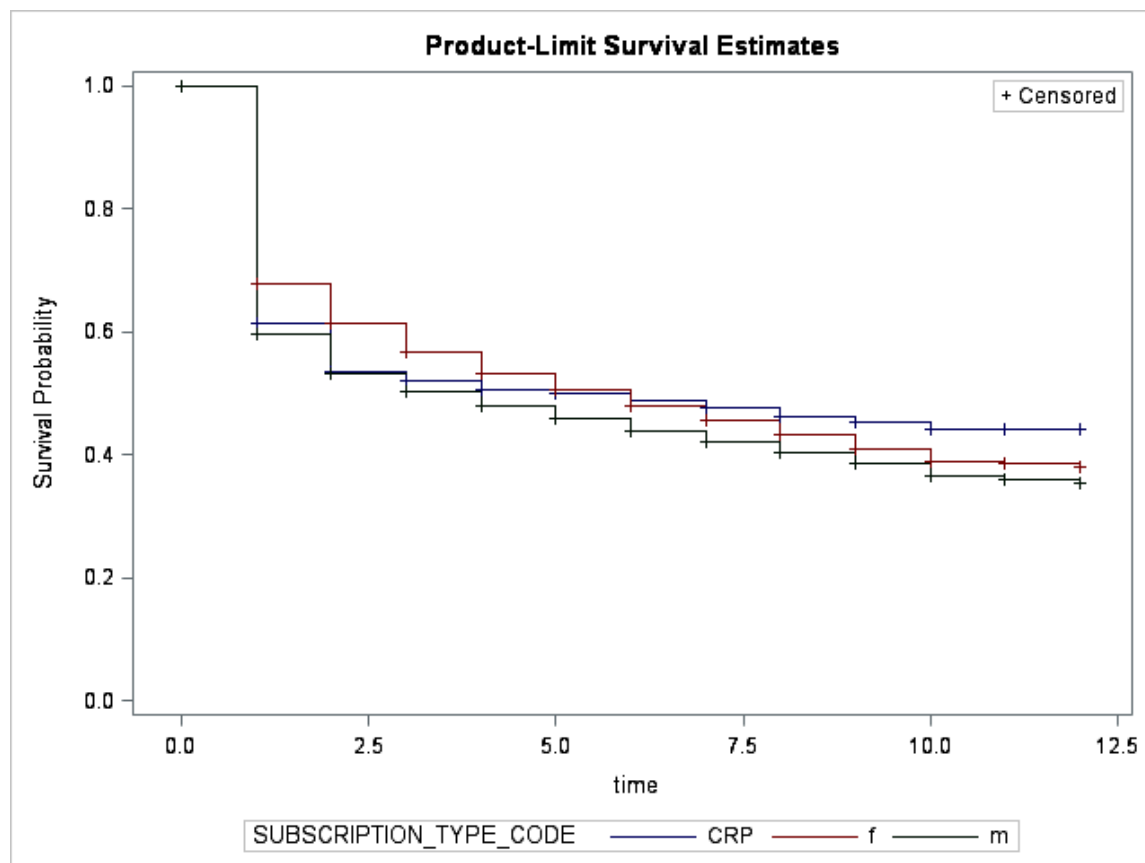


Рис.4 Графіки функцій виживання для згрупованих даних

Іншим цікавим моментом для прогнозування є період, коли ймовірність відтоку клієнтів перевищує 50%. Цей період для чоловіків настає через 3 місяці користування послугами, для корпоративних клієнтів через 4 місяці і через 5 місяців для жінок. Така статистика є достатньо правдоподібною з точки зору

більш швидкого прийняття рішення чоловіками і більш постійних у своїх уподобання жінок. Для корпоративних клієнтів такий період формується правилами політики телекомунікаційної компанії, тобто списання абонентської плати за місяць протягом першого календарного дня і, відповідно, затримання відтоку клієнтів на місяць, пов'язане з необхідністю подачі та обробки заявки на відмову від користування послугами.

Для кожної групи клієнтів може бути оцінений рівень ризику залежно від фактору часу (рис. 5) та обсяг можливих втрат. Залежно від фінансової ситуації компанії можуть бути здійснені переоцінювання сукупного рівня ризику через можливі втрати. Для цього оцінюється сукупний рівень втрат без деталізації по типах клієнтів і, відповідно, сукупних втратах за моделлю Кокса і сукупною функцією ризику або окремо будуються моделі збитковості по типах клієнтів.

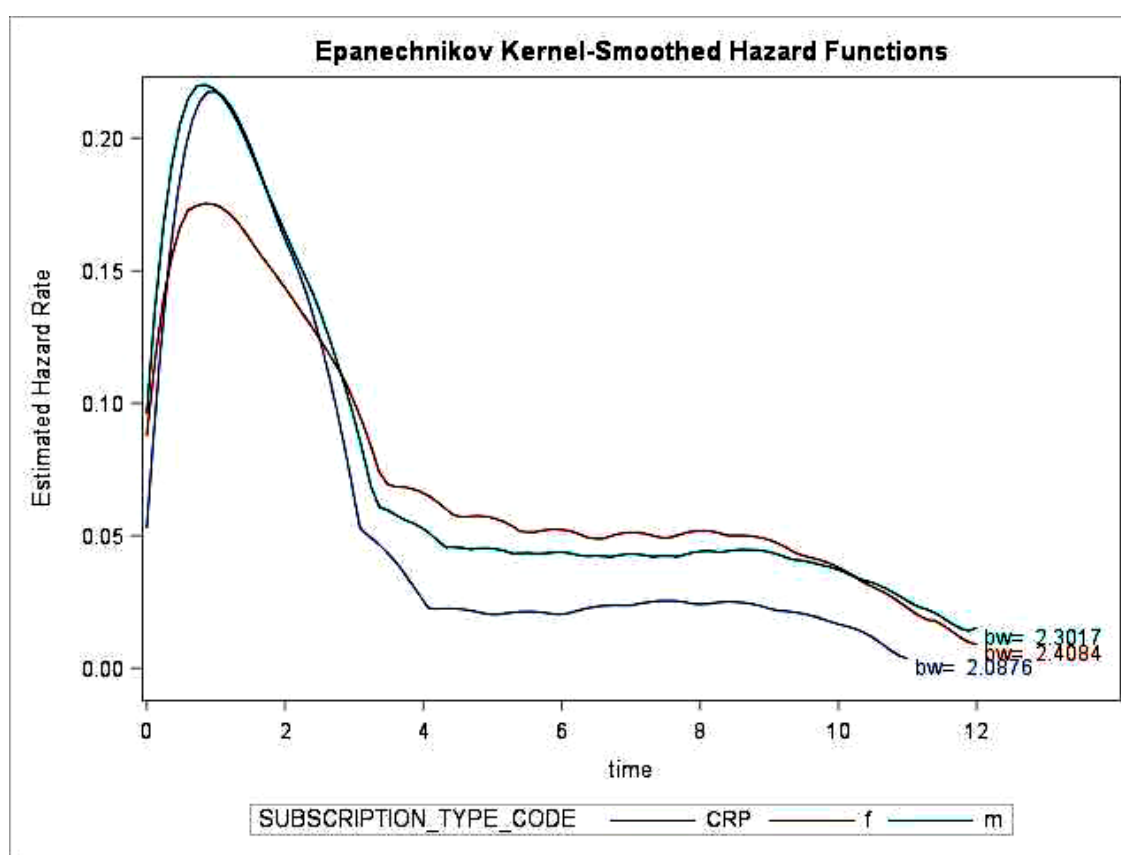


Рис. 5. Графік функції збитковості для згрупованих даних

Якщо на початковому етапі визначити, що телекомунікаційна компанія вважає допустимим рівнем ризику такий, рівень якого за функцією ризику не більше $\lambda(t_1) = 0,15$, критичний не більший $\lambda(t_2) = 0,3$, а катастрофічний більший $\lambda(t_3) = 0,4$, то відповідно за окремими групами клієнтів не відбувався перехід ризику в зону критичного чи катастрофічного ризику, а найбільший рівень втрат спостерігався серед груп чоловіків та корпоративних клієнтів через 1 місяць та 1,5 місяці.

Висновки

Динамічне оцінювання та моделювання ризиків, запропоноване в даній статті, є ефективним засобом для планування діяльності компанії у цілому, оскільки дозволяє визначити не лише допустимий для компанії рівень ризику, але й оцінити його ймовірність та спрогнозувати момент часу, коли цей ризик перейде на критичний рівень. Таким чином можна здійснювати планування ризикової діяльності, оцінювати рівень забезпечення її капіталом. Динамічне моделювання буде корисним для банків та українських фінансових компаній, які працюють на ринку в умовах перехідного періоду і змушені швидко реагувати на зовнішні впливи, ведуть агресивну комерційну діяльність і змушені реагувати на дії конкурентів. Крім того, цей підхід може бути рекомендованим для використання у Національному банку України для проведення стрес-тестування українських фінансових компаній, для оцінювання їх діяльності і своєчасного виявлення та реагування на економічні проблеми всередині таких компаній.

У подальших дослідженнях передбачається розширення номенклатури математичних моделей для динамічного аналізу ризиків фінансових втрат, зокрема будуть створені моделі у формі динамічних байєсівських мереж і байєсівської регресії, нейронечіткі моделі та алгоритми байєсівської фільтрації.

Література

1. Вітлінський В.В. Концептуальні засади ризикології у фінансовій діяльності / В.В. Вітлінський // *Фінанси України*. – 2009. – № 3. – С. 4.
2. Загородній А.Г. Фінансово-економічний словник / А.Г. Загородній, Г.Л. Вознюк. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2008. – 498 с.
3. Воробьев С. Н. Системный анализ и управление рисками в предпринимательстве: Учеб.пособие / С.Н. Воробьев, К.В.Бадин. – М.: Из-во Московского психолого-социального института; Воронеж, Из-во НПО «МОДЭК», 2009. – 760 с.
4. Altman Edward. *Corporate Financial Distress and Bankruptcy*, 3rd edition. – John Wiley and Sons, 2005. – ISBN 0471552534.
5. Кузнєцова Н. В. Практичні підходи до визначення та урахування невизначеностей, що формують фінансові ризики / Н.В. Кузнєцова // *Тр. Одес. политехн. ун-та*. – Одесса, 2014. – Вып. 2(44). – С. 160–170.
6. International Convergence of Capital Standards. A revised Framework // *Basel Committee of Banking Supervision*. — Basel. — Updated November 2005. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.bis.org/publ/bcbsca.htm>.
7. [Електронний ресурс] URL: <http://www.hr-portal.ru/article/kak-snizit-finansovye-riski-kompanii-ili-hto-takoe-finansovyy-risk-i-kak-s-nim-borotsya>.

8. Рзаев Р.Р. Автоматизированная информационная система комплексной оценки финансовой устойчивости коммерческих банков /Рзаев Р.Р., Бабаева С.Т., Бабаев Т.А.// Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2017. – № 3. – С.71-86.
9. Allison P. D. Survival Analysis Using SAS: A Practical Guide, Second Edition. – Cary, NC: SAS Institute Inc. – 2010. –324 p.
10. Cox D.R. Regression Models and Life-Tables// Journal of the Royal Statistical Society, Series B. – 1972. – Vol. 34, No2. – pp. 187–220.
11. Кузнєцова Н. В. Моделирование кредитных рисков на основе теории выживания / Н. В. Кузнєцова, П. И. Бідюк // Проблемы управления и информатики. – 2017. – №6. – С 33 – 46.
12. Stepanova M. Survival analysis methods for personal loan data / M. Stepanova, L. C. Thomas // Operations Research. — 2002. — Vol. 50, No. 2. — P. 277–289.
13. Кузнєцова Н.В. Моделювання фінансового ризику в телекомунікаційній сфері / Н.В. Кузнєцова, П.І. Бідюк // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2017. – № 5. – С. 51–58.