

ИНСТРУМЕНТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ РИСКА БАНКРОТСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ: АППАРАТ МАР-СПЛАЙНОВ

РОМАНОВА ОЛЬГА ОЛЕГОВНА

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»,
г. Липецк, Российская Федерация, e-mail: hackibrain@yandex.ru

ИОДА ЕЛЕНА ВАСИЛЬЕВНА

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»,
г. Липецк, Российская Федерация, e-mail: tibrioda@yandex.ru

В статье предпринята попытка решения научной задачи совершенствования методического аппарата в области оценки риска банкротства российских предприятий. Объектом изучения стало формирование новых подходов к методике идентификации рисков банкротства предприятий. Данная проблема принимает особо острое звучание в свете последних макроэкономических событий и ухудшения экономической ситуации в России. Несмотря на большое число существующих подходов к решению данной задачи, сложность, а иногда и невозможность адаптации зарубежных моделей в реалиях российской действительности определяют актуальность и практическую значимость настоящего исследования. По результатам проведенного сравнительного анализа была выдвинута гипотеза о том, что аппарат многомерных адаптивных регрессионных сплайнов (МАРС) является оптимальным инструментом для решения поставленной задачи. В результате исследования получены две уникальные модели оценки банкротства для российских предприятий на основе МАРС, обладающие высокой точностью и статистическими показателями качества. На основе тестовой выборки доказано высокое качество полученных моделей по сравнению с существующими как отечественными, так и зарубежными моделями; доказана применимость МАРС для решения поставленной проблемы. В продолжение дальнейших исследований видится калибровка полученных моделей и расширение массива исходных данных для более точного построения моделей. Результаты исследований могут быть полезны банковским аналитикам, консалтинговым агентствам, экономистам, а также всем лицам, заинтересованным в качественном проведении финансового анализа предприятия.

Ключевые слова: риск, банкротство, многомерные адаптивные регрессионные сплайны, идентификация риска банкротства

В условиях рыночной экономики и нестабильной экономической ситуации, значительно ухудшившейся в связи с кризисными явлениями 2014-2015 гг., особую актуальность принимает проблема своевременной идентификации рисков банкротства в коммерческих организациях. Соответственно, целью работы является решение научной задачи совершенствования методического аппарата в области идентификации риска банкротства российских предприятий.

Риск банкротства является разновидностью финансовых рисков. Его можно определить как риск невыполнения компанией своих долговых обязательств и вероятность признания компании банкротом.

В наших исследованиях были обсуждены достоинства и недостатки существующих подходов к оценке риска банкротства предприятия [1]. На основании полученных результатов была выдвину-

та гипотеза о том, что оптимальным инструментом с точки зрения математического моделирования является аппарат многомерных адаптивных регрессионных сплайнов (МАРС). Опишем данный математический аппарат подробнее.

Первая работа, посвященная описанию данного аппарата, относится к 1991 г. [2]. МАРС-сплайны – непараметрическая процедура, которая устанавливает зависимости по набору коэффициентов и базисных функций, которые определяются из исходных данных. Пространство значений входных переменных разбивается на области со своими собственными уравнениями базисных функций. Это делает использование МАРС-сплайнов особенно эффективным для задач с пространствами значений входных переменных высокой размерности, когда «проклятие размерности» служит препятствием для использования других методов, что как раз характеризует задачу

прогнозирования рисков банкротства. МАР-сплайны позволяют установить вид связи между предиктором и откликом, которая меняется в некоторых точках из ряда значений предиктора (что схоже с кусочной регрессией). Такое изменение в узловой точке может выражаться в изменении формы связи (например, от линейной к квадратичной), в добавлении или вычитании некоторой константы для прогноза отклика справа от узловой точки предиктора, либо просто в изменении наклона регрессионной функции [3].

Метод МАР-сплайнов оказался наиболее применим в области добычи данных (*datamining*) по причине того, что он не опирается на предположения о типе и не накладывает ограничений на класс зависимостей (например, линейных, логистических и т. п.) между предикторными и зависимыми (выходными) переменными [4]. Вместе с тем, данный недостаток характерен для традиционно используемых для решения задачи идентификации рисков банкротства подходов – например, регрессионной зависимости, дискриминантном анализе и проч.

Постановка задачи традиционна для задачи регрессии – найти аппроксимирующую функцию (структура, параметры), описывающую функциональную зависимость отдельных наблюдений (исходные данные) с указанной точностью[2].

В основе структуры любого МАР-сплайна – базисные функции вида:

$$(x - t)_+ = \begin{cases} x - t, & \text{если } x > t, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases} \quad (1)$$

$$(t - x)_- = \begin{cases} t - x, & \text{если } x < t, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Заметим, что параметр t – точка изгиба функции. Такие функции в англоязычной литературе называют функциями-галками, функциями-ключками (от англ. *hinge*). Каждая базисная функция является кусочной и представляет собой не что иное, как линейный сплайн, с вершиной в точке t (где t – исходное значение). Пример изображен на рисунке 1.

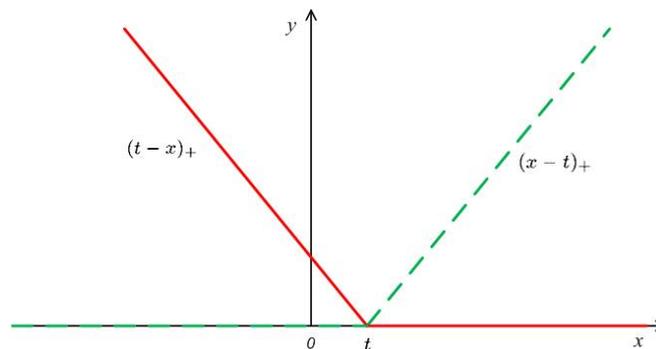


Рис. 1. Графики базисных функций МАР-сплайна

Подобный вид (1) базисных функций традиционен для кусочной линейной регрессии, использование нестрого соотношения позволяет избежать разрывов. Функцию вида (1) также часто представляют в виде:

$$\begin{aligned} (x - t)_+ &= \max(0; x - t), \\ (t - x)_- &= \max(0; t - x). \end{aligned} \quad (2)$$

В многомерном случае для каждой компоненты x^j вектора предикторов $X = (x^1, \dots, x^j, \dots, x^p)^T$ строятся базисные функции вида (1), (2) с узлами в

каждой наблюдаемой переменной x_j^j ($i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, p$).

По исходным данным строится набор базисных функций:

$$C = \{(x_j - t)_+, (t - x_j)_-\}_{t \in \{x_{1j}, \dots, x_{Nj}\}, j=1, \dots, p.}$$

Данный набор содержит $2Np$ базисных функций. Каждая базисная функция, включенная в набор, – функция одной переменной. Алгоритм нахождения итоговой целевой функции схож с алгоритмом кусочной линейной регрессии, только вместо регрессионных кусочных функций используются базисные функции из множества C .

Общее уравнение МАР-сплайнов для модели из M членов, отличных от константы, записывается в следующем виде (3) и представляет собой взвешенную сумму базисных функций и их произведений:

$$y = f(X) = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m h_m(X), \quad (3)$$

где β_0 – некоторый свободный член,

β_m – параметр, определяемый для итоговой функции методом наименьших квадратов, некоторая константа;

$h_m(X)$ – базисная функция из множества S , либо же произведение двух и более таких функций;

X – вектор объясняющих переменных;

M – число базисных функций.

В качестве базисной функции $h_m(X)$ может выступать:

- константа;
- базисная функция вида (2), (3);
- произведение базисных функций вида (2), (3).

Проведенный анализ показал, что данный математический аппарат имеет ряд преимуществ с точки зрения технического построения моделей перед существующими подходами к решению задачи идентификации рисков банкротства, заключающихся в следующем:

- возможность моделирования нелинейных зависимостей между факторами и откликом. Следует отметить, что большинство связей в существующем мире носят именно нелинейный характер. Существующие модели прогнозирования риска банкротства предприятия в подавляющем большинстве описывают линейную зависимость между откликом и факторами;
- возможность обработки больших массивов данных;
- высокое качество моделей на большой выборке факторов при ограниченном числе наблюдений («проклятие размерности», ввиду необходимости анализа влияния многочисленных факторов на ограниченной базе предприятий).

Описание построенных моделей. В рамках решения задачи идентификации рисков банкротства предприятия была разработана на основе аппарата многомерных адаптивных регрессионных сплайнов экспресс-модель выявления рисков банкротства на предприятиях РФ.

Итоговая модель риска банкротства предприятия строилась на основе массива выбранных фи-

нансовых показателей по обучающей выборке из 80 предприятий России, как уже признанных банкротами, так и финансово устойчивых, отклик модели определялся методом непосредственной оценки экспертами и на основе ретроспективных данных.

В качестве входных данных для работы модели выступают данные бухгалтерской отчетности по стандарту РСБУ (формы 1, 2) для выбранного массива предприятий, на основе которых рассчитаны финансовые коэффициенты модели (порядка 30 показателей, характеризующих деловую активность предприятия, его финансовую устойчивость, ликвидность, платежеспособность, рентабельность и проч.) Значение отклика для модели было определено экспертным образом (эксперты – специалисты в банковской сфере, знакомые с экономикой каждого из предприятий в выборке), с учетом ретроспективных данных (факт банкротства предприятия). Расчеты проводились в пакете STATISTICA.

Параметры моделирования:

- Максимальное количество базисных функций – 25;
- Максимальное число членов в базисной функции – 7;
- Максимальная величина невязки – 0,0005;
- Количество зависимых переменных – 1;
- Количество факторов – 27.

Анализ выявил значимость следующих факторов:

- доля основных средств в валюте баланса;
- отношение $dolg/ebitda$;
- доля собственных оборотных средств в покрытии запасов;
- коэффициент привлечения заемного капитала;
- оборачиваемость кредиторской задолженности;
- отношение долгосрочных обязательств к активам;
- рентабельность деятельности.

Была получена нелинейная МАРС-модель оценки риска вероятности банкротства со следующими параметрами:

- количество базисных функций – 20;
- число членов – 12;
- максимальное число членов в базисной функции – 7.

Параметры качества модели: величина критерия ошибки $GSV = 0,00526$, $CKO = 0,0319$, коэффициент

коэффициент детерминации $R^2 = 0,85$, скорректированный коэффициент детерминации $R_{adj}^2 = 0,80$.

Модель имеет вид:

$МАРС_1 = 5,82 + 5,99 * \max(0; \text{доля основных средств} - 0,13) + 5,16 * \max(0; 0,13 - \text{доля основных средств}) - 1,5 * \max(0; \text{Коэффициент привлечения заемного капитала} - 0,97) - 0,8 * \max(0; 0,97 - \text{Коэффициент привлечения заемного капитала}) - 0,01 * \max(0; 0,13 - \text{доля основных средств}) * \max(0; 2,27 - \text{Оборачиваемость кредиторской задолженности}) * \max(0; \text{Рентабельность капитала} + 56,14) - 5,46 * \max(0; 0,97 - \text{Коэффициент привлечения заемного капитала}) * \max(0; \text{Отношение долгосрочных обязательств к активам} - 0,22) + 2,44 * \max(0; 0,97 - \text{Коэффициент привлечения заемного капитала}) * \max(0; 0,22 - \text{Отношение долгосрочных обязательств к активам}) - 0,56 * \max(0; 0,4 - \text{Отношение долгосрочных обязательств к активам}) + 0,27 * \max(0; 0,13 - \text{доля основных средств}) * \max(0; \text{Оборачиваемость кредиторской задолженности} - 2,27) * \max(0; 0,01 - \text{рентабельность деятельности}) - 2,76 + 0,003 * \max(0; \text{доля основных средств} - 0,41) * \max(0; 0,4 - \text{Отношение долгосрочных обязательств к активам}) + 0,003 * \max(0; \text{доля основных средств} - 0,13) * \max(0; \text{dolg/ebitda} - 4,7) * \max(0; 1,51 - \text{доля собственных оборотных средств в покрытии запасов})$.

Базисные функции и их произведение отражают вклад каждого из предикторов или их сочетаний в итоговый показатель риска банкротства.

Также разработана семифакторная модель с меньшим числом базисных функций, с использованием статистического пакета STATISTICA.

Расчеты проводились в пакете STATISTICA.

Параметры моделирования:

- Максимальное количество базисных функций – 11;
- Максимальное число членов в базисной функции – 7;
- Максимальная величина невязки – 0,0005;
- Количество зависимых переменных – 1;
- Количество факторов – 27.

Анализ выявил значимость следующих факторов:

- доля основных средств;
- коэффициент привлечения заемного капитала;
- оборачиваемость кредиторской задолженности;
- рентабельность капитала;
- отношение долгосрочных обязательств к активам;
- рентабельность деятельности.

Получена нелинейная МАРС-модель, состоящая из 11 базисных функций, 7 членов. Максимальное число членов в базисной функции – 7.

Модель имеет вид:

$МАРС_2 = 0,647 + 4,15 * \max(0; 0,13 - \text{доля основных средств}) - 0,92 * \max(0; 0,97 - \text{Коэффициент привлечения заемного капитала}) - 0,01 * \max(0; 0,13 - \text{доля основных средств}) * \max(0; 2,27 - \text{Оборачиваемость кредиторской задолженности}) * \max(0; \text{Рентабельность капитала} + 56,14) + 2,96 * \max(0; 0,97 - \text{Коэффициент привлечения заемного капитала}) * \max(0; 0,22 - \text{Отношение долгосрочных обязательств к активам}) - 0,51 * \max(0; 0,4 - \text{Отношение долгосрочных обязательств к активам}) + 0,29 * \max(0; 0,13 - \text{доля основных средств}) * \max(0; \text{Оборачиваемость кредиторской задолженности} - 2,27) * \max(0; 0,01 - \text{рентабельность деятельности})$.

Пороговое значение для определения риска банкротства устанавливается на уровне 0,5. В случае получения итогового отклика менее 0,5, риск банкротства предприятия низок. В случае если итоговый отклик модели выше 0,5, риск дефолта предприятия высок.

Для проверки эффективности работы традиционных подходов, созданных моделей, а также для проверки выдвинутой гипотезы о преимуществах аппарата МАРС для решения задачи построения экспресс-модели оценки риска банкротства предприятия был проведен сравнительный анализ. Для этого была сформирована выборка из 50 предприятий для проверки прогностической способности моделей. Проверка велась в пакете MSExcel.

Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 1.

Исходя из проведенного анализа, можно видеть, что разработанные модели на тестовой выборке дают наилучший результат. Так, модель МАРС 2 дала наименьший процент ошибок на тестовой выборке (16 %), МАРС 1 – вторая по точности (33 % ошибок), третьей по точности стала модель Альтмана (44 % ошибок). Наихудшие результаты продемонстрировала модель Сбербанка (оценка классов кредитоспособности) – 78 % ошибок, и модель Сайфуллина-Кадыкова (69 % ошибок). Также следует отметить, что для сложных случаев (когда ошибается порядка 75 % моделей) в 60 % случаев модель МАРС 1 давала верный ответ, модель МАРС 2 в том числе и для сложных случаев дает верные результаты.

По результатам сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

- построенные модели показали высокие статистические показатели;

– на тестовой выборке разработанные модели MARS дают наилучшие результаты по сравне-

нию с существующими аналогами.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа применения традиционных моделей на сформированной выборке

	Число допущенных ошибок	Процент ошибок
Модель Альтмана	24	44 %
Модель Лиса	31	56 %
Модель Спрингейта	29	53 %
Модель Ковалева	32	58 %
Модель Таффлера	25	45 %
Модель Сайфуллина - Кадыкова	38	69 %
Модель ОАО «Сбербанк России»	43	78 %
Модель MARS 1	18	33 %
Модель MARS 2	8	16 %

Достаточно высокий коэффициент детерминации и сравнительно небольшое среднеквадратическое (перекрестное) отклонение позволяют говорить о высоком качестве полученных моделей. Таким образом, выдвинутая гипотеза о преимуществах аппарата MARS для решения поставленной задачи подтвердилась на практике.

Проведенные исследования свидетельствуют о достаточно высокой возможности применения аппарата MARS в решении задачи идентификации рисков банкротства предприятий. Вместе с тем, разработанные модели не могут являться надежным инструментом для решения задачи измерения уровня риска банкротства на предприятии. Для решения задачи оценки рисков банкротства необходимо использовать комплексную модель, включающую анализ количественных и качественных показателей деятельности, в том числе ретроспективных.

Направлением дальнейших исследований видится калибровка полученных моделей и расширение массива исходных данных для более точного построения моделей, а также разработка практического инструмента оценки риска банкротства в организациях.

Литература

1. Романова О. О., Иода Е. В. Критический анализ существующих инструментов идентификации рисков

банкротства предприятия // Социально-экономические явления и процессы. Тамбов, 2015. № 8.

2. Friedman J. H. Multivariate adaptive regression splines // Annals of Statistics. 1991. № 19. P. 1-141.

3. Bankruptcy forecasting: a hybrid approach using fuzzy c-means clustering and multivariate adaptive regression splines (MARS) / J. Andrus, P. Lorca, F. J. Cos Juez, F. Sanchez-Lasheras // Expert Systems with Applications. 2001. № 38. P. 1866-1875.

4. Craven P., Wahba G. Smoothing noisy data with spline functions. Estimating the correct degree of smoothing by the method of generalized cross-validation // Numerical Math. 2001. № 31. P. 317-403.

References

1. Romanova O. O., Ioda E. V. Kriticheskiy analiz sushchestvuyushchikh instrumentov identifikatsii riskov bankrotstva predpriyatiya [The critical analysis of the existing instruments of identification of risks of bankruptcy of the enterprise] // Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy. Tambov, 2015. № 8.

2. Friedman J. H. Multivariate adaptive regression splines // Annals of Statistics. 1991. № 19. P. 1-141.

3. Bankruptcy forecasting: a hybrid approach using fuzzy c-means clustering and multivariate adaptive regression splines (MARS) / J. Andrus, P. Lorca, F. J. Cos Juez, F. Sanchez-Lasheras // Expert Systems with Applications. 2001. № 38. P. 1866-1875.

4. Craven P., Wahba G. Smoothing noisy data with spline functions. Estimating the correct degree of smoothing by the method of generalized cross-validation // Numerical Math. 2001. № 31. P. 317-403.

* * *

**INSTRUMENTS OF IDENTIFICATION OF RISK
OF ENTERPRISE BANKRUPTCY: DEVICE MAP-SPLINES**

ROMANOVA OLGA OLEGOVNA
Lipetsk State Technical University,
Lipetsk, the Russian Federation, e-mail: hackibrain@yandex.ru

IODA ELENA VASILYEVNA
Lipetsk State Technical University,
Lipetsk, the Russian Federation, e-mail: tibrioda@yandex.ru

In article authors made an attempt of the solution of a scientific problem of improvement of the methodical device in the field of an assessment of risk of bankruptcy of the Russian enterprises. Formation of new approaches to a technique of identification of risks of bankruptcy of the enterprises became object of studying. This problem accepts especially sharp sounding in the light of the latest macroeconomic events and deterioration of an economic situation in Russia. Despite a large number of the existing approaches to the solution of this task, complexity, and sometimes an impossibility of adaptation of foreign models in realities of the Russian reality define relevance and the practical importance of the real research. By results of the carried-out comparative analysis authors made the hypothesis that the device of the multidimensional adaptive regression splines (MARS) is the optimum tool for the solution of an objective. As a result of research authors received two unique models of an assessment of bankruptcy for the Russian enterprises on a basis of MARS possessing high precision and statistics of quality. On the basis of test selection authors proved high quality of the received models in comparison with the existing both domestic, and foreign models and applicability of MARS for the solution of the put problem. Throughout further researches calibration of the received models and expansion of the massif of basic data for more exact creation of models seems. Results of researches can be useful to bank analysts, consulting agencies, economists, and also all persons interested in high-quality carrying out the financial analysis of the enterprise.

Key words: risk, bankruptcy, multidimensional adaptive regression splines, identification of risk of bankruptcy