

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ РЕГРЕСІЙНОЇ ПРОЦЕДУРИ ДІАГНОСТИКИ БАНКРУТСТВА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

І. Г. Бачкір

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: i.bachkir@gmail.com

Сучасні умови ринкової економіки значною мірою негативно позначились на роботі вітчизняних машинобудівних підприємств, які складають пріоритетну галузь України та є найбільш уразливими на даний час. Питання статистичного аналізу та прогнозування фінансового стану підприємств, їх оцінка відноситься до числа найбільш важливих економічних проблем. Коректне використання експертних систем, як однієї з методик прогнозування, не реалізується через корельованість контрольованих фінансових показників. Потенційна ефективність експертних систем у задачі діагностики банкрутства підприємств не може бути досягнута через високу невизначеність і недостовірність вихідних даних. Запропонований вільний від виявлених недоліків метод побудови нечіткої експертної системи, що використовує регресійний механізм логічного висновку. Деталізована процедура формування регресійного співвідношення для випадку, коли експертні оцінки порівняльної важливості показників погано узгоджені. Показано, що запропонована процедура корекції матриці попарних порівнянь швидко призводить до отримання узгодженої матриці. Описана процедура оцінки рівня фінансової стійкості проста в реалізації для підприємств різних видів економічної діяльності. Практично доведено, що отримані при цьому оцінки мають зрозумілий сенс і з економічної точки зору легко трактуються. Своєчасне виявлення ознак можливого банкрутства дозволить керівництву вжити термінові заходи щодо виправлення фінансового стану та зниження ризику настання неплатоспроможності.

Ключові слова: діагностика банкрутства, фінансові показники, матриця попарних порівнянь, регресійний поліном, терм-множини.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ РЕГРЕССИОННОЙ ПРОЦЕДУРЫ ДИАГНОСТИКИ БАНКРОТСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

И. Г. Бачкир

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: i.bachkir@gmail.com

Современные условия рыночной экономики в значительной степени негативно сказались на работе отечественных машиностроительных предприятий, которые составляют приоритетную отрасль Украины и являются наиболее уязвимыми в настоящее время. Вопрос статистического анализа и прогнозирования финансового состояния предприятий, их оценка относится к числу наиболее важных экономических проблем. Корректное использование экспертных систем, как одной из методик прогнозирования, не реализуется из-за корреляции контролируемых финансовых показателей. Потенциальная эффективность экспертных систем в задаче диагностики банкрутства предприятий не может быть достигнута из-за высокой неопределенности и недоверности исходных данных. Предложен свободный от выявленных недостатков метод построения нечеткой экспертной системы, использующий регрессионный механизм логического вывода. Детализированная процедура формирования регрессионного соотношения для случая, когда экспертные оценки сравнительной важности показателей плохо согласованы. Показано, что предложенная процедура коррекции матрицы попарных сравнений быстро приводит к получению согласованной матрицы. Описанная процедура оценки уровня финансовой устойчивости проста в реализации для предприятий различных видов экономической деятельности. Практически доказано, что полученные при этом оценки имеют понятный смысл и с экономической точки зрения легко тракуются. Своевременное выявление признаков возможного банкротства позволит руководству принять срочные меры по исправлению финансового состояния и снижению риска наступления неплатежеспособности.

Ключевые слова: диагностика банкротства, финансовые показатели, матрица попарных сравнений, регрессионный полином, терм-множества

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У кризових умовах формування нової системи управління ринковою економікою проблема неспроможності значною мірою позначилась на роботі машинобудівних підприємств, які складають пріоритетну галузь України і є найбільш уразливими в даний час. Особливого значення при цьому набувають вирішення питання статистичного аналізу й прогнозування фінансового стану машинобудівних підприємств, в зв'язку з чим їх оцінка відноситься до числа найбільш важливих економічних проблем у системі ринкових відносин, що дозволяють зовнішнім і внутрішнім суб'єктам аналізу визначити фінансові можливості в коротко-строковому плані та на тривалу перспективу. У за-

рубіжній і вітчизняній економічній літературі пропонується велика різноманітність методик і математичних моделей прогнозування банкрутства підприємств. Однак, як відзначають багато авторів, численні спроби застосування відомих іноземних моделей прогнозування у вітчизняних умовах не дозволяють отримати достатньо точні результати. Таким чином, актуальність теми дослідження визначається необхідністю розробки моделі прогнозування фінансового стану підприємств, яка використовує варіації основних показників фінансово-господарської діяльності підприємств машинобудівного комплексу.

Метою роботи є розробка нечіткої регресійної процедури діагностики банкрутства та отримання прогнозованих значень ймовірностей можливих станів підприємства.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Задача діагностики банкрутства повинна вирішуватись в умовах невизначеності. Закономірним підходом до вирішення подібних задач є використання математичного апарату нечітких множин [1]. Недоліки подібних систем нечіткого логічного висновку очевидні та усуваються у запропонованому варіанті діагностичної нечіткої експертної системи з регресійним механізмом логічного висновку [2–3].

Вводиться набір функцій належності $\mu_i F_i$ нечітких контрольованих показників об'єкту F_i , $i = 1, 2, \dots, n$ та регресійний поліном, який встановлює зв'язок між значеннями контрольованих змінних і результуючим показником - рівнем ризику банкрутства. Коефіцієнти полінома відшукуються шляхом статистичної обробки реальних даних про значення контрольованих змінних, що характеризують фінансовий стан підприємств, і значеннях їх результуючого показника. В разі відсутності достатнього обсягу вихідних даних для оцінювання коефіцієнтів полінома може бути використаний метод попарних порівнянь.

Основним елементом процедури є пошук функції приналежності результуючого показника з урахуванням F_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Шукану функцію належно-

сті μ_y у знаходять відповідно до правила виконання операцій над нечіткими числами.

Розглянемо докладніше процедуру отримання аналітичного опису регресійного поліному. Набір фінансових показників, які використовуються в регресійному поліномі, обираються шляхом рейтингового експертного відбору наступним чином. Група експертів відбирає сукупність факторів, які в найбільшій мірі характеризують фінансовий стан об'єктів діагностики – наприклад, підприємств машинобудівної галузі. До числа цих показників увійшли: мобільність активів, оборотність кредиторської заборгованості, оборотність власного капіталу, окупність активів, забезпеченість власними обіговими коштами, концентрація залученого капіталу, покриття боргів власним капіталом, рентабельність капіталу, обігові активи, швидка платоспроможність та фінансова автономія.

При цьому були використані наступні принципи відбору: по-перше, обов'язкове включення до списку принаймні одного показника з кожної з характерних груп (оцінки майнового стану, ліквідності, фінансової стійкості, рентабельності, ділової активності); по-друге, облік частоти включення показників у відомі моделі оцінки фінансового стану підприємств; по-третє, врахування специфіки галузі; по-четверте, відсутність мультиколінеарності.

У результаті експертної оцінки порівняльної важливості відібраних показників кожним експертом були отримані відповідні матриці попарних порівнянь, в результаті усереднення яких, отримано матрицю:

$$A_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 0,3 & 0,3 & 0,25 & 0,2 & 0,5 & 0,25 & 0,2 & 0,25 & 0,2 \\ 2 & 1 & 0,6 & 0,6 & 0,5 & 0,6 & 1 & 0,4 & 0,5 & 0,4 & 0,5 \\ 3,3333 & 1,6666 & 1 & 1 & 0,75 & 0,8 & 1,5 & 0,6 & 0,7 & 0,6 & 0,8 \\ 3,3333 & 1,6666 & 1 & 1 & 0,9 & 0,75 & 1,5 & 0,65 & 0,6 & 0,7 & 0,6 \\ 4 & 2 & 1,3333 & 1,1111 & 1 & 1,2 & 2,5 & 0,8 & 0,9 & 0,8 & 0,9 \\ 5 & 1,6666 & 1,25 & 1,3333 & 0,8333 & 1 & 2 & 0,9 & 0,8 & 0,7 & 0,8 \\ 2 & 1 & 0,6666 & 0,6666 & 0,4 & 0,5 & 1 & 0,4 & 0,5 & 0,4 & 0,6 \\ 4 & 2,5 & 1,6666 & 1,53 & 1,25 & 1,1111 & 2,5 & 1 & 1,5 & 1,2 & 1 \\ 5 & 2 & 1,4265 & 1,66 & 1,1111 & 1,25 & 2 & 0,6666 & 1 & 1 & 1,3 \\ 4 & 2,5 & 1,6666 & 1,4286 & 1,25 & 1,4286 & 2,5 & 0,8333 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 2 & 1,25 & 1,66 & 1,1111 & 1,25 & 1,6666 & 1 & 0,77 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Отримана матриця A_0 не є узгодженою, тобто умова транзитивності $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$ не виконується.

Дійсно, наприклад,

$$a_{23}a_{36} = 0,6 * 0,8 = 0,48 \neq a_{26} = 0,6 ;$$

$$a_{45}a_{57} = 0,9 * 2,5 = 2,25 \neq a_{47} = 1,5 ;$$

$$a_{67}a_{78} = 2 * 0,4 = 0,8 \neq a_{68} = 0,9 .$$

У зв'язку з цим проведемо процедуру узгодження матриці A_0 .

Обчислювальна схема є ітераційною. На кожній ітерації виконуються три кроки. Нехай пророблено l ітерацій корекції, в результаті яких отримана

матриця A_l . На черговій $l+1$ -й ітерації виконуються наступні обчислення.

Шаг 1. Обчислюємо

$$\frac{1}{n} A_l A_l = \hat{A}_{l+1} = \hat{a}_{ij}^{(l+1)} .$$

Шаг 2. Обчислюємо

$$a_{ij}^{(l+1)} = \frac{\hat{a}_{ij}^{(l+1)}}{\hat{a}_{ij}^{(l+1)} * \hat{a}_{ji}^{(l+1)} \frac{1}{2}}, \quad a_{ji}^{(l+1)} = \frac{\hat{a}_{ji}^{(l+1)}}{\hat{a}_{ij}^{(l+1)} * \hat{a}_{ji}^{(l+1)} \frac{1}{2}} .$$

Шаг 3. Обчислюємо

$$\eta_l = \max_{i,j} \left| a_{ij}^l - a_{ij}^{l+1} \right| .$$

Якщо отримане значення $\eta_i < \varepsilon$, де ε – деяке досить мале наперед задане число (наприклад, $\varepsilon = 10^{-4}$), то процедуру вважаємо закінчено. В ін-

шому випадку переходимо до виконання чергової ітерації.

У результаті проведення відповідних обчислень одержимо матрицю A_1 .

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0,4822 & 0,3127 & 0,2659 & 0,24 & 0,2552 & 0,4824 & 0,1972 & 0,2169 & 0,2081 & 0,2252 \\ 2,0738 & 1 & 0,6487 & 0,654 & 0,4981 & 0,5298 & 0,9951 & 0,4095 & 0,4726 & 0,4319 & 0,4677 \\ 3,198 & 1,5415 & 1 & 1,0074 & 0,7678 & 0,8097 & 1,7312 & 0,631 & 0,6930 & 0,6661 & 0,7208 \\ 3,7608 & 1,5291 & 0,9927 & 1 & 0,7619 & 0,8111 & 1,5310 & 0,6256 & 0,6874 & 0,6607 & 0,7153 \\ 4,1667 & 2,0076 & 1,3024 & 1,3125 & 1 & 1,0633 & 2,006 & 0,8233 & 0,9023 & 0,8671 & 0,9394 \\ 3,9185 & 1,8875 & 1,2350 & 1,2328 & 0,9405 & 1 & 1,8886 & 0,7728 & 0,849 & 0,816 & 0,8825 \\ 2,073 & 1,0049 & 0,5776 & 0,6532 & 0,4985 & 0,5295 & 1 & 0,4091 & 0,4491 & 0,4314 & 0,4673 \\ 5,071 & 2,442 & 1,5848 & 1,5984 & 1,2146 & 1,294 & 2,4443 & 1 & 1,0977 & 1,0554 & 1,144 \\ 4,6104 & 2,116 & 1,4430 & 1,4548 & 1,1083 & 1,1779 & 2,2267 & 0,911 & 1 & 0,9614 & 1,0392 \\ 4,8054 & 2,3154 & 1,5013 & 1,5135 & 1,1533 & 1,2255 & 2,3180 & 0,9475 & 1,0401 & 1 & 1,0824 \\ 4,4405 & 2,1381 & 1,3873 & 1,398 & 1,0645 & 1,1331 & 2,14 & 0,8741 & 0,9623 & 0,9238 & 1 \end{pmatrix}$$

Ця матриця більш узгоджена. Дійсно,

$$a_{23}a_{36} = 0,6487 * 0,8097 = 0,5252 \cong a_{26} = 0,5298;$$

$$a_{45}a_{57} = 0,7619 * 2,006 = 1,5284 \cong a_{47} = 1,5310;$$

$$a_{67}a_{78} = 1,8886 * 0,4091 = 0,7726 \cong a_{68} = 0,7728.$$

Виконаємо ще один крок узгодження.

Отримана після другої ітерації матриця A_2 є практично узгодженою.

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0,4732 & 0,3054 & 0,3061 & 0,2366 & 0,2515 & 0,4805 & 0,1945 & 0,2146 & 0,2052 & 0,2222 \\ 2,1185 & 1 & 0,6456 & 0,6472 & 0,5002 & 0,5315 & 0,0155 & 0,4111 & 0,5330 & 0,4338 & 0,4696 \\ 3,2853 & 1,5514 & 1 & 1,0039 & 0,7757 & 0,8244 & 1,5748 & 0,6375 & 0,7034 & 0,6728 & 0,7283 \\ 4,0196 & 1,5493 & 1 & 1 & 0,7747 & 0,8233 & 1,5726 & 0,6367 & 0,7025 & 0,6719 & 0,7273 \\ 4,236 & 1,9998 & 1,2906 & 1,2939 & 1 & 1,0627 & 2,0304 & 0,8219 & 0,9068 & 0,8673 & 0,9389 \\ 3,9858 & 1,8817 & 1,2144 & 1,2176 & 0,941 & 1 & 1,9107 & 0,7733 & 0,8533 & 0,8161 & 0,8839 \\ 2,089 & 0,9860 & 0,6363 & 0,6379 & 0,4931 & 0,5240 & 1 & 0,4052 & 0,4472 & 0,4276 & 0,4629 \\ 5,1542 & 2,4333 & 1,5703 & 1,5744 & 1,2168 & 1,2931 & 2,4704 & 1 & 1,1034 & 1,0553 & 1,1424 \\ 4,6726 & 2,2057 & 1,4234 & 1,4271 & 1,103 & 1,1722 & 2,2396 & 0,9065 & 1 & 0,9566 & 1,0355 \\ 4,8841 & 2,3058 & 1,4880 & 1,4919 & 1,153 & 1,2253 & 2,341 & 0,9476 & 1,0456 & 1 & 1,0825 \\ 4,5118 & 2,13 & 1,3746 & 1,3782 & 1,0651 & 1,1319 & 2,1625 & 0,8754 & 0,9659 & 0,9238 & 1 \end{pmatrix}$$

Дійсно,

$$a_{23}a_{36} = 0,6451 * 0,8239 = 0,5315 = a_{26} = 0,5314;$$

$$a_{45}a_{57} = 0,7739 * 2,0292 = 1,5704 = a_{47} = 1,5701;$$

$$a_{67}a_{78} = 1,9096 * 0,405 = 0,7734 = a_{68} = 0,7733.$$

Тепер розрахуємо коефіцієнти рівняння регресії за формулою

$$d_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right)}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Таким чином, одержимо значення вагових коефіцієнтів [4]

$$d_1 = 0,03, \quad d_2 = 0,05, \quad d_3 = 0,08, \quad d_4 = 0,09, \\ d_5 = 0,11, \quad d_6 = 0,1, \quad d_7 = 0,06, \quad d_8 = 0,13, \quad d_9 = 0,12, \\ d_{10} = 0,12, \quad d_{11} = 0,11.$$

Практична процедура оцінки ризику банкрутства реалізується наступним чином. Для кожного з обраних показників формуються функції приналежності

значень лінгвістичних змінних (показників фінансової стабільності) до термів із прийнятих терм-множин [5–9]. У завданні оцінки ризику банкрутства використовується наступна терм-множина рівнів відповідного показника: «низький», «середній», «високий», «дуже високий». Таким чином, для кожного, наприклад, j – го показника необхідно ввести наступний набір функцій приналежності $\mu_n(X_j)$, $\mu_{cp}(X_j)$, $\mu_e(X_j)$, $\mu_{de}(X_j)$.

Нехай вирішується завдання оцінки рівня фінансової стабільності для конкретного підприємства, фінансова стабільність якого характеризується наступним набором значень показників $\hat{X} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n)$. Тепер з використанням введених функцій приналежності розраховуємо сукупності їх значень для різних термів:

$$\mu_n(\hat{X}_1), \mu_n(\hat{X}_2), \dots, \mu_n(\hat{X}_m), \\ \mu_{cp}(\hat{X}_1), \mu_{cp}(\hat{X}_2), \dots, \mu_{cp}(\hat{X}_m), \\ \mu_e(\hat{X}_1), \mu_e(\hat{X}_2), \dots, \mu_e(\hat{X}_m),$$

$$\mu_{\partial\theta}(\hat{X}_1), \mu_{\partial\theta}(\hat{X}_2), \dots, \mu_{\partial\theta}(\hat{X}_m).$$

Далі отримані значення функцій приналежності для кожного з термів підставимо в регресійні співвідношення:

$$\begin{aligned} y_H(\hat{X}) &= \sum_{j=1}^n d_j \mu_H(\hat{X}_j), \\ y_{CP}(\hat{X}) &= \sum_{j=1}^n d_j \mu_{CP}(\hat{X}_j), \\ y_{\theta}(\hat{X}) &= \sum_{j=1}^n d_j \mu_{\theta}(\hat{X}_j), \\ y_{\partial\theta}(\hat{X}) &= \sum_{j=1}^n d_j \mu_{\partial\theta}(\hat{X}_j). \end{aligned} \quad (2)$$

Максимальне із цих значень визначає терм, до якого відноситься нечітке значення рівня фінансової стабільності фірми. З іншого боку, більше ясне представлення про стан підприємства можна одержати, якщо отримані значення $y_H(\hat{X}), y_C(\hat{X}), y_{\theta}(\hat{X}), y_{\partial\theta}(\hat{X})$ нормувати, використовуючи формули

$$\begin{aligned} \hat{y}_H(\hat{X}) &= \frac{y_H(\hat{X})}{y_H(\hat{X}) + y_C(\hat{X}) + y_{\theta}(\hat{X}) + y_{\partial\theta}(\hat{X})}, \\ \hat{y}_C(\hat{X}) &= \frac{y_C(\hat{X})}{y_H(\hat{X}) + y_C(\hat{X}) + y_{\theta}(\hat{X}) + y_{\partial\theta}(\hat{X})}, \\ \hat{y}_{\theta}(\hat{X}) &= \frac{y_{\theta}(\hat{X})}{y_H(\hat{X}) + y_C(\hat{X}) + y_{\theta}(\hat{X}) + y_{\partial\theta}(\hat{X})}, \\ \hat{y}_{\partial\theta}(\hat{X}) &= \frac{y_{\partial\theta}(\hat{X})}{y_H(\hat{X}) + y_C(\hat{X}) + y_{\theta}(\hat{X}) + y_{\partial\theta}(\hat{X})}. \end{aligned} \quad (3)$$

Числові значення, що обчислюються відповідно до (3), можна трактувати, як імовірності можливих станів підприємства.

Як підсумок вищенаведеного, сформульовано короткий опис послідовності кроків вирішення завдання діагностики банкрутства.

1. Формується набір фінансових показників стану підприємства.

2. Здійснюється аналітичний опис функцій приналежності нечітких значень фінансових показників кожному з термів терм-множини можливих значень. При цьому вибирається клас функцій, у якому виконується опис функцій приналежності (як правило, це трикутні функції, параметри яких оцінюються експертно).

3. Для конкретних значень кожного з фінансових показників підприємства розраховуються функції приналежності для кожного з можливих станів.

4. Формується матриця попарних порівнянь важливості показників, яка, як правило, не узгоджена.

5. Проводиться корекція матриці попарних порівнянь.

6. З використанням отриманої матриці порівнянь важливості показників розраховуються коефіцієнти регресійних поліномів, що зв'язують обчислені значення функцій приналежності фінансових показників зі значеннями функцій приналежності

нечіткого значення результуючого показника кожному з термів.

7. Виконується обчислення відповідних регресійних поліномів.

8. Здійснюється розрахунок оцінок ймовірностей можливих станів підприємства.

Розглянемо задачу діагностики банкрутства підприємств машинобудівної галузі на прикладі ПрАТ «Кременчуцький колісний завод». Для розрахунку регресійного полінома знайдемо значення необхідних фінансових показників, використовуючи дані фінансової звітності підприємства. Проведемо розрахунок значень коефіцієнтів регресійного полінома для підприємства відповідно до описаної вище процедури. Вихідні дані необхідних фінансових значень для підприємства ПрАТ «Кременчуцький колісний завод» (далі ПрАТ «КрКЗ») наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення фінансових показників для ПрАТ «Кременчуцький колісний завод» за 2014-2018 рр.

Показник	Коефіцієнт	Роки				
		2014	2015	2016	2017	2018
X ₁	Мобільність активів	1,299	1,254	1,122	1,215	0,705
X ₂	Оборотність кредиторської заборгованості	7,954	7,512	4,766	5,655	4,972
1	2	5	6	7	8	9
X ₃	Оборотність власного капіталу	1,939	1,928	2,139	1,924	2,428
X ₄	Окупність активів	0,820	0,841	0,929	0,816	0,814
X ₅	Забезпеченість власними оборотними коштами	0,490	0,318	0,380	0,313	0,099
X ₆	Концентрація залученого капіталу	0,341	0,420	0,429	0,484	0,499
X ₇	Покриття боргів власним капіталом	1,928	1,381	1,329	1,051	0,996
X ₈	Рентабельність капіталу	0,068	0,041	0,056	0,042	-0,04
X ₉	Оборотні активи	0,314	0,329	0,277	0,327	0,289
X ₁₀	Швидка платоспроможність	1,009	0,855	0,798	0,763	0,50
X ₁₁	Фінансова автономія	0,658	0,579	0,571	0,512	0,499

Введемо функції приналежності значень для всіх лінгвістичних змінних X з терм – множинами «низький», «середній», «високий» та «дуже високий» з урахуванням їх нормативних обмежень. Відповідно до зазначених вище інтервалами можливих значень X, визначаємо, до якого з термів належить значення кожної лінгвістичної змінної X та чому дорівнюють значення відповідних функцій приналежності.

У табл. 2 наведені значення функції приналежності для підприємства ПрАТ «КрКЗ» для значень фінансових показників за 2014 р.

Таблиця 2 – Значення функцій приналежності показників для ПрАТ «КрКЗ» за 2014 р.*

Показник	Коефіцієнт	$\mu_H(X)$	$\mu_C(X)$	$\mu_E(X)$	$\mu_{\Delta E}(X)$
X ₁	Мобільність активів	0	0	0,4	0
X ₂	Оборотність кредиторської заборгованості	0	0	0,023	0
X ₃	Оборотність власного капіталу	0	0	0,9	0
X ₄	Окупність активів	0	0,482	0	0
X ₅	Забезпеченість власними оборотними коштами	0	0,046	0,454	0
X ₆	Концентрація залученого капіталу	0	0	0,943	0
X ₇	Покриття боргів власним капіталом	0	0	0,172	0
X ₈	Рентабельність капіталу	0	0,21	0	0
X ₉	Оборотні активи	0,953	0	0	0
X ₁₀	Швидка платоспроможність	0	0,982	0	0
X ₁₁	Фінансова автономія	0	0	0,585	0

*Розраховано та оцінено автором

Попередньо обчислені значення функцій приналежності для кожного терм-множини, з урахуванням обчислених вагових коефіцієнтів d_j , підставимо в регресійні співвідношення (2). При цьому одержимо:

$$y_H X = \sum_{j=1}^{11} d_j \mu_H X_j = 0,12 * 0,953 = 0,114;$$

$$y_C X = \sum_{j=1}^{11} d_j \mu_C X_j = 0,09 * 0,482 + 0,11 * 0,046 + 0,13 * 0,21 + 0,12 * 0,982 = 0,194;$$

$$y_E X = \sum_{j=1}^{11} d_j \mu_E X_j = 0,03 * 0,4 + 0,05 * 0,023 + 0,08 * 0,9 + 0,11 * 0,454 + 0,1 * 0,943 + 0,06 * 0,172 + 0,11 * 0,585 = 0,304;$$

$$y_{\Delta E} X = \sum_{j=1}^{11} d_j \mu_{\Delta E} X_j = 0.$$

$$y_H X + y_C X + y_E X + y_{\Delta E} X = 0,114 + 0,194 + 0,304 + 0 = 0,612.$$

Розрахуємо набір значень оцінок ймовірностей станів підприємства, за формулами (3):

$$\hat{y}_H \hat{X} = \frac{0,114}{0,612} = 0,187;$$

$$\hat{y}_C \hat{X} = \frac{0,194}{0,612} = 0,316;$$

$$\hat{y}_E \hat{X} = \frac{0,304}{0,612} = 0,497;$$

$$\hat{y}_{\Delta E} \hat{X} = \frac{0}{0,612} = 0.$$

Таким чином, 2014 р. був стан з найвищим рівнем стабільності. Аналогічні результати для 2015-2018 рр. зведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Значення розрахунків регресійних співвідношень ПрАТ «КрКЗ» за 2015-2018 рр.*

Показник	Роки			
	2015	2016	2017	2018
y_H	0,1136	0,11064	0,1138	0,036357
y_C	0,3689	0,38203	0,3378	0,15397
y_E	0,1423	0,13208	0,1237	0,04856
$y_{\Delta E}$	0	0	0	0

*Розраховано автором

Отже, за результатами проведеного аналізу, можна зробити висновок, що машинобудівне підприємство ПрАТ «Кременчуцький колісний завод» є успішним підприємством, оскільки ймовірність настання банкрутства в 2018 році склала 18,2 %. Проведемо прогнозування ймовірності настання банкрутства ПрАТ «Кременчуцький колісний завод» в 2019 році. Із цією метою використаємо значення ймовірностей станів підприємства, які для 2014-2018 рр. зведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Значення ймовірностей станів ПрАТ «Кременчуцький колісний завод» за 2014-2018 рр.*

Показник	2014	2015	2016	2017	2018
\hat{y}_H	0,187	0,1818	0,17709	0,1821	0,0582
\hat{y}_C	0,316	0,5904	0,61148	0,5407	0,246
\hat{y}_E	0,497	0,2278	0,21141	0,198	0,077
$\hat{y}_{\Delta E}$	0	0	0	0	0

*Розраховано і оцінено автором

Дані з кожного рядка цієї таблиці використовуються незалежно для розрахунку прогнозного значення ймовірності відповідного стану підприємства. Нехай для будь-якого конкретного стану сформований вектор значень ймовірностей цього стану:

$$Y^T = y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7 = y_j$$

Тут, для зручності запису, індекс j , приписаний кожному року, визначається за формулою

$$j = \langle \text{позначення року} \rangle - 2014.$$

Таким чином, 2014 року відповідає індекс $j=1$, 2015 р. – індекс $j=2$ і т.д. Для опису кривої, що апроксимує реальну зміну значення ймовірності, використаємо квадратичну модель:

$$y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2. \quad (4)$$

Для пошуку параметрів цього квадратичного поліному введемо матрицю H , вектор A і вектор \hat{y}_n :

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 \\ 1 & 3 & 6 \\ 1 & 4 & 16 \\ 1 & 5 & 25 \end{pmatrix}; \quad A = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}; \quad \hat{y}_n = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ \vdots \\ n \end{pmatrix}.$$

На основі методу найменших квадратів [10], найкращі оцінки елементів вектору A знайдемо за формулою

$$\hat{A} = H^T H^{-1} H^T Y. \quad (5)$$

У результаті одержимо

$$\hat{A} \rightarrow 0, 1, 2.$$

Тепер для розрахунку прогнозованого значення ймовірності відповідного стану потрібно в модель (4) підставити $t = 5$. Розрахунки прогнозованих значень ймовірностей можливих станів зведено в таблицю, а графіки апроксимуючих кривих представлені на рис. 1.

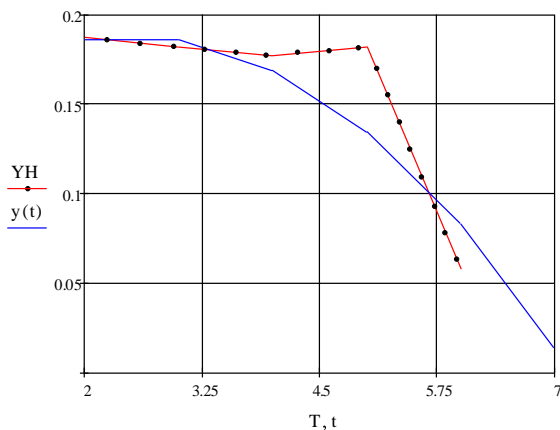


Рисунок 1 – Динаміка ймовірності банкрутства ПрАТ «КрКЗ» в 2014 - 2018 рр.

Джерело: авторська розробка

З отриманого графіка, можна зробити висновок, що ймовірність настання банкрутства ПрАТ «КрКЗ» в 2019 році становитиме 14 %.

ВИСНОВКИ. У статті розглянуто можливості рішення задачі діагностики банкрутства з використанням сучасних систем штучного інтелекту – нечітких експертних систем. Запропонована технологія побудови рівняння регресії, що поєднує нечітко задані значення фінансових показників з рівнем ризику настання банкрутства. Основним елементом розглянутої методики є оцінка коефіцієнтів методом попарних порівнянь. Практично доведена можливість використання запропонованої процедури із

використанням реальних даних для оцінки фінансової стійкості та отримання прогнозованих значень фінансових показників підприємства. Своєчасне виявлення ознак можливого банкрутства дозволить керівництву вжити термінові заходи щодо виправлення фінансового стану та зниження ризику настання неплатоспроможності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Раскин Л. Г., Серая О. В. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения. Харьков : Парус, 2008. 352с.
2. Миненкова З. Е. Комбинированный механизм логического вывода байесовой диагностической экспертной системы. *Вестник НТУ «ХПИ»*, 2003. № 24. С. 33–36.
3. Бачкир И. Г. Диагностика банкрутства при нечетких исходных данных. *Научный журнал «Бизнес информ»*, Харківський національний економічний університет. Харків: «ИНЖЕК», 2012. №12 (419). С. 73–76.
4. Бачкір І. Г. Пошук коефіцієнтів рівняння регресії для аналізу фінансової стійкості підприємств в умовах нечітких вихідних даних. XIX Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства». Кременчук : 2012. С. 374–375.
5. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 218 с.
6. Сиров В. Б. Принятие решений в нечеткой обстановке. Москва : ИНПРО-РЕС, 1995. 264 с.
7. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. Москва : Горячая линия – Телеком, 2001. 228 с.
8. Segismundo S. Izquierdo, Luis R. Izquierdo. Mamdani fuzzy systems for modelling and simulation: a critical assessment, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2018 [Online]. Vol. 21(3), issue 2. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/21/3/2.html>.
9. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. *IEEE Transactions on system*, 1985. Vol.15, № 1. Pp. 116–132.
10. Раскин Л. Г., Серая О. В., Карпенко В. В. Процедура повышения точности оценивания параметров многофакторного уравнения регрессии для малой выборки. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр.* Харьков : НАУ "ХАИ", 2004. Вып. 22. С. 99–102.

PRACTICAL APPLICATION OF FUZZY REGRESSION PROCEDURE OF BANKRUPTCY DIAGNOSTICS OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

I. Bachkir

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: i.bachkir@gmail.com

Purpose. The purpose of the article is to develop a fuzzy regression procedure for the bankruptcy diagnostics using variations of the main indicators of enterprise financial and economic activities within the machine-building complex. **Methodology.** The issue of statistical analysis and forecasting of the financial condition of enterprises, their assessment is one of the most important economic problems. The correct use of expert systems, as one of the forecasting methods,

is not realized due to the correlation of controlled financial indicators. The potential effectiveness of expert systems in the task of diagnosing the bankruptcy of enterprises cannot be achieved due to the high uncertainty and inaccuracy of the original data. Possibilities for solving the problem of bankruptcy diagnostics using fuzzy expert systems are considered. **Results.** The technology for making the regression equation is offered, which combines vaguely set values of enterprise financial indicators with the level of bankruptcy risk. The main element of the considered technique is the estimation of coefficients by the method of pairwise comparisons. The possibility of using the proposed procedure with the use of real data to assess the financial stability and obtain the predicted values of the enterprise financial indicators is practically proved. Early detection of the possible bankruptcy signs will allow management to take urgent measures to correct the financial situation and reduce the risk of insolvency. **Originality.** A method for developing a fuzzy expert system that uses a regression mechanism of logical inference, free from the identified shortcomings, is proposed. Detailed procedure for forming a regression ratio for the case when expert assessments of the relative importance of indicators is poorly agreed. It is shown that the proposed procedure for correcting the matrix of pairwise comparisons quickly leads to a consistent matrix. **Practical value.** The described procedure for assessing the level of financial stability is easy to implement for enterprises of different economic activities. It is practically proved that the received estimations have clear sense and from the economic point of view are easily interpreted.

Key words: bankruptcy diagnostics, financial indicators, matrix of pairwise comparisons, regression polynomial, term-sets.

REFERENCES:

1. Raskin, L. G., Seraya, O. V. (2008) *Nechetkaja matematika. Osnovy teorii. Prilozhenija.* [Fuzzy mathematics. Fundamentals of theory. Applications.], Kharkiv, Parus, 352 p.
2. Minenkova, Z. E. (2003) "Combined mechanism of logical inference of Bayesian diagnostic expert system", *Vestnik NTU "KhPI"* [Bulletin of NTU "KhPI"], № 24. pp. 33-36.
3. Bachkir, I. G. (2012) "Diagnostics of bankruptcy with indistinct initial data", *Naukovij zhurnal «Biznes inform»* [Science magazine "Business Inform"], Kharkiv National Economic University, Kharkiv, «INZhEK», №12 (419), pp. 73-76.
4. Bachkir, I. G. (2012) "Proceedings of functional regressions for the analysis of the financial performance of enterprises in the minds of unclear financial data" *XIX Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh «Aktual'ni problemy zhyttiediial'nosti suspil'stva»* [XIX International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Students "Actual Problems of Life Support"], Kremenchuk, pp. 374-375.
5. Borisov, A. N., Krumberg, O. A., Fedorov, I. P. (1990) *Prinjatje reshenij na osnove nechetkih modelej: Primery ispol'zovanija* [Decision making based on fuzzy models: Examples of use], Riga, Zinatne, 218 p.
6. Silov, V. B. (1995) *Prinjatje reshenij v nechetkoj obstanovke* [Decision-making in a fuzzy situation], Moskva, INPRO-RES, 264 p.
7. Kruglov, V. V., Borisov, V. V. (2001) *Iskustvennyje nejronnye seti. Teorija i praktika* [Artificial neural networks. Theory and practice], Moskva, Gorjachaja linija – Telekom, 228 p.
8. Segismundo, S., Izquierdo, Luis, R. Izquierdo (2018). Mamdani fuzzy systems for modelling and simulation: a critical assessment, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, [Online]. Vol. 21(3), issue 2. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/21/3/2.html> (Accessed 28 Mar 2018).
9. Takagi, T., Sugeno, M. (1985) Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. *IEEE Transactions on system*, vol. 15, № 1. pp. 116-132.
10. Raskin, L. G., Seraja, O. V., Karpenko, V. V. (2004) "Procedure for increasing the accuracy of estimating the parameters of the multifactor regression equation for a small sample" *Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologii : sb. nauch. tr.* [Open information and computer integrated technologies: Sat. scientific tr.], Kharkov: NAU "KHAI", Issue 22, pp. 99-102.

Стаття надійшла 15.06.2020.