

НАУЧНАЯ МЫСЛЬ



*И.И. Белоллицев, С.А. Горбатков,
А.Н. Романов, С.А. Фархиева*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
В СФЕРЕ ЭКОНОМИКИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**



НАУЧНАЯ МЫСЛЬ

СЕРИЯ ОСНОВАНА в 2008 году

Министерство по науке и образованию Российской Федерации
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

**И.И. БЕЛОЛИЦЕВ, С.А. ГОРБАТКОВ
А.Н. РОМАНОВ, С.А. ФАРХУЕВА**

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ЭКОНОМИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

МОНОГРАФИЯ

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

Москва
ИНФРА-М
2019

УДК 65.0(075.4)
ББК 65.290-2
Б43

ФЗ
№ 436-ФЗ

Издание не подлежит маркировке
в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1

Б43 **Белолипцев И.И.**

Моделирование управленческих решений в сфере экономики в условиях неопределенности : монография / И.И. Белолипцев, С.А. Горбатков, А.Н. Романов, С.А. Фархиева ; под ред. А.Н. Романова. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 299 с. — (Научная мысль). — www.dx.doi.org/10.12737/7761.

ISBN 978-5-16-010269-6 (print)

ISBN 978-5-16-102202-3 (online)

Монография посвящена общим принципам разработки эффективных математических моделей поддержки принятия решений для экономических объектов, характеризующихся сложными условиями моделирования. Учитывается так называемая триада «НЕ-факторов»: неполнота, неточность, неопределенность в данных. На основе системного подхода разработан концептуальный базис и 9 оригинальных методов моделирования, реализующих этот базис, и современные продвинутые инструментарии применительно к классам задач восстановления многомерных зависимостей, скрытых в данных, ранжирования объектов, классификации и их кластеризации, многофакторного прогноза, оптимизации. Особое внимание уделено малоисследованным вопросам построения динамических моделей оценки кредитоспособности предприятий, обоснования адекватности моделей и управления ею, устойчивости и регуляризации моделей. Теоретические предложения подробно иллюстрируются на ряде прикладных задач. Материал книги на 90% оригинален и обобщает опыт многолетних исследований авторов по указанной проблематике.

Монография предназначена для магистрантов и преподавателей широкого круга специальностей экономического профиля вузов, а также научных работников, проявляющих интерес к проблемам моделирования управленческих решений в сфере экономики в условиях неопределенности.

УДК 65.0(075.4)

ББК 65.290-2

ISBN 978-5-16-010269-6 (print)

ISBN 978-5-16-102202-3 (online)

© Белолипцев И.И., Горбатков С.А.,
Романов А.Н., Фархиева С.А., 2015

Подписано в печать 25.02.2015.

Формат 60×90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура *Newton*.

Усл. печ. л. 19,0. Уч.-изд. л. 21,66. ПТ10.

ТК 478150-480352-250215

Оглавление

СПИСОК ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	3
Аббревиатуры:	3
Математические символы:	4
СЛОВАРЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ИНДЕКСАХ	5
ПРЕДИСЛОВИЕ	6

ГЛАВА 1

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ 9

1.1. Краткие сведения по принципу работы нейронных сетей обратного распространения ошибки	9
1.2. Примеры постановок задач математического моделирования экономических объектов при разработке управленческих решений	15
1.2.1. Задача рейтингования учреждений общего среднего образования при распределении субвенций	15
1.2.2. Задача прогноза наполнения муниципального бюджета	16
1.2.3. Рейтингование муниципальных лечебных учреждений по обобщенному критерию эффективности деятельности	16
1.2.4. Групповое рейтингование налогоплательщиков — юридических лиц при разработке управленческих решений по налоговому регулированию	17
1.2.5. Математические статические модели оценки платежеспособности и динамические модели оценки кредитоспособности предприятий	17
1.2.6. Модели теории нечетких множеств при моделировании финансовой деятельности	18
1.3. Системный подход к построению нейросетевых моделей экономических объектов	19
1.4. Краткий обзор состояния проблемы применения нейросетей в финансовой деятельности в мире и России	21
1.5. Условия моделирования и особенности развиваемого подхода к нейросетевому моделированию. Концепция квазистатистики	23
1.6. Общие преимущества и недостатки нейросетевых моделей при решении обратных задач восстановления зависимостей и классификации	25
Выводы по главе 1	29

ГЛАВА 2

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО БАЗИСА МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОБЩЕСИСТЕМНЫХ ЗАКОНОВ 31

2.1. Общая постановка обратных задач и проблема их регуляризации	31
--	----

2.1.1.	Парадигма регуляризации обратных задач на основе теории А.Н. Тихонова и Байеса	32
2.1.2.	Проблемы повышения эффективности нейросетевых моделей при решении прикладных задач налогового контроля и диагностики банкротств	33
2.2.	Концепция регуляризации нейросетевой модели при решении обратной задачи восстановления функциональных зависимостей, скрытых в данных, на основе системного закона энтропийного равновесия.....	34
2.2.1.	Закон энтропийного равновесия в открытой информационной системе	34
2.2.2.	Формулировка концепции 1 регуляризации нейросетевой модели восстановления функциональных зависимостей на основе байесовского подхода	36
2.3.	Концепция обеспечения состоятельности задачи регуляризации нейросетевой модели за счет взаимосвязанного управления информативностью данных и качеством их аппроксимации в нейросети	38
2.3.1.	Проблема обеспечения состоятельности задачи регуляризации	38
2.3.2.	Формулировка концепции 2 о взаимосвязанном управлении информативностью данных и качеством их аппроксимации в нейросетевой модели	39
2.4.	Концепция вложения моделей и методов их построения по принципу «матрешки» на основе общесистемного закона агрегирования	41
2.4.1.	Предварительные замечания	41
2.4.2.	Общесистемный метод агрегирования. Агрегирование подмоделей 1, 2, 3 и 4 в обобщенную (гибридную) нейросетевую модель на примере задачи камерального налогового контроля	43
2.5.	Концепция диагностики нарушения налогового законодательства в декларациях и диагностики банкротств корпораций	48
2.5.1.	Фоновая закономерность	48
2.5.2.	Формулировка концепции 4	52
2.6.	Концепция количественного сравнения и оптимизации отбора систем показателей для построения нейросетевых моделей на основе байесовского подхода	53
2.7.	Концепция сокращения размерности факторного пространства	55
2.7.1.	Постановка задачи сокращения размерности пространства признаков.....	55
2.7.2.	Формулировка концепции 6	56
2.8.	Концепция учета неопределенности в оценке отклонений показателей предприятий-налогоплательщиков от «эталонной» поверхности на основе вероятностного, фрактального и логистического подходов.....	57
2.8.1.	Двойственная природа больших отклонений как результат неполного подавления дисфункций структурируемой математико-информационной модели	57
2.8.2.	Вероятностный подход к оценке неопределенности в задаче ранжирования налогоплательщиков	58

2.8.3. Фрактальный подход к оценке неопределенности в задаче ранжирования налогоплательщиков	59
2.8.4. Формулировка концепции 7 синтеза оптимального плана отбора налогоплательщиков для выездных проверок	61
2.9. Концепция оценки вероятности риска через ее логистическую трансформацию	62
2.10. Концепция ступенчатой иерархической схемы оценки адекватности нейросетевой модели налогового контроля и диагностики банкротств	62
2.11. Концепция восстановления динамической зависимости вероятности риска некредитоспособности предприятий с непрерывным временем при неполных данных	63
2.11.1. Проблема неполноты данных при построении динамических моделей банкротств с непрерывным временем	63
2.11.2. Математический и системный аспекты предлагаемой концепции	64
Выводы по главе 2	65

ГЛАВА 3

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ ЧАСТИ МНОГОМЕРНЫХ ФУНКЦИЙ И ЕЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

3.1. Вычислительные модельные эксперименты по анализу устойчивости нейросетевых моделей	66
3.1.1. Методика вычислительных экспериментов по устойчивости НСМ	66
3.1.2. Результаты вычислительных экспериментов	67
Выводы	71
3.2. Классификация методов регуляризации нейросетевых моделей при решении обратных задач восстановления функциональных зависимостей, скрытых в данных	71
3.3. Корректная постановка обратных задач восстановления многомерных функций (задач интерпретации) и понятия регуляризации по А.Н. Тихонову	77
3.3.1. Основные понятия и определения	77
3.4. Использование сглаживающего функционала А.Н. Тихонова для задачи восстановления многомерных нелинейных функций в MLP-сетях	79
3.4.1. Практический алгоритм регуляризации MLP-нейросетей в задаче восстановления	81
3.5. Байесовский подход к регуляризации нейросетевых моделей аппроксимации нелинейных функций многих переменных	84
3.5.1. Постановка задачи и ее особенности	84
3.5.2. Обучение по Байесу. Основные понятия. Регуляризация обучения	86

3.5.3. Связь между ошибкой обобщения и минимальной длиной описания в байесовском подходе.....	90
3.5.4. Итерационный процесс байесовского обучения (<i>ЕМ</i> -алгоритм)	92
3.5.5. Байесова аппроксимация функций без кросс-валидации	92
3.5.6. Решение в общем виде	93
Выводы	94
3.6. Оригинальный квазибайесовский метод регуляризации обучения нейросети при сильном зашумлении данных с неизвестной функцией закона распределения шума	95
3.6.1. Фильтрация априорных гипотез	98
3.6.2. Обобщение квазибайесовского метода регуляризации нейросетевых моделей.....	100
3.7. Модифицированный метод вложенных математических моделей, основанный на взаимосвязанном управлении информативностью данных и качеством их аппроксимации в байесовском ансамбле нейросетей	101
3.7.1. Логическая схема метода.....	101
3.7.2. Алгоритм I.3 априорного экспертного выбора типа нейросети, ее архитектуры, активационных функций и алгоритма обучения	106
3.7.3. Алгоритм I.4 оптимального выбора системы экономических показателей (факторов)	108
Алгоритм I.3 метода альтернативного выбора системы показателей	109
3.7.4. Алгоритм I.7 уменьшения размерности факторного пространства.....	110
3.7.5. Алгоритм I.8 удаления из данных противоречивых вектор-строк (примеров) наблюдений по аналогу критерия Липшица	110
3.7.6. Алгоритм I.10 оптимальной итерационной очистки данных от аномальных наблюдений.....	112
Очистка на байесовском ансамбле вспомогательных нейросетевых субмоделей	114
3.7.7. Алгоритм I.2 «ремонта» вектор-столбцов данных в кластерах.....	115
Восполнение пропущенных клеток вектор-столбцов данных.....	116
3.7.8. Алгоритмы II.1–II.7 для подмодели II в рамках MBMM.....	116
3.8. Вычислительные эксперименты по апробации алгоритмов подмоделей I и II для MBMM.....	116
3.8.1. Вычислительные эксперименты по управлению однородностью данных в выборке.....	117
Первоначальная версия алгоритма кластеризации, учитывающая итоговый показатель качества разбиения данных с помощью метода <i>k</i> -средних.....	117
Сокращение размерности факторного пространства на основе метода главных компонент	127
Выводы по сериям 1 и 2 вычислительных экспериментов	132
3.8.2. Апробация алгоритма I.1 априорного экспертного выбора метагипотезы для байесовского ансамбля в подмодели I MBMM	133

3.8.3. Вычислительные эксперименты по алгоритму оптимального выбора системы экономических показателей для HCM и алгоритму сокращения размерности пространства факторов	133
3.8.4. Вычислительные эксперименты по апробации алгоритма 1.10 удаления из данных противоречивых вектор-строк	133
3.8.5. Вычислительные эксперименты по алгоритму 1.10 из рис. 3.5 очистки обучающего множества от аномальных наблюдений	135
Постановка задачи	135
Результаты вычислительных экспериментов	136
Выводы	138
3.8.6. Вычислительные эксперименты по алгоритму 1.2 из рис. 3.5	139
Выводы	140
3.8.7. Вычислительные эксперименты по алгоритмам 11.1–11.7 из рис. 3.5 по квазибайесовскому методу регуляризации нейросетей	140
Постановка задачи	141
3.9. Метод многоступенчатой оценки адекватности нейросетевой модели, получаемой с помощью квазибайесовского метода регуляризации	144
3.9.1. Алгоритм метода многоступенчатой оценки адекватности (МОА) нейросетевой модели, получаемой с помощью MBMM	146
3.9.2. Алгоритм оценки риска неверного отбора налогоплательщиков на основе фрактальных размерностей	148
3.9.3. Результаты вычислительных экспериментов	148
Выводы по главе 3	151

ГЛАВА 4

НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ С СЕЛЕКЦИЕЙ ПРИЗНАКОВ И БАЙЕСОВСКОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ БАНКРОТСТВ И НАЛОГОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

4.1. Прикладные задачи классификации при оценке риска банкротств корпораций и кластеризации в методике налогового регулирования	152
4.2. Особенности постановки задач классификации и кластеризации в аспекте байесовского подхода	152
4.3. Оригинальный байесовский итерационный метод кластеризации на основе селекции признаков и байесовской регуляризации	154
4.3.1. Алгоритм метода	155
4.3.2. Скалярная селекция признаков	157
4.3.3. Квазибайесовский алгоритм (КБМ) регуляризации нейросетевого кластеризатора в блоке 4	160
4.3.4. Оптимизация числа образуемых кластеров	162
4.3.5. Регуляризация задачи кластеризации для гауссовой смеси распределений	162

4.4. Вычислительные эксперименты по апробации нейросетевого метода кластеризации с селекцией признаков и байесовской регуляризацией	163
4.4.1. Постановка задачи нейросетевого моделирования.....	163
4.4.2. Выбор переменных и варьируемых параметров	165
4.4.3. Анализ результатов моделирования.....	172
4.4.4. Апостериорные оценки качества нейросетей-гипотез $\{h_q\}$ на байесовском ансамбле.....	175
4.4.5. Рекомендации по принятию управленческих решений по налоговому регулированию на основе решения задачи кластеризации.....	176
4.4.6. Сравнение результатов кластеризации, полученных с помощью квазيبайесовского метода из параграфа 4.4, с результатами применения классического метода k -средних	176
Выводы по главе 4	180

ГЛАВА 5

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ КРЕДИТНЫМ ПРОЦЕССОМ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

5.1. Предварительные замечания к постановке задачи	181
5.2. Анализ известных моделей диагностики банкротств в системе корпоративного управления в реальном и финансово-банковском секторах	184
5.2.1. Классификация методов и моделей оценки банкротств корпораций	186
Logit-модели оценки банкротства	189
Модели с нечетким описанием риска банкротства	194
Нейросетевые и гибридные модели банкротств корпораций.....	198
Модели распознавания образов.....	205
Выбор и сравнение систем показателей в моделях банкротств (блок 2 на рис. 5.1).....	205
Классификация методов по алгоритмам сокращения размерности пространства признаков (блок 3 на рис. 5.1)	208
Классификация по методам предобработки данных (группа методов в блоке 4 на рис. 5.1)	208
Методы регуляризации нейросетевых моделей банкротств (блок 5 на рис. 5.1).....	209
5.3.2. Выводы и рекомендации по итогам классификационного анализа.....	210
5.4. Гибридный нейросетевой логистический метод с байесовской регуляризацией для оценки вероятности риска банкротства (ГНЛБ)	210
5.4.1. Основная схема гибридного метода ГНЛБ.....	210
5.4.2. Формализация выбора системы показателей для диагностики и прогнозирования банкротства на основе байесовской методологии.....	211
5.4.3. Количественная апробация основной схемы гибридного метода ГНЛБ	215

5.4.4. Формализация алгоритма сокращения пространства факторов внутри выбранной системы	219
Вычислительный эксперимент по снижению размерности данных в задаче диагностики банкротств	220
5.5. Квазистатистическая версия ГНБЛ для оценки риска банкротства предприятия	222
5.6. Итерационный гибридный нейросетевой метод построения динамических моделей банкротств с непрерывным временем при неполных данных.....	224
5.6.1. Постановка задачи	226
5.6.2. Описание алгоритма предлагаемого гибридного метода	227
Построение вспомогательной квазистатистической нейросетевой модели оценки риска банкротства (КНСМ)	227
5.6.3. Динамический нейросетевой метод (ДНСМ) оценки вероятности риска банкротства	231
5.6.4. Модификация динамического нейросетевого метода оценки риска банкротства (МДНСМ)	232
Ограничения для предложенных модификаций нейросетевого метода оценки риска банкротства	232
5.6.5. Апробация и построение динамической модели банкротств на реальных данных (использовались данные из [22, с. 50–62])	232
Выводы по главе 5	236

ГЛАВА 6

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ПЛАНА ВЫЕЗДНЫХ НАЛОГОВЫХ ПРОВЕРОК И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО НАЛОГОВОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ

6.1. Повышение эффективности систем налогового контроля и управления (СНКУ) на основе моделирования объектов налогообложения	239
6.2. Метод построения нейросетевой модели налогового контроля и синтеза оптимального плана выездных налоговых проверок.....	243
6.2.1. Оценка вероятности доначислений для предприятий-налогоплательщиков, допустивших нарушение налогового законодательства.....	244
Алгоритм оценки вероятности отклонений моделируемого показателя в модификации 1 метода отбора налогоплательщиков для выездных проверок.....	246
Уточненный алгоритм оценки фрактальной размерности в модификации 2 метода отбора.....	249
Результаты вычислительных и натурных экспериментов	251
6.3. Алгоритм синтеза оптимальных планов выездных налоговых проверок.....	254
6.4. Гибридный метод оценки кредитоспособности (ГМОК) для разработки модели поддержки принятия решений по налоговому регулированию с использованием нечетких правил вывода.....	256
6.4.1. Идея метода	256

6.4.2. Модификация а) ГМОК с оперированием всеми объясняющими переменными	257
6.4.3. Модификация б) ГМОК с оперированием одним обобщенным критерием.....	260
6.4.4. Результаты количественных оценок по ГМОК.....	261
6.5. Поддержка принятия решений в налоговом администрировании на основе нейросетевых моделей с сильным зашумлением данных	263
Выводы по главе 6	270
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	271
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	276
ПРИЛОЖЕНИЯ	284
Приложение П.1	284
Приложение П.2.....	286
Приложение П.3.	288
Приложение П4	290