Приймак В.І.,
доктор економічних наук,
професор кафедри інформаційних систем у менеджменті
Львівського національного університету
імені Івана Франка

Куприй Н.А.,
аспірант кафедри інформаційних систем у менеджменті
Львівського національного університету
імені Івана Франка

МОДЕЛЮВАННЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ОПЦІОННОЇ СТРАТЕГІЇ

Пропонується економіко-математична модель вибору оптимальної опціонної стратегії за умов невизначеності фондового ринку, яка може бути використана при прийнятті рішень щодо інвестування в опціони суб'єктами ринку цінних паперів.

An economic-mathematical model for the selection of optimal option strategy given the inherent unpredictability of the stock market is proposed. Modeling is based on the theory of Sugeno's integral. This model may be utilized in decision making regarding options purchasing by investors in the stock market.

Фондовий ринок є багатогранною соціально-економічною системою, фундаментом функціонування економіки кожної країни. Хоча ринок цінних паперів України має порівняно коротку, вісімнадцятирічну, історію, за цей час сформувалися його інфраструктура й законодавча база. З кожним роком дедалі більших обсягів набувають торговельні операції з акціями й облігаціями. Що стосується ринку деривативів, то в нашій країні він ще не достатньо розвинений, хоча залишається перспективним сектором фондового ринку України. У зв'язку з цим на часі — розроблення сучасних методів оцінювання стану ринку цінних паперів у цілому й ринку деривативів зокрема та побудова моделей, які допомагатимуть інвесторам ефективно вкладати свої кошти залежно від ситуації на цих ринках.

Одним із найпоширеніших фінансових активів на ринку деривативів є опціон. Поряд із тим, що в разі неправильних прогнозів власником опціону щодо формування ціни базового активу в майбутньому втрачається сума сплаченої премії, існує ряд переваг інвестування в опціони, а саме: теоретично необмежений дохід, що залежить від темпів зростання ціни базового інструмента, обмежені (розміром опціонної премії) втрати, можливість отримання великого прибутку від інвестованого капіталу за порівняно невеликого зростання ціни базового активу. Тому особливо актуальним і цікавим є моделювання поведінки інвестора на ринку з використанням опціонів та їх комбінацій.

Безперечно, при виборі інвестором оптимальної поведінки на фондовому ринку та прийнятті ефективного рішення надзвичайно важливим є врахування невизначеності цього ринку. Вона пов'язана з тим, що при моделюванні процесів ціноутворення неможливо приділити належну увагу всім зовнішнім чинникам, а також спрогнозувати реакцію ринку на ці процеси. Тому особливо великого значення набувають модифікації існуючих та формулювання й дослідження нових економіко-математичних моделей, що адекватно описують поведінку фінансових інструментів на ринку цінних паперів із урахуванням фактора невизначеності. Найефективнішим у цьому напрямі є нечітке економіко-математичне моделювання, яке, спираючись на теорію нечітких множин, нечіткого програмування й інтеграла Судження, адекватно відтворює процеси на фондовому ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про значний інтерес вітчизняних і зарубіжних науковців до проблеми моделювання економічних процесів на фондовому ринку із застосуванням нечіткої логіки. Так, А. Матвійчук[1] запропонував модель прогнозування курсу цінних паперів із використанням нейронних мереж і застосуванням правил розвитку хвиль Елліотта, О. Недосєкін[2] розробив нечіткий підхід до оцінювання інвестицій у цінні папери й деривативи. Значний внесок у нечітке економіко-математичне моделювання зробили М. Сявавко й О. Рибицька[3], котрі розробили алгоритм нечіткого лінійного програмування й дослідили застосування нечітких мір та інтегралів у економічних задачах.

Як показують результати цих та інших досліджень, нечітка теорія виправдовує себе та досить адекватно описує поведінку фінансових активів на ринку. Однак сьогодні надзвичайно цікавими є моделі, які синтезують усі попередні результати та дають змогу не лише спрогнозувати ситуацію на фондовому ринку, а й адекватно оцінити можливості інвестора на ньому, аби той міг зробити правильний вибір.

Отже, мета даної статті полягає в побудові економіко-математичної моделі вибору оптимальної опціонної стратегії за умов невизначеності ринку цінних паперів із використанням теорії нечіткого інтеграла Суджено.

Слід зазначити, що на сучасному етапі розвитку фондового ринку для проведення ґрунтовного економічного аналізу вже не достатньо елементарних розрахунків. Протягом останніх десятиліть емітентами, інвесторами, професійними учасниками, аналітиками та іншими суб'єктами ринку цінних паперів розробляються економіко-математичні моделі оцінювання ситуації на цьому ринку, прогнозування тенденцій зміни його фінансово-економічних показників і активів. На підставі цих математичних моделей учасниками ринку цінних паперів приймаються рішення щодо вибору стратегії.

---

[1] *Матвійчук А.В.* Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки. — К.: КНЕУ, 2007. — С. 60—77.

[2] *Недосекин А.О.* Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. — СПб.: Сезам, 2002. — С. 95—128.

[3] *Сявавко М., Рибицька О.* Математичне моделювання за умов невизначеності. — Л.: Українські технології, 2000. — 319 с.

Перед кожним інвестором, який виходить на ринок із метою отримання прибутку, постає проблема вибору оптимальної стратегії поведінки. Оскільки фондовий ринок характеризується великим ступенем невизначеності, дуже важко, а інколи й цілком неможливо адекватно спрогнозувати його майбутню кон'юнктуру та вибрати стратегію, яка з часом виправдала б себе.

Із розвитком вітчизняного фондового ринку дедалі більше уваги приділяється інвестуванню в похідні цінні папери, зокрема опціони, адже вони є контрактами, які не накладають обмежень на поведінку інвестора, а лише дають йому можливість придбати чи продати в майбутньому певний фінансовий актив за обумовленою ціною. Вартість такого контракту є незначною порівняно із прибутком, який може отримати інвестор у разі правильного передбачення ситуації на ринку. Отже, інвестування коштів у опціони є надзвичайно вигідною стратегією, а прибутки від цього інвестування теоретично можуть бути необмеженими.

На сьогодні існує надзвичайно велика кількість опціонних комбінацій, або, як їх ще називають, опціонних стратегій[4]. Окрім того, кожен інвестор може виступати творцем власної стратегії, що відповідає особистим переконанням, відображає його ставлення до ризику, а також враховує ту кількість грошових ресурсів, яку він має намір інвестувати в дані фінансові інструменти.

До базових і водночас найпоширеніших опціонних стратегій належать довгий опціон купівлі, довгий опціон продажу і стелаж. Вкладаючи кошти в опціони купівлі, інвестор розраховує на підвищення ринкової ціни базового активу, а обираючи інвестування в опціони продажу — навпаки, на зниження. Отже, купуючи лише опціон, його власник вибирає певний вектор тенденцій зміни фінансово-економічних показників і активів ринку.

Власник опціону купівлі розраховує отримати прибуток як різницю між фінальною ціною базового активу S_T та ціною виконання опціону X_C. Якщо ця різниця покриває затрати на дану стратегію — премію опціону купівлі C, то його власник одержує прибуток, у протилежному випадку — збиток. Дохідність цієї стратегії $I_T{}^C$ обчислюють за формулою:

$$I_T{}^C = \max\left(S_T - X_C, 0\right) - C. \qquad (1)$$

Аналогічним чином визначають дохідність від придбання опціону продажу. В цьому випадку інвестор отримує прибуток, якщо різниця між ціною виконання опціону продажу X_p та фінальною ціною базового активу S_T є більшою від затраченої суми — ціни P опціону продажу. Дохідність I_T^P цієї стратегії розраховують за формулою:

$$I_T{}^P = \max\left(X_P - S_T, 0\right) - P. \qquad (2)$$

[4] *Cohen G.* The Bible of Options Strategies: The Definitive Guide for Practical Trading Strategies. — Upper Saddle River, New Jersey: Financial Times Prentice Hall, 2005. — 356 p.

Синтезом даних стратегій є стелаж — комбінація із двох опціонів (купівлі і продажу) з тією ж ціною виконання X_{CP}. У цьому разі власник стелажу розраховує лише на коливання ціни базового активу опціону, незалежно від його напряму. Тобто інвесторові байдуже, підвищиться ціна чи знизиться, головне, щоб вона змінилася; до того ж більші зміни приведуть до отримання вищого прибутку. Здавалося б, ця стратегія є універсальною, однак найкраще використовувати її на волатильному ринку, коли є впевненість у тому, що ціни базового активу коливатимуться. Адже залучення до стратегії додаткового деривативу вимагає сплати більшої премії. Дохідність I_T^{CP} від інвестування у стелаж обчислюють за формулою:

$$I_T^{CP} = I_T^{C} + I_T^{P} = \max\left(S_T - X_{CP}, 0\right) + \max\left(X_{CP} - S_T, 0\right) - C - P. \quad (3)$$

Зауважимо, що за формулами (1)—(3) розраховують втрати і збитки власника стратегії на підставі прогнозованого значення ціни базового активу, проте вони не надають повної інформації в разі, коли інвестор діє в умовах невизначеності й майбутню ціну акції неможливо спрогнозувати одним значенням. Цю проблему розв'язують із допомогою теорії нечітких множин, мір та інтегралів. Зокрема, досить ефективною є методика моделювання на підставі теорії інтеграла Суджено. У фінансово-економічних задачах нечіткий інтеграл Суджено застосовують для комплексного оцінювання певного проекту, визначення ступеня можливості появи певної події, у задачах багатокритеріального вибору для отримання середньої оцінки й визначення тієї з можливостей, яка була б підставою для прийняття оптимального рішення. У своїй роботі ми використаємо підхід до визначення інтеграла Суджено для нечіткого числа із трикутною функцією належності[5].

Спробуємо застосувати теорію нечіткого інтеграла Суджено при побудові економіко-математичної моделі вибору оптимальної опціонної стратегії, враховуючи фактор невизначеності фондового ринку. Моделювання виконуватимемо з використанням нечітких трикутних чисел. Зупинимося на опціонах європейського стилю, базовим активом яких є акції. Сутність моделі, яку розглядатимемо, полягає в тому, щоб на підставі різних можливих дохідностей базових опціонних стратегій, провівши їх певну комплексну оцінку з допомогою інтеграла Суджено, вибрати одну, яка була б підставою для прийняття рішення інвестором. Моделювання проведемо у три етапи.

На *першому етапі* визначимо можливі стани ринку акцій, відповідні нечіткі трикутні числа ціни котирування акцій та їх імовірнісні характеристики. Як відомо, існують різні підходи до визначення можливих станів фондового ринку. Зокрема, О. Недосєкін виділяє чотири стани ринку цінних паперів: бичачий (зростаючий), ведмежий (спадний), нейтральний і волатильний[6]. Дещо інший поділ

[5] *Рибицька О., Сявавко М.* Математичні аспекти відновлення інформації. — Л.: Растр, 2008. — С. 294—299.

[6] *Недосекин А.О.* Зазнач. праця.

зустрічаємо в Г. Кохена[7]. На його думку, класифікацію фондового ринку доречно проводити за двома ознаками: напрямом зміни ціни фінансових інструментів та волатильністю ринку. За першою ознакою він виділяє три стани ринку: бичачий, ведмежий і нейтральний, а за другою — ринки з високою й низькою волатильністю. Ми також схильні до окремого поділу ринку цінних паперів за волатильністю та вважаємо за доцільне дещо розширити його класифікацію за напрямом руху цін фінансових активів.

Отож для оцінювання ситуації на ринку акцій виділимо п'ять його станів: значне спадання, спадання, нейтральність, зростання та значне зростання. Числові характеристики цих станів ринку (діапазон зміни фінансових параметрів) будуть відрізнятися залежно від обраної акції й терміну інвестування, тому пропонуємо після вибору конкретної акції розглянути статистичні дані її цін котирування протягом певного часу. Оскільки в нашій моделі ми передбачаємо використання опціонів європейського стилю з терміном дії T, то аналіз статистичних даних проводитимемо шляхом розбиття терміну спостереження на N всеможливих T-періодних проміжків часу. Після цього обчислимо відносні зміни ціни акції в кінці кожного періоду T та виділимо інтервали відносної зміни ціни акції у відсотках $[S^i_{T1}, S^i_{T3}]$, $(i = \overline{1,5})$ для кожного із п'яти станів ринку акцій. Знайшовши середнє значення S^i_{T2} відносної зміни ціни акції в кожному інтервалі $[S^i_{T1}, S^i_{T3}]$, $(i = \overline{1,5})$ та порахувавши відповідні відхилення від середнього, отримаємо нечітке трикутне число відносної зміни ціни акції у відсотках за період T для кожного зі станів ринку у вигляді:

$$\left[\tilde{S}_{Ti}, \tilde{\beta}_i; \tilde{\gamma}_i\right],\ \left(i = \overline{1,5}\right). \tag{4}$$

Тут для кожного із п'яти станів ринку $\tilde{S}_{Ti}$ — середнє значення відносної зміни ціни акції у відсотках; $\tilde{\beta}_i$ — відхилення вліво, $\tilde{\gamma}_i$ — відхилення вправо відносної зміни ціни акції у відсотках від свого середнього значення, $\tilde{\beta}_i \geq 0$, $\tilde{\gamma}_i \geq 0$. Зв'язок між записом нечіткого трикутного числа у вигляді (4) та його записом із допомогою трикутної функції належності $[\tilde{S}^i_{T1}, \tilde{S}^i_{T2}, \tilde{S}^i_{T3}]_\Delta$, де $\tilde{S}^i_{T1}$ — мінімально можливе, $\tilde{S}^i_{T2}$ — найбільш очікуване, $\tilde{S}^i_{T3}$ — максимально можливе значення, можна подати у вигляді:

$$\tilde{S}^i_{T1} = \tilde{S}_{Ti} - \tilde{\beta}_i,\ \tilde{S}^i_{T2} = \tilde{S}_{Ti},\ \tilde{S}^i_{T3} = \tilde{S}_{Ti} + \tilde{\gamma}_i. \tag{5}$$

Отже, для кожного із п'яти станів ринку з урахуванням (4) ми отримаємо нечітке трикутне число відносної зміни ціни акції у відсотках $[\tilde{S}_{Ti}, \tilde{\beta}_i, \tilde{\gamma}_i]$, $(i = \overline{1,5})$. Для визначення ймовірності цих станів і відповідних нечітких трикутних чисел відносної зміни ціни акції у відсотках скористаємося класичним підходом:

$$p_i = \frac{n_i}{N},\ \left(i = \overline{1,5}\right), \tag{6}$$

де n_i — кількість відносних змін ціни акції $\tilde{S}^*_{Ti}$, що потрапили в $[\tilde{S}_{Ti}, \tilde{\beta}_i, \tilde{\gamma}_i]$, $(i = \overline{1,5})$ у серії з N спостережень.

[7] *Cohen G.* Зазнач. праця.

Оскільки ми хочемо з'ясувати, як на підставі різних можливих майбутніх значень дохідності кожної зі стратегій вибрати оптимальну, нам потрібно знайти можливі інтервали зміни ціни котирування акції. Для цього переведемо (4) в нечітке трикутне число фінальної ціни акції $[S_{Ti}, \beta_i, \gamma_i]$ згідно з формулами:

$$S_{Ti} = S + \frac{S \cdot \tilde{S}_{Ti}}{100},\ \beta_i = \frac{S \cdot \tilde{\beta}_i}{100},\ \gamma_i = \frac{S \cdot \tilde{\gamma}_i}{100},\ \left(i = \overline{1,5}\right), \tag{7}$$

де S — поточна ринкова ціна акції.

Тепер перейдемо до *другого етапу* моделювання, тобто до задачі обчислення премій C і P опціонів купівлі і продажу відповідно та визначення нечітких трикутних чисел дохідності базових опціонних стратегій. Для обчислення премій C і P скористаємося формулою Блека — Шоулса[8], згідно з якою:

$$C = SN\left(d_1\right) - Xe^{-rT} N\left(d_2\right), \tag{8}$$

$$P = Xe^{-rT} N\left(-d_2\right) - SN\left(-d_1\right), \tag{9}$$

$$d_1 = \frac{\ln\frac{S}{X} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}},\ d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}.$$

Тут X — ціна виконання опціону, r — річна безризикова процентна ставка, σ — волатильність акції, T — термін дії опціону (в роках), $N(\cdot)$ — функція стандартного нормального розподілу.

За відомих значень параметрів C і P на підставі формул (1)—(3) в загальному випадку для нечіткого трикутного числа фінальної ціни акції $[S_{T1}, S_{T2}, S_{T3}]_\Delta$ нечіткі трикутні числа дохідності стратегій визначимо так:

$$\begin{aligned}&\left[I_{T1}{}^C, I_{T2}{}^C, I_{T3}{}^C\right]_\Delta = \\ &= \left[\max\left(S_{T1} - X_C, 0\right) - C, \max\left(S_{T2} - X_C, 0\right) - C, \max\left(S_{T3} - X_C, 0\right) - C\right]_\Delta,\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}&\left[I_{T1}{}^P, I_{T2}{}^P, I_{T3}{}^P\right]_\Delta = \\ &= \left[\max\left(X_P - S_{T1}, 0\right) - P, \max\left(X_P - S_{T2}, 0\right) - P, \max\left(X_P - S_{T3}, 0\right) - P\right]_\Delta,\end{aligned} \tag{11}$$

$$\left[I_{T1}{}^{CP}, I_{T2}{}^{CP}, I_{T3}{}^{CP}\right]_\Delta = \left[I_{T1}{}^C + I_{T1}{}^P, I_{T2}{}^C + I_{T2}{}^P, I_{T3}{}^C + I_{T3}{}^P\right]_\Delta. \tag{12}$$

Третім етапом є застосування нечіткого інтеграла Суджено для вибору оптимальної за дохідністю стратегії. В загальному випадку нечіткий інтеграл Суджено від функції $h : X \to [0,1]$ за нечіткою мірою g на множині X визначається так[9]:

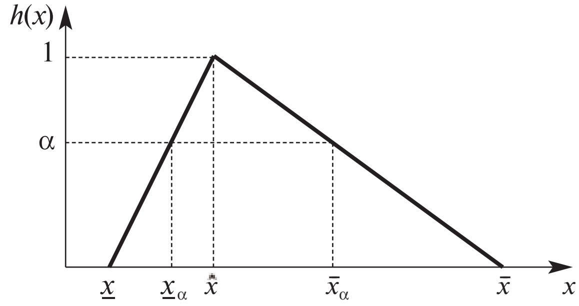
[8] *Black F., Scholes M.J.* The Pricing of Options and Corporate Liabilities // Journal of Political Economy. — 1973. — Vol. 3. — No. 81. — P. 637—654.

[9] *Sugeno M., Kang G.* Structure identification of fuzzy model // Fuzzy Sets and Systems. — 1988. — № 28 (1). — P. 15—33.

$$\oint_A h(x) \circ g = \sup_{\alpha \in [0,1]} \left(\alpha \wedge g\left(M_\alpha\right)\right), \tag{13}$$

де $M_\alpha = \{x : h(x) \geq \alpha\}$ — рівнева множина, $g(M_\alpha)$ — нечітка міра рівневої множини M_α.

Конкретизуємо формулу (13) для нечіткого трикутного числа, функція належності $h(x)$ якого в цьому випадку матиме такий вигляд (рис.).



Р и с . **Функція належності нечіткого трикутного числа**

Аналітично цю функцію можна записати так:

$$h(x) = \begin{cases} \dfrac{x - \underline{x}}{\hat{x} - \underline{x}}, & \underline{x} \leq x < \hat{x}, \\ 1, x = \hat{x}, & \\ \dfrac{\overline{x} - x}{\overline{x} - \hat{x}}, & \hat{x} < x \leq \overline{x}, \\ 0, \textit{ в інших випадках}. & \end{cases}$$

У випадку, який ми розглядаємо, використовуючи відношення сторін подібних трикутників, для довільного α-рівня функції $h(x)$, $\alpha \in [0,1]$ (рис.) $\alpha = \dfrac{\underline{x}_\alpha - \underline{x}}{\hat{x} - \underline{x}}$. Звідси:

$$\underline{x}_\alpha = \underline{x} + \alpha(\hat{x} - \underline{x}). \tag{14}$$

Аналогічно отримаємо, що:

$$\overline{x}_\alpha = \hat{x} + \left(1 - \alpha\right)(\overline{x} - \hat{x}). \tag{15}$$

Із формули (13) та означення нечіткої міри випливає, що значення α інтеграла Суджено для нечіткого трикутного числа, заданого функцією належності $h(x)$, справджує рівняння $\alpha = g(M_\alpha)$, а $g(M_\alpha) = \overline{x}_\alpha - \underline{x}_\alpha$[10]. У зв'язку з цим на підставі формул (14)—(15) знайдемо, що:

$$\alpha = \hat{x} - \underline{x} + \left(1 - \alpha\right)(\overline{x} - \hat{x}) - \alpha(\hat{x} - \underline{x}).$$

[10] *Рибицька О., Сявавко М.* Зазнач. праця — С. 295.

Звідси одержуємо формулу для знаходження значення інтеграла Суджено для нечіткого числа із трикутною функцією належності:

$$\alpha = \frac{\overline{x} - \underline{x}}{1 + \overline{x} - \underline{x}}. \tag{16}$$

За цією формулою знаходитимемо значення нечіткого інтеграла Суджено для нечіткого трикутного числа дохідності кожної з опціонних стратегій. Оптимальній стратегії відповідає максимальне значення інтеграла Суджено.

Запропоновану нечітку економіко-математичну модель вибору оптимальної за дохідністю опціонної стратегії проілюструємо на прикладі опціонів європейського стилю на акції "Західенерго" з терміном дії 3 місяці. Обчислення проведемо в середовищі MS Excel.

За поточну ціну акції S приймемо, наприклад, ціну котирування станом на 24.11.2008, яка становила 55,80 дол. США[11]. Для 3-місячного терміну дії опціону $T = 0{,}25$ року, річна безризикова процентна ставка $r = 0{,}06$, волатильність (обчислена як історична волатильність) акцій "Західенерго", що лежать в основі опціону, $\sigma = 0{,}19$ й ціна виконання $X = 55{,}80$ дол.

Спочатку визначимо нечіткі трикутні числа цін котирування акцій "Західенерго" для кожного із п'яти станів ринку та їх імовірності. Для цього проаналізуємо 3-місячні відносні зміни ціни акції, наприклад за період 23.03.2007 — 21.11.2008. Для $N = 352$ отриманих даних для кожного зі станів ринку визначимо інтервали відносних змін ціни акції $[\tilde{S}_{Ti}, \tilde{\alpha}_i, \tilde{\beta}_i]$ у відсотках та їх частку n_i $(i = \overline{1{,}5})$ в загальній кількості. Після цього за формулою (6) обчислимо відповідні ймовірності p_i $(i = \overline{1{,}5})$. Отримані нечіткі трикутні числа відносної зміни ціни акції у відсотках перетворимо за формулою (7) на нечіткі трикутні числа фінальної ціни акції, взявши за основу поточну ціну S акції станом на 24.11.2008, яка становить 55,80 дол. Результати подамо у вигляді табл. 1.

Таблиця 1. **Стани ринку акцій "Західенерго", відповідні нечіткі трикутні числа ціни акції та їх імовірності**

№ стану ринку, i	Стан ринку акцій	Нечіткі трикутні числа відносної зміни ціни акції $[\tilde{S}_{Ti}, \tilde{\beta}_i, \tilde{\gamma}_i]$, %	Нечіткі трикутні числа фінальної ціни акції $[S_{Ti}, \beta_i, \gamma_i]$, дол. США	Частота, n_i	Імовірність, p_i
1	Значне спадання	[−33,86; 6,14; 8,86]	[36,91; 3,43; 4,94]	32	0,09
2	Спадання	[−14,18; 10,82; 9,18]	[47,89; 6,04; 5,12]	163	0,46
3	Нейтральність	[0,02; 5,02; 4,98]	[55,81; 2,8; 2,78]	64	0,18
4	Зростання	[12,38; 7,38; 12,62]	[62,71; 4,12; 7,04]	59	0,17
5	Значне зростання	[31,86; 6,86; 8,14]	[73,58; 3,83; 4,54]	34	0,10

Наступним кроком запропонованої моделі є обчислення премії C опціону купівлі та P опціону продажу. Згідно з формулами (8)—(9) вони дорівнюють:

[11] http://www.kinto.com.

$$C = \$2{,}54,\ P = \$1{,}71.$$

Маючи нечіткі трикутні ціни фінальної ціни акції "Західенерго" (табл. 1) для кожної ситуації на ринку акцій, за формулами (10)—(12) розрахуємо нечіткі трикутні числа дохідності трьох базових опціонних стратегій. Результати обчислень подамо в табл. 2.

Таблиця 2. **Нечіткі трикутні числа дохідності опціонних стратегій на ринку акцій "Західенерго"**

Стан ринку акцій	Дохідність стратегії "довгий опціон купівлі", дол. США	Дохідність стратегії "довгий опціон продажу", дол. США	Дохідність стратегії "стелаж", дол. США
Значне спадання	[−2,54; 0; 0]	[17,18; 4,94; 3,43]	[14,94; 4,94; 3,43]
Спадання	[−2,54; 0; 0]	[6,2; 5,12; 6,04]	[3,66; 5,12; 6,04]
Нейтральність	[−2,53; 0,01; 2,78]	[−1,71; 0; 2,79]	[−4,24; −2,78; 2,78]
Зростання	[4,37; 4,12; 7,04]	[−1,71; 0; 0]	[2,66; 4,12; 7,04]
Значне зростання	[15,24; 3,83; 4,54]	[−1,71; 0; 0]	[13,53; 3,83; 4,54]

Тепер у нас є вся потрібна інформація для застосування теорії інтеграла Суджено в моделі, що розглядаємо. Спочатку визначимо рівневі множини як середньозважений показник дохідності кожної з базових опціонних стратегій. Він визначається як сума добутків імовірності різних ситуацій на ринку акцій "Західенерго" на відповідні їм нечіткі трикутні числа дохідності стратегій. Так, для множини $M_{\alpha 1}$ маємо:

$$M_{\alpha 1} = 0{,}09[-2{,}54;0;0] + 0{,}46[-2{,}54;0;0] + 0{,}18[-2{,}53;0{,}01;2{,}78] + \\ + 0{,}17[4{,}37;4{,}12;7{,}04] + 0{,}10[15{,}24;3{,}83;4{,}54] = [0{,}41;1{,}09;2{,}15] = \\ = [-0{,}68;0{,}41;2{,}56]_{\Delta}. \tag{17}$$

Аналогічним чином знайдемо:

$$M_{\alpha 2} = [3{,}63;2{,}8;3{,}59] = [0{,}83;3{,}63;7{,}22]_{\Delta}, \tag{18}$$

$$M_{\alpha 3} = [4{,}07;3{,}38;5{,}24] = [0{,}69;4{,}07;9{,}31]_{\Delta}. \tag{19}$$

Використовуючи формулу (16), на підставі (17)—(19) розрахуємо значення нечіткого інтеграла Суджено для кожної із трьох опціонних стратегій:

$$\alpha_1 = 0{,}76;\ \alpha_2 = 0{,}86;\ \alpha_3 = 0{,}90.$$

Насамкінець за формулами (14)—(15) знайдемо діапазон значень дохідності $I_1^{(j)}$, $I_2^{(j)}$, $j = (\overline{1,3})$ для кожної стратегії:

$$I_1^{(1)} = \$0{,}15;\ \ I_2^{(1)} = \$0{,}92;$$
$$I_1^{(2)} = \$3{,}25;\ \ I_2^{(2)} = \$4{,}12;$$
$$I_1^{(3)} = \$3{,}72;\ \ I_2^{(3)} = \$4{,}61.$$

Отже, третя стратегія, "стелаж", характеризується найбільшим значенням нечіткого інтеграла Суджено (α_3 = 0,90), тому, з погляду максимізації дохідності, саме вона повинна бути обрана інвестором. Відповідно, дохідність цієї стратегії перебуватиме в межах [$3,72; $4,61].

Підбиваючи підсумки, слід зазначити, що теорія нечіткого інтеграла Суджено відкриває нові можливості для моделювання поведінки опціонного інвестора на ринку. Відомі класичні підходи до вибору оптимальної опціонної стратегії доповнені нами ще одним методом, який дає змогу на підставі можливих значень фінансових показників базових активів, використовуючи теорію інтеграла Суджено, вибрати оптимальну опціонну стратегію на фондовому ринку. Завдяки цьому можна оцінити кожну стратегію з урахуванням фактора невизначеності фондового ринку, що допоможе інвесторові у виборі оптимальної за дохідністю опціонної стратегії.

Виконана робота свідчить про нові можливості подальшого дослідження методів оцінювання опціонних стратегій, враховуючи невизначеність фондового ринку для різних фінансових інструментів і функцій належності. Це дасть змогу розширити можливості інвестора та поліпшити якість інвестиційних рішень.