

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Обліково-економічний факультет  
(повна назва факультету)

Кафедра економічної кібернетики  
(повна назва кафедри)

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри економічної кібернетики  
д. ф.- м. н., проф. Якуб Є. С. ( \_\_\_\_\_ )  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

магістра  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)  
на тему:

«Багатоагентне моделювання діяльності фондової біржі»

Виконав: студент VI курсу, групи 6  
спеціальності 8.03050201  
«Економічна кібернетика»  
(шифр і назва спеціальності)

Лозовський М.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Якуб Є.С.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Мартиновський В.С.  
(прізвище та ініціали)

ОДЕСА - 2017 року

## АНОТАЦІЯ

на дипломну роботу Лозовського Максима Миколайовича

«Багатоагентне моделювання діяльності фондової біржі»

на здобуття освітньо – кваліфікаційного рівня

магістра за магістерською програмою

"Економіко-математичне моделювання"

Одеський національний економічний університет

м. Одеса, 2017 рік

Магістерська робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи становить 85 сторінок комп'ютерного тексту. Робота містить 24 малюнки, список використаної літератури включає 72 джерела.

Метою написання дипломної роботи є створення імітаційної моделі фондового ринку з можливістю варіювання параметрів учасників ринку та середовища, що допоможе спрогнозувати поведінку учасників фондового ринку.

Об'єктом дослідження виступає фондовий ринок, а предметом – поведінка трейдерів.

У роботі розглядаються особливості фондового ринку; теоретичні підходи до вивчення поведінки учасників ринку; сучасні моделі поведінки учасників фондового ринку; сценарії, що реалізують стабільну та нестабільну поведінку ринку; розроблена багатоагентна модель в середовищі Anylogic; проведені імітаційні експерименти, на основі яких зроблені висновки стосовно стабільності функціонування ринку.

**Ключові слова:** фондовий ринок, трейдер, модель поведінки трейдерів, стратегія поведінки агента, бульбашка та крах, багатоагентна модель, імітаційне моделювання, Anylogic.

## **ABSTRACT**

of the Diploma Paper of Lozovskyi Maksim Mykolajovych

«The multiagent modeling of Stock Exchange operations»

for acquiring education and qualification level of a Master

in the master's program

«**Mathematical Modeling in Economics**»

Odessa National Economic University

Odessa, 2017

Master's thesis consists of an introduction, three chapters, conclusion, list of references and applications. Total volume of work is 85 pages of computer text. The work contains 24 figures, list of references includes 72 sources.

The purpose of writing the thesis is to develop a simulation computer model of stock market with the possibility of varying trader parameters and environment parameters that will help to predict the behavior of the stock market.

Object of research supports stock market. A subject is trader behavior.

In this paper, the features of the stock market; theoretical approaches to the study of the behavior of market participants; scripts that implement stable and unstable market behavior; multiagent model developed with Anylogic; were run simulation experiments on which conclusions regarding the sustainability of the market.

**Keywords:** stock market, trader, consumer behavior, model of trader behavior, strategy of trader behavior, bubble and crash, multiagent model, imitation modeling, Anylogic.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДУВАННЯ БАГАТОАГЕНТНОЇ МОДЕЛІ ФОНДОВОГО РИНКУ.....</b>	<b>7</b>
1.1. СУТНІСТЬ ФОНДОВОГО РИНКУ ТА ФОНДОВОЇ БІРЖИ .....	7
1.2. ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФОНДОВОГО РИНКУ .....	20
1.3. ПРИКЛАДИ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНИХ МОДЕЛЕЙ РИНКІВ.....	25
1.3.1. МОДЕЛЬ BROCK ТА HOMMES. АДАПТИВНА СИСТЕМА ПЕРЕКОНАНЬ .....	25
1.3.2. МОДЕЛЬ LUX ТА MARCHESI. СТОХАСТИЧНІ ВЗАЄМОДІЇ ТА ЗАКОНИ ПОДІБНОСТІ .....	25
1.3.3. МОДЕЛЬ КІМА ТА МАРКОВІЦА .....	25
<b>РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФОНДОВОГО РИНКУ.....</b>	<b>30</b>
2.1. ОСОБЛИВОСТІ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ .....	30
2.2. ВИБІР СЕРЕДОВИЩА МОДЕЛЮВАННЯ .....	34
2.3. АРХІТЕКТУРА МОДЕЛІ.....	41
2.4. СЦЕНАРІЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ МОДЕЛІ .....	51
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ ПОБУДОВАНОЇ МОДЕЛІ. 53</b>	<b>53</b>
3.1. ЗАГАЛЬНІ ДЛЯ ВСІХ СЦЕНАРІЇВ ПАРАМЕТРИ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ МОДЕЛІ... 53	53
3.2. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРШОГО ПІДХОДУ (ШУМОВІ, РАЦІОНАЛЬНО- ШУМОВІ ТА СТАБІЛІЗУЮЧІ АГЕНТИ) .....	59
3.3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ДРУГОГО ПІДХОДУ (ШУМОВІ, РАЦІОНАЛЬНО- ШУМОВІ АГЕНТИ ТА ПОРТФЕЛЬНІ ІНВЕТОРИ) .....	64
3.4. ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПОДАЛЬША РОЗРОБКА МОДЕЛІ.....	76
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>78</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>79</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>85</b>

## ВСТУП

Фінансовий ринок являє собою дуже складний механізм, який поєднує в собі безліч взаємозалежних процесів. Велика кількість торгових агентів щодня роблять багато операцій купівлі/продажу, що призводить до відповідних коливань цін на активи (акції, товари, валюти, деривативи та ін.) Так само суттєво впливає на ціни тих чи інших активів економічна, політична і навіть розважальна інформація. Поведінка учасників ринку не завжди раціональна, іноді вона може описуватися як стадна (наслідувальна).

В ході ринкової торгівлі в результаті діяльності і взаємодії різних учасників ринку, а також впливу ряду екзогенних інститутів мають місце такі явища, як: крахи, бульбашки. Крах - різке падіння вартості активу. Вкрай негативне явище, яке в залежності від своєї сили тягне колосальні збитки приватних інвесторів, банкрутства цілих компаній, економічні кризи. Бульбашка - надмірне завищення вартості активу в порівнянні з його «справедливою ціною». Справедлива ціна - економічна концепція, яка припускає, що в ціну включені тільки економічно обґрунтовані витрати, а прибуток не перевищує середньоринковий. Бульбашка найчастіше є попередником краху.

Історія знає безліч прикладів прояви цих двох явищ. Їх наслідки завжди негативно позначалися як на учасниках ринку, так і на економіці в цілому, що робить вивчення природи, причин, наслідків, можливих механізмів передбачення і регулювання цих явищ актуальним.

У даній роботі розглядається і застосовується такий напрям досліджень, як багатоагентне імітаційне моделювання фондової біржі.

Мета даної роботи - створення моделі фондового ринку, в якій, варіюючи ті чи інші фактори і параметри як учасників ринку, так і середовища, можна простежити можливі сценарії розвитку ринку, в тому числі що призводять до бульбашок і крахів.

Відповідно до мети роботи поставлені наступні завдання:

1. Вивчити літературу по темам Моделювання фондового ринку, Агентно-орієнтованого моделювання, Імітаційного моделювання, Коштів і способів імітаційного моделювання. Звернути увагу на основні положення даних моделей.
2. Обрати середовище і засоби для розробки та реалізації власної моделі.
3. Побудувати власну модель, комбінуючи компоненти вивчених моделей, додавши елементи, які дозволять в сумі наблизити модель до реального ринку.
4. Скласти сценарії, які реалізують стабільну і нестабільну поведінку ринку, розглянути поведінку моделі при реалізації даних сценаріїв.
5. Оцінити можливості розвитку моделі в перспективі.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання даної роботи було вивчено велику кількість зарубіжної літератури за тематикою агентно-орієнтованого імітаційного моделювання фондових ринків, а також було використано мову програмування Java і середовище імітаційного моделювання AnyLogic. На основі існуючих моделей і підходів до моделювання фондових ринків була розроблена і запрограмована алгоритмічна імітаційна модель штучного фінансового ринку, що містить в собі агентів, які володіють шумовою, раціонально-шумовою та стабілізуючою стратегіями поведінки.

В результаті симуляції роботи ринку з різними початковими параметрами були реалізовані різні сценарії, що демонструють поведінку ринку. Продемонстровані стабільне життя ринку, як результат активної торгівлі, а також виникнення бульбашок і крахів в результаті наслідування активності великих за чисельністю груп трейдерів. В результаті проведення експериментів було показано, що якщо кількість шумових і раціонально-шумових агентів в сумі значно перевищують 25% від загального числа агентів, то життя ринку з дуже високою ймовірністю завершується крахом.

Дана робота показує, що такі важливі явища економічного життя, як бульбашки і крахи фінансових ринків піддаються моделюванню. Побудована модель в простих реалізаціях продемонструвала, що бульбашки і крах можуть виникати в результаті взаємодії шумових і раціонально-шумових агентів при відсутності інших факторів, що впливають на стабільність ринку.

В результаті виконання даної роботи є алгоритмічна модель, що має блочну архітектуру, що дозволяє з мінімальними технічними витратами ускладнювати і вдосконалити її. Таким чином, створено інструмент для моделювання та імітації діяльності фондової біржі, що володіє потенціалом в питанні моделювання та дослідження як штучних, так і реальних фондових ринків і особливостей їх динаміки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стерняков О.О. Имитационное моделирование фондовых рынков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 2 (33) С. 274–281.
2. Єгорова Л.Г. Агентно-ориентированные модели биржи // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. 2014. [Электронный ресурс]. URL:<http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/prcdngs/8391.pdf>
3. Рудик М.Б. Поведенческие финансы или между страхом и алчностью / М.Б. Рудик – М.: Изд. дом «Дело», 2004. – 270 с.
4. Порубова П.В., Райзман Е.М., Шигаева Н.В. Моделирование и анализ стратегий неинституционального инвестора, основанной на эконометрическом анализе фундаментальных факторов ценообразования на российском фондовом рынке // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2014. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/06/5241>
5. Стерняков О.О. Об одном универсальном методе построения моделей для сложных многоагентных систем // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т. 5 № 4 С. 513–523.
6. Gonchar N.S. Mathematical model of a stock market // Condensed Matter Physics. 2000. Vol. 3. No. 3(23). PP. 461–496.
7. Борщев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta PRO. 2004. № 3-4 (7-8). С. 38-47.
8. Markowitz Harry M. Portfolio Selection // Journal of Finance. 1952. 7. № 1 pp. 71-91
9. Sharpe, William F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk, Journal of Finance, 19 (3), 425-442



10. Lintner, John (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets, *Review of Economics and Statistics*, 47 (1), 13-37.
11. Fisher Black, Myron Scholes, The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *The Journal of Political Economy*, Volume 81, Issue 3(May-June, 1973) pp 637-654.
12. Cox, J.C., J.E. Ingersoll and S.A. Ross (1985). "A Theory of the Term Structure of Interest Rates". pp 385–407.
13. Johansen, A. and Sornette, D.(1999) Critical crashes, *Risk* 12(1), 91-94
14. Johansen, A. Ledoit, O., and Sornette, D.(2000). Crashes as critical points, *International Journal of Theoretical and Applied Finance* 3, 219-255.
15. Johansen, A., D. Sornette, O. Ledoit, Predicting financial crashes using discrete scale invariance, *Journal of Risk* 1 (1999) 5-32.
16. Sornette, D. A. Johansen, Significance of log-periodic precursors to financial crashes, *Quantitative Finance* 1 (2001) 452-471.
17. Sornette, D. *Why Stock Markets Crash*, Princeton University Press, Princeton, N.J, 2003.
18. Sornette, D., A. Johansen, J.-P. Bouchaud, Stock market crashes, precursors and replicas, *Journal de Physique I France* 6 (1996) 167-175.
19. Blanchard, O.J.(1979). Speculative bubbles, crashes and rational expectations, *Economics Letters* 3, 387-389.
20. Blanchard, O.J. and Watson, M.W.(1962). Bubbles, rational expectations and speculative markets, in *Crisis in Economics and Financial Structure: Bubbles, Bursts, and Shocks*, P Wachtel, editor(Lexington Books, Lexington, MA).
21. MILAN LOVRIĆ, *Behavioral Finance and Agent-Based Artificial Markets* Chapter 4, 41-56
22. A Survey of Agent Based Artificial Stock Markets, *International Research Journal of Finance and Economics* 64(2011), 126-139

23. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic.
24. Bothmer, H.-C., C. Meister, Predicting critical crashes? A new restriction for the free variables, *Physica A* 320 (2003) 539-547.
25. Grech, D. and Z. Mazur, Can one make any crash prediction in finance using the local hurst exponent idea? *Physica A* 336 (2004) 133-145.
26. Внукова Н.М., Грачов В.І., Кузьминчук Н.В. Ринок фінансових послуг: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. - Х.: ВД "ІНЖЕК", 2004.
27. Гаршина О.К. Цінні папери: Навч. посіб. - К: Видавн. дім "Слово", 2004.
28. Говорушко Т.А. Страхові послуги. Навч. посіб. - К.: Центр навчальної літератури, 2005.
29. Говорушко Т.А., Тимченко О.І. Малий бізнес. Навч. посіб. - К.: Центр навчальної літератури, 2006.
30. Демківський А.В. Гроші та кредит. Навч. посіб. - К.: Дакор, 2007.
31. Дудяк Р.П., Бугіль С.Я. Організація біржової діяльності: основи теорії і практикум: Навч. посіб. - 2-ге вид., доп. - Л.: Новий світ - 2000: Магнолія плюс, 2003.
32. Еш С.М. Фінансовий ринок. Курс лекцій. - К.: НУХТ, 2007.
33. Еш С.М. Методичні вказівки до вивчення дисципліни та виконання контрольної роботи з дисципліни "Фінансовий ринок". - К.: НУХТ, 2006.
34. Калина А.В., Кошечев О.О. Фондовий ринок: Навч. посіб. для дистанційного навчання / К.: Вид-во "Університет "Україна", 2006.
35. Колісник М.К., Маслак О.О., Романів Є.М. Фінансовий ринок: Навч. посіб. - Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004.
36. Крамаренко В.І. Біржова діяльність: Навч. посіб. - К: ЦУЛ, 2003.
37. Маслова С.О., Опалов О.А. Фінансовий ринок: Навч. посіб. - 2-е вид., випр. - К.: Каравела, 2003.
38. Мозговий О.М. Фондовий ринок: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. - К.: КНЕУ, 2001.

39. Павлов В.І., Пилипенко Кривов'язюк І.В. Цінні папери в Україні: Навч. посіб. - 2-е вид., доп. - К.: Кондор, 2004.
40. Пасічник В.Г., Акіліна О.В. Ринок цінних паперів: Навч. посіб. - К.: Центр навч. літ., 2005.
41. Ринок фінансових послуг: Навч. посіб. /М.А. Коваленко, Л.М. Радванська, Н.В. Лобанова, Г.М. Швороб. - Херсон: Олді-плюс, 2004.
42. Смолянська О.Ю. Фінансовий ринок: Навч. посіб. - К.: Центр навч. літ., 2005.
43. Солодкий М.О. Біржовий ринок: Навч. посіб. - 2-ге вид., випр. - К.: Джерела М, 2002.
44. Сохацька О.М. Біржова справа: Підруч. - Т.: Карт-бланш, 2003.
45. Ходатвська В.П., Беляєв В.В. Ринок фінансових послуг: теорія і практика: Навч. посіб. - К.: ЦУЛ, 2002.
46. Шелудько В.М. Фінансовий ринок: Навч. посіб. - 3-тє вид., випр. і доп. - К.: Знання-Прес, 2008.
47. Борщев А. В. От системной динамики и традиционного ИМ к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты // URL: <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>. — 2004.
48. Городецький В.І. Самоорганізація і багатоагентні системи. II. Приложения и технология разработки // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2012а. — № 3. — С. 55–74.
49. Городецький В. І. Самоорганізація і багатоагентні системи. I. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2012б. — № 2. — С. 92–120.
50. Замятина О. Б., Чудинов Г. В. Разработка и использование программных средств для построения и исследования агентных имитационных моделей // Вестник Пермского университета. — 2010. — № 2. — С. 80–84.
51. Сидоренко В. Н., Красносельский А. В. Имитационное моделирование в науке и бизнесе: подходы, инструменты, применение //

Междисциплинарный научно-практический журнал ГУ ВШЭ «Бизнес-информатика». — 2009. — С.52.

52. Стеряков А. А. Математическая модель агентного типа для фондового рынка с неоднородными участниками // 18-я международная конференция «Математика. Компьютер. Образование». Под ред. Г.Ю. Ризниченко и А. Б. Рубина. — 2011. — С. 284.
53. Андреев Н. А., Лапшин В. А., Науменко В. В., Смирнов С. Н. Определение ликвидационной стоимости портфеля акций с учетом особенностей микроструктуры рынка (на примере ММВБ) // Управление риском. — 2011. — Т. 58, № 2. — С. 35-53.
54. Беленький А.С. Минимаксные задачи планирования с линейными ограничениями и методы их решения // Автоматика и Телемеханика. — 1981. — Т.42, выпуск 10. — С.1409-1419. механика. — 1981. — Т.42, выпуск 10. — С.1409-1419.
55. Берзон Н.И., Буянова Е.А., Кожевников М.А., Чаленко А.В. Фондовый рынок. — М.: Вита-пресс, 1998.
56. Гасанов И.И., Ерешко Ф.И. Построение множества Парето в модели хеджирования актива опционами // Экономика и математические методы. — 2007— Т. 43, вып. 1. — С. 68-75.
57. Ерешко Ф.И. Принятие решений о диверсификации систем. Динамика неоднородных систем / Под ред. Ю.С. Попкова. — М.: ЛЕНАНД, 2010. — 324 с. С. 107-114.
58. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010.
59. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010.
60. Моисеев С.Р. Макроэкономические модели валютного курса // Финансы и кредит. — 2003. — Т. 3. — С. 44-54.

61. Моисеев С.Р. Политика валютных интервенций центральных банков: сущность, теневые механизмы и эффективность операций банка России // Финансы и кредит. –2002. –Т. 11. – С.46-53.
62. Моисеев С.Р. Ожидания на валютном рынке: теоретический экскурс и результаты прикладных исследований // Финансы и кредит. –2001. – Т.18. – С.31-35.
63. Науменко В. В., Смирнов С. Н., Костов Т. В. Измерение риска и управление портфелем в условиях низкой ликвидности // Управление риском. – 2009. – № 3. – С. 66-71.
64. Обросова Н.К., Шананин А.А. Исследование альтернативных вариантов развития экономики и энергетики России с помощью математической модели // Математическое моделирование. – 2004. – Т. 16, № 2 – С. 3–22.
65. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Опыт математического моделирования экономики. — М.: Энергоатомиздат, 1996.
66. Петров А. А., Поспелов И. Г., Шананин А. А. От Госплана к неэффективному рынку: математический анализ российских экономических структур. — Lewiston, NY: The Edwin Mellon Press, 1999.
67. Поспелов И. Г. Моделирование экономических структур. — М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2004.
68. Теплова Т.В. Инвестиции: теория и практика. – М.: Издательство Юрайт, 2014.
69. Чалдаева Л.А. Биржевое дело. – М.: Издательство Юрайт, 2014.
70. Чиркова Е. В. Анатомия финансового пузыря. – М.: ООО «Кейс», 2010.
71. Смирнов А. Д. Макрофинансы II: модель пузырей и кризисов // Экономический журнал Высшей школы экономики. – 2010. – Т. 141, № 4. – С. 401-439.
72. Энциклопедия финансового риск-менеджмента / А.А. Лобанов [и др.]; под ред. А.А.Лобанова и А.В.Чугунова. – М.: Изд-во Альпина Паблишер, 2009.