

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інститут прикладного системного аналізу
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра системного проектування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 004.8

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А. І. Петренко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« » _____ 20 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 8.05010103 Системне проектування
(код і назва спеціальності)

на тему: «Мультиагентні технології як засіб оптимізації функціонування підприємств галузі».

Виконав: студент 6 курсу, групи ДА-32м.
(шифр групи)

_____ Письменний Ігор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор, Снитюк В. Є.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці к.б.н., доц. Гусєв А.М.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент д.т.н., професор, Волошин О. Ф.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інститут прикладного системного аналізу
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра математичних методів системного аналізу
(повна назва кафедри)

Факультет (інститут) Інститут прикладного системного аналізу
(повна назва)

Кафедра системного проектування
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний рівень «Магістр»
(назва ОКР)

Напрямок підготовки 6.050101 Комп'ютерні науки
(код і назва)

Спеціальність 8.05010103 Системне проектування
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А. І. Петренко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Письменному Ігорю Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Мультиагентні технології як засіб оптимізації функціонування підприємств галузі»

науковий керівник дисертації _____ д.т.н., професор, Снитюк В. Є.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 13 » лютого 2015 р. № 19/1-ст .

2. Строк подання студентом дисертації 05.06.2015

3. Об'єкт дослідження процеси прийняття рішень щодо функціонування підприємств галузі економіки.

4. Предмет дослідження мультиагентна модель функціонування підприємств галузі.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити провести огляд існуючих методів та технологій побудови мультиагентних систем, розробити мультиагентну

систему, провести моделювання, аналіз та оптимізацію роботи підприємства в різних умовах ринку.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу діаграма сфер застосування агентних систем, таблиця порівняння підходів до розробки агентних систем, архітектура агентної моделі ринку металопластикових вікон, структура основних агентів моделі ринку, результати оптимізаційних експериментів.

7. Орієнтовний перелік публікацій Мисник Б. В. “Математичне моделювання та формалізація основних потоків виробничого підприємства”// Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2013; Письменний І. О. “Мультиагентні системи в моделюванні економіки”//Обчислювальний інтелект: праці міжнар. наук.-практ. конф., 12-15.05.2015; Joseph Kitchin “Cycles and Trends in Economic Factors “//The Review of Economics and Statistics.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	доц., к.б.н. Гусев А. М		
Основна частина	д.т.н., професор, Снитюк В. Є.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання на дипломну роботу		
2	Огляд технічної літератури за темою роботи		
3	Проведення огляду існуючих методів побудови мультиагентних систем		
4	Формалізація задачі побудови мультиагентної системи підприємств галузі		
5	Розробка мультиагентної системи підприємств галузі		
6	Моделювання функціонування підприємств галузі в ринкових умовах		
7	Аналіз та порівняння результатів моделювання		

Студент

_____ (підпис)

І. О.Письменний

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Є. В. Снитюк

_____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 92 стор. загального тексту, 57 рисунків, 11 таблиць, 35 використаних джерел.

Перед створенням нового бізнесу необхідно максимально правильно оцінити його актуальність та прибутковість, спрогнозувати його роботу в різних кон'юнктурах. Розв'язання задачі прогнозування процесів життєвого циклу підприємства на тому чи іншому етапі розвитку, у більшості випадків пов'язане з моделюванням залежностей результуючих характеристик від різноманітних вхідних факторів. Вони можуть мати різноманітну природу та визначатися як кон'юктурою ринку, так і внутрішніми параметрами підприємства, та динамічно змінюються, що значно ускладнює розрахунок потенційної ефективності компанії традиційними методами. Для рішення такої задачі оптимальним є мультиагентне моделювання.

Об'єкт дослідження – процеси прийняття рішень щодо функціонування підприємств галузі економіки.

Предмет дослідження – мультиагентна модель функціонування підприємств галузі.

Теоретико-методологічною основою роботи є агентне моделювання, системний аналіз, а також базові економічні підходи та теорія короткострокових економічних циклів.

Метою роботи є дослідження використання мультиагентних систем в оптимізації роботи підприємств, що передбачає підвищення ефективності функціонування їх бізнес-процесів та, як наслідок, збільшення прибутковості бізнесу.

За результатами виконання магістерської дисертації було подано тези на 17-ту міжнародну конференцію SAIT 2015 та 3-тю міжнародну науково-практичну конференцію COMINT-2015. Тези було надруковано в збірниках тез відповідних конференцій.

МУЛЬТИАГЕНТНА СИСТЕМА, МОДЕЛЮВАННЯ, АГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ

ABSTRACT

Master's thesis: 92 text pages, 57 figures, 11 tables, 35 sources used.

Before starting new business it's necessary to evaluate it's profitability and predict it's operation in different market conditions. Solving the problem of forecasting of the enterprise state in changing market conditions is mostly related to modeling dependencies between various input factors and economical characteristics, resulting from them. This characteristics can be defined both by external market conditionals and by internal enterprise state and are constantly changing which seriously complicates company efficiency calculations with traditional analytical methods. The best option for dealing with such tasks is the use of agent-based models.

Object of the research are the decision processes corresponding to the enterprises' operation in the economic sector.

Subject of the research is the multi-agent model of the enterprises' operation in the economic sector.

Theoretical and methodological basis of the research is presented by agent modeling, system analyses, as well as basic economic theory approaches and short-term economic cycles.

The aim of the research is to study the usage of the multi-agent systems in the optimization of the enterprises' operation, providing the improvements to the efficiency of their business processes and, consequently, increase in profitability.

According to the results of the master's thesis, abstracts were created and submitted to the 17th International Conference SAIT 2015 and 3rd international scientific conference COMINT-2015. Abstracts were published in the book of abstracts of abstracts of corresponding conferences.

MULTI-AGENT SYSTEM, MODELING, AGENT-BASED MODELING,
ECONOMY OPTIMIZATIONS

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОСНОВНІ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МУЛЬТИАГЕНТИХ СИСТЕМ.....	10
1.1 Сфери застосування мультиагентного моделювання в оптимізації роботи підприємств галузі	10
1.1.1 Моделювання ринку	11
1.1.2 Логістика.....	11
1.1.3 Виробництво.....	12
1.1.4 Управління активами.....	12
1.1.5 Управління складом.....	14
1.1.6 Оптимізація бізнес-процесів	15
1.1.7 Оптимізація ІТ-інфраструктури та телекомунікацій.....	15
1.2 Огляд існуючих технологій побудови мультиагентної системи.....	16
1.2.1 SPADE	17
1.2.2 JADE	18
1.2.3 JADEX.....	19
1.2.4 AnyLogic	20
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РОЗРОБКИ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ.....	22
2.1 Системи управління версіями.....	22
2.2 Управління проектом та задачами.....	24
Висновки до розділу	27
3 ПРОЕКТУВАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ.....	28
3.1 Розробка мультиагентної системи на платформі JADE	28
3.2 Розробка мультиагентної системи в середовищі AnyLogic	31
3.2.1 Оптимізація рекламної стратегії підприємства.....	31
3.2.2 Моделювання ринку мобільного зв'язку.....	47
Висновки до розділу	52
4 ПОБУДОВА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ МОДЕЛІ РИНКУ.....	53

4.1	Моделювання життєвого циклу підприємства.....	53
4.2	Побудова мультиагентної моделі ринку в середовищі AnyLogic	55
4.2.1	Агенти робітника та складу	56
4.2.2	Агент клієнта	57
4.2.4	Агент підприємства	58
4.2.5	Агент Ринку	63
4.3	Моделювання ситуації на ринку.....	66
4.4	Оптимізація параметрів підприємства	72
4.4.1	Оптимізація місця розташування компанії.....	72
4.4.2	Обчислення оптимальної політики компанії.....	73
	Висновки до розділу	75
5	ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	76
5.1	Аналіз умов праці в приміщенні, де експлуатується програмне забезпечення. Заходи з охорони праці	76
5.1.1	Опис приміщення	76
5.1.2	Повітря робочої зони	78
5.1.3	Виробниче освітлення	80
5.1.4	Шум	81
5.1.5	Випромінювання	82
5.2	Напруженість праці користувача ПЕОМ.....	82
5.3	Небезпека враження людини електричним струмом	83
5.4	Пожежна безпека.....	84
5.5	Гігієнічні вимоги до організації і обладнання робочого місця	85
	Висновки до розділу	87
	ВИСНОВКИ	88
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	89

ВСТУП

Перед створенням нового бізнесу необхідно максимально правильно оцінити його потенціальну прибутковість, визначити оптимальну ринкову нішу зпрогнозувати його роботу в різних умовах ринкового середовища.

Розв'язання задачі прогнозування процесів життєвого циклу підприємства на тому чи іншому етапі розвитку, у більшості випадків пов'язане з моделюванням залежностей результуючих характеристик від різноманітних вхідних факторів. Вони можуть мати різноманітну природу та визначатися як ситуацією на ринку, так і внутрішніми параметрами підприємства, в той же час динаміка зміни цих факторів також має велике значення, що значно ускладнює розрахунок потенційної ефективності компанії традиційними аналітичними методами. (рис. 1)

Для вивчення та оптимізації складних систем застосовується мультиагентне комп'ютерне моделювання [1].



Рис. 1 – Чинники, що впливають на роботу підприємства

Мультиагентний підхід до оптимізації роботи підприємств галузі має наступні переваги перед традиційними аналітичними методами:

1. Можливість додавання нового функціоналу (агентів) без необхідності модифікувати решту агентів, яка дозволяє застосовувати ітераційні методи управління проектом моделювання та значно скорочує час побудови системи.
2. Легкість врахування випадкових чинників, що особливо важливо при моделюванні бізнесу в кризових умовах.
3. Використання однієї моделі для аналізу функціонування підприємства в різних умовах ринку та незалежність агентів моделі один від одного.
4. Простота побудови різноманітних імітаційних експериментів та перевірки їх результатів. Зовнішнє середовище є агентом нарівні з іншими учасниками системи, що дозволяє модифікувати механізми його поведінки в відриві від розробки решти моделей.
5. Використання агентних імітаційних моделей знижує витрати на відділ аналітики підприємства, адже значно прискорює процес пошуку оптимальних стратегій бізнесу.

У даній роботі функціонування підприємства буде промодельовано для різних умов зовнішнього середовища (ріст/стагнація економіки, валютні коливання, спричинена цими факторами зміна цін на комплектуючі та робочу силу). Також буде продемонстровано процес побудови оптимізаційних експериментів та аналіз їх результатів.

Показником правильності побудови та регулювання системи буде наявність короткострокових економічних циклів Кітчина, які спостерігаються в реальному світі.

1 ОСНОВНІ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МУЛЬТИАГЕНТИХ СИСТЕМ

1.1 Сфери застосування мультиагентного моделювання в оптимізації роботи підприємств галузі

Економіка галузі є дуже широкою та складною системою, тож доцільно розглянути використання мультиагентних технологій для окремих її аспектів. (рис. 1.1)

Розглянемо використання мультиагентних систем в наступних сферах діяльності підприємств:

1. Моделювання ринку та конкуренції.
2. Логістика.
3. Моделювання виробничих процесів.
4. Керування активами.
5. Управління складом.
6. Оптимізація бізнес-процесів.
7. Оптимізація ІТ-інфраструктури та телекомунікацій.
8. Оптимізація рекламної стратегії підприємства.

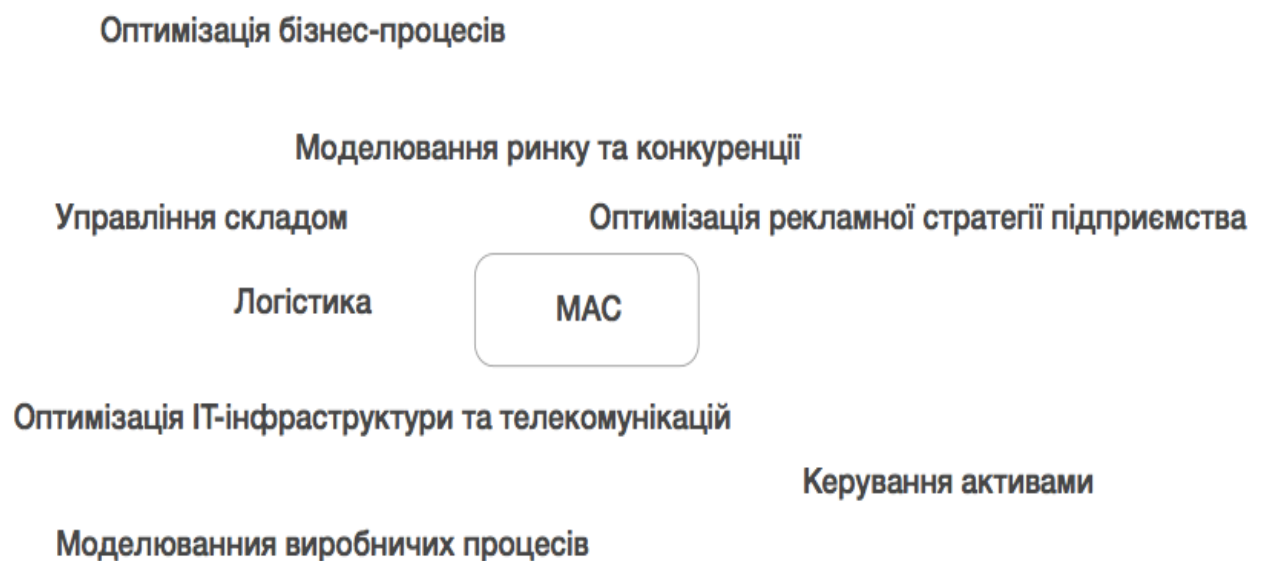


Рис. 1.1 Сфери застосування мультиагентних систем в оптимізації роботи підприємств галузі економіки

1.1.1 Моделювання ринку

Агентне моделювання є найбільш ефективним підходом до моделювання потреб споживачів, поведінки компаній конкурентів та ефективності власних стратегій поведінки на ринку[24][33].

Воно дозволяє описувати поведінку кожного типу споживачів, моделювати їх попит на ринку та робити висновки про його поведінку в цілому, бачачи взаємодію всіх суб'єктів.

Типові задач прогнозу та аналізу ринків:

1. Поведінка споживачів.
2. Лояльність, можливість переходу з одного продукту на інший.
3. Реакція на просування продукту.
4. Поведінка компаній-конкурентів.
5. Імітаційні моделі ринку в поєднанні з ланцюгами поставок, логістикою та моделлю виробництва.
6. Впровадження нового продукту.
7. Вплив рекламних стратегій на просування бренду[2].

1.1.2 Логістика

Актуальною є задача ефективного керування потоками товарів та інформації. Вона значно ускладнюється при великій кількості перевізників, постачальників, експедиторів та інших учасників.

Завдяки використанню імітаційного моделювання можна отримати інформацію, яка може допомогти збільшити рентабельність та покращити якість обслуговування клієнтів.

Побудована модель підприємства надає інструмент для прийняття управлінських рішень – дозволяє протестувати їх віртуально, оптимізувати стратегію управління в умовах ризику, що в свою чергу значно підвищує ефективність та гнучкість бізнесу.

Імітаційне моделювання логістики застосовується для:

1. Стратегічного планування, ґрунтованого на цілях компанії, тенденціях

ринку та стратегіях конкурентів.

2. Розробки адаптивних та оперативних стратегій управління, які реагують на внутрішні та зовнішні події (коливання попиту, зміна постачальників, діяльність конкурентів).
3. Побудови організаційних стратегій з врахуванням стратегічного планування, маркетингу та керування людськими ресурсами.
4. Побудови стратегій розташування складів, центрів реалізації продукції та потужностей виробництва[3].

1.1.3 Виробництво

Прийняття рішень щодо розвитку та оптимізації виробництв залежить від величезної кількості факторів, що призводить до значного ускладнення оцінки потенційного прибутку. Найоптимальнішим рішенням даної задачі є використання імітаційного моделювання та проведення імітаційних експериментів. Воно дозволяє оцінити вплив зміни різноманітних параметрів системи та оптимізувати їх значення[34].

Також можливо аналізувати не лише конкретний виробничий процес, а й роботу підприємства в цілому, завдяки чому можна оцінити витрати при різних стратегіях управління. Ще однією перевагою імітаційного моделювання є його відокремленість від процесу виробництва, збереження його неперервності[4].

1.1.4 Управління активами

При довгостроковому плануванні та проведенні економічного аналізу виникають невизначеності в даних та залежностях, які значно спотворюють її результати, не даючи отримати коректні висновки. Ці невизначеності є наслідком неточного уявлення про характеристики та тенденції при управлінні активами та здійсненні фінансових операцій.

При проведенні економічного аналізу фактор невизначеності часто ігнорується і рішення приймається на основі аналізу детермінованих моделей з припущенням врахованості всіх факторів, що впливають на економічну

ситуацію. Впровадження висновків такої аналітики призводить до певних економічних втрат.

Задля уникнення незапланованих витрат необхідно застосовувати імітаційне моделювання. Воно дозволяє врахувати невизначеності, задати ймовірнісний характер роботи компанії, обмеження та взаємозв'язки як всередині неї, так і в кон'юктурі ринку.

На базі імітаційного моделювання вирішуються наступні задачі в сфері управління активами та фінансовими операціями:

1. Аналіз та оцінка фінансових і інвестиційних ризиків. З економічної практики відомо, що для отримання надприбутків необхідно йти на ризик. Задля його оцінки необхідно точно знати кількісні показники потенційного прибутку та ймовірності його отримання. Маючи ці показники можливо обрати найбільш прибутковий варіант реалізації інвестиційного проекту за прийняттого рівня ризику. Імітаційне моделювання дозволяє кількісно оцінити прибутковість та рівень ризику інвестиційного проекту як математичне очікування показників (NPV, IRR, PI, PB) та їх дисперсію.
2. Управління інвестиційним портфелем. Прогнозування прибутковості й ризику на основі імітаційних моделей дозволяє ефективно керувати портфелем інвестиційних інструментів різної природи (від акцій та нерухомості до лізингових операцій). Також можна моделювати стратегії інвестицій в конкуруючі проекти та стратегії їх виводу на ринок в різних умовах середовища.
3. Оцінка та прогнозування фінансових результатів. Імітаційна модель дозволяє спрогнозувати детальну поведінку діяльності компанії в часі, оцінити показники ліквідності, рентабельності і скласти прогноз ефективності інвестицій (чистий прибуток, норма рентабельності, період, за який проект окупиться)[5].

1.1.5 Управління складом

Вище було розглянуто застосування мультиагентних систем в оптимізації логістики підприємств. З цією задачею тісно пов'язана задача управління складом та запасами.

Склад є невід'ємною частиною будь-якого ланцюга поставок. Ефективність всієї транспортної інфраструктури значною мірою залежить від стратегії управління запасами, вибір якої неможливий без врахування всіх параметрів складу, його ресурсів та динаміки пересування продуктів та комплектуючих.

Імітаційне моделювання допомагає проаналізувати різні варіанти розташування складської інфраструктури, оцінити чи справляться склади з ростом трафіку і визначити основні пріоритети розвитку.

Виділяють наступні типові задачі моделювання складської інфраструктури:

1. Довгострокове планування складської інфраструктури на основі динаміки бізнесу.
2. Щоденне управління ресурсами складу.
3. Детальне моделювання складів на основі структури будівель, специфіки продукції, конфігурації стелажів та навантажувачів спрямоване на пошук оптимальної конфігурації та стратегії керування.
4. Стратегічне та оперативне керування транспортуванням і автопарком на основі накопичених статистичних даних та моніторингу поточної ситуації.
5. Оптимізація керування автопарком: планування технічного обслуговування, закупки, оренди та лізингу вантажних автомобілів, вагонів, суден та літаків.
6. Оптимізація використання людських ресурсів.
7. Оцінка та керування ризиками[6].

1.1.6 Оптимізація бізнес-процесів

Менеджери можуть вирішувати проблеми організації бізнес-процесів експериментуючи з різними їх варіантами в межах відділу. Проте, пошук вирішення тої чи іншої проблеми може зайняти забагато часу і в результаті виявитись задорогим для компанії. Ще одним недоліком подібного підходу є те, що рішення окремих відділів можуть бути несумісними між собою чи не поєднуватися з глобальними політиками компанії.

Імітаційне моделювання є оптимальним інструментом для вирішення таких завдань. За допомогою агентного моделювання можна без додаткових затрат та зупинок функціонування підприємства перевірити вплив різних варіантів рішень на роботу компанії та обрати найкращий. Воно дозволяє аналізувати та оцінювати ефективність бізнес процесів компанії, оптимізувати їх та створювати нові на основі результатів імітаційних експериментів[7].

1.1.7 Оптимізація ІТ-інфраструктури та телекомунікацій

Будь-яка розвинута компанія має складну інформаційну інфраструктуру. Залежно від сфери діяльності підприємства вартість підтримки та оновлення ІТ інфраструктури може складати сотні мільйонів доларів США на рік. Постає задача оцінки ефективності інвестицій в інформаційну інфраструктуру, вибору обладнання для закупки, його сумісності з бізнес процесами компанії та впливу цих інвестицій на її роботу вцілому.

Оцінку вкладень традиційними методами ускладнює те, що ІТ інфраструктура є складною системою, яка складається з апаратної і програмної частин, робота яких залежить від великої кількості факторів, зокрема топології мережі, ефективності окремих її вузлів, встановленого програмного забезпечення, конфігурації серверів та робочих станцій. Описати її роботу за допомогою електронних таблиць та аналітичних формул неможливо.

Єдиним способом вирішення даної проблеми є мультиагентне моделювання. Необхідно розробити імітаційну модель інформаційної інфраструктури та на ній оцінити вплив внесених змін на компанію. Таким чином, імітаційна модель

застосовується як система прийняття рішень, адже дозволяє проаналізувати різні варіанти і обрати найбільш ефективний.

Крім того, модель ІТ інфраструктури може бути об'єднаною з іншими моделями компанії, що дозволить зробити більш комплексне та якісне прогнозування її роботи.

Найчастіше імітаційне моделювання застосовується для вирішення наступних задач:

1. Аналіз необхідності та ефективності інвестицій в розвиток інформаційної інфраструктури.
2. Оцінка впливу модернізації ІТ інфраструктури на бізнес процеси та фінансові показники компанії
3. Оцінка впливу ІТ інфраструктури підприємства рівень обслуговування клієнтів.
4. Розробка структури та характеристик локальних мереж та мереж внутрішнього зв'язку компанії[8].

1.2 Огляд існуючих технологій побудови мультиагентної системи

Насьогодні існує досить велика кількість різноманітних агентних платформ, які значно спрощують розробку мультиагентних систем. Більшість з них спеціалізується на розв'язанні досить вузького кола задач і не можуть покрити весь спектр можливого використання мультиагентних систем. При реалізації мультиагентної системи можна виділити 2 основних підходи до розробки:

1. Програмування агентної системи за допомогою відповідних FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) фреймворків (розробка middleware).
2. Використання графічних пакетів розробки для побудови логічних агентів (reasoning agents).

Нижче наведено огляд основних технологій побудови мультиагентних систем. Після цього буде обрано по одній технології для кожного підходу та

проведено порівняльний аналіз парадигм

1.2.1 SPADE

SPADE (Smart Python multi-Agent Development Environment) це мультиагентна платформа побудована на протоколі XMPP/Jabber та розроблена на мові програмування Python. Ця технологія пропонує функціонал, який значно спростить розробку MAS, наприклад канал комунікацій, базові класи користувачів (агентів) та серверів (платформ) та побудований на XML гнучкий протокол, аналогічний FIPA-ACL. SPADE є першою реалізацією мультиагентного фреймворку на основі технології XMPP[14]. (рис. 1.2)

Основні характеристики SPADE:

1. Відповідає специфікаціям FIPA.
2. Реалізує наступні MTP: XMPP, P2P, HTTP та SIMBA.
3. Має веб-інтерфейс управління платформою.
4. Може бути розгорнутим в гетерогенних системах.
5. Дозволяє групувати агенти.

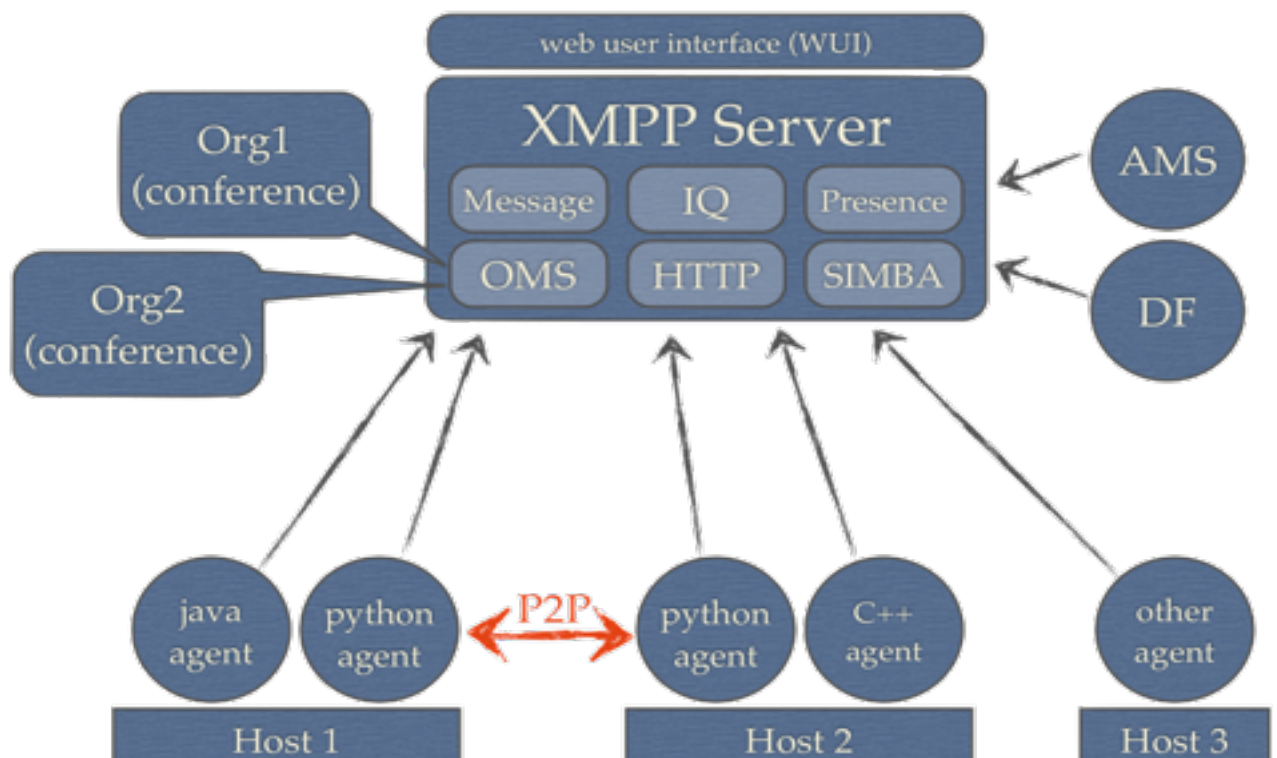


Рис. 1.2 – Архітектура SPADE-проекту[14]

1.2.2 JADE

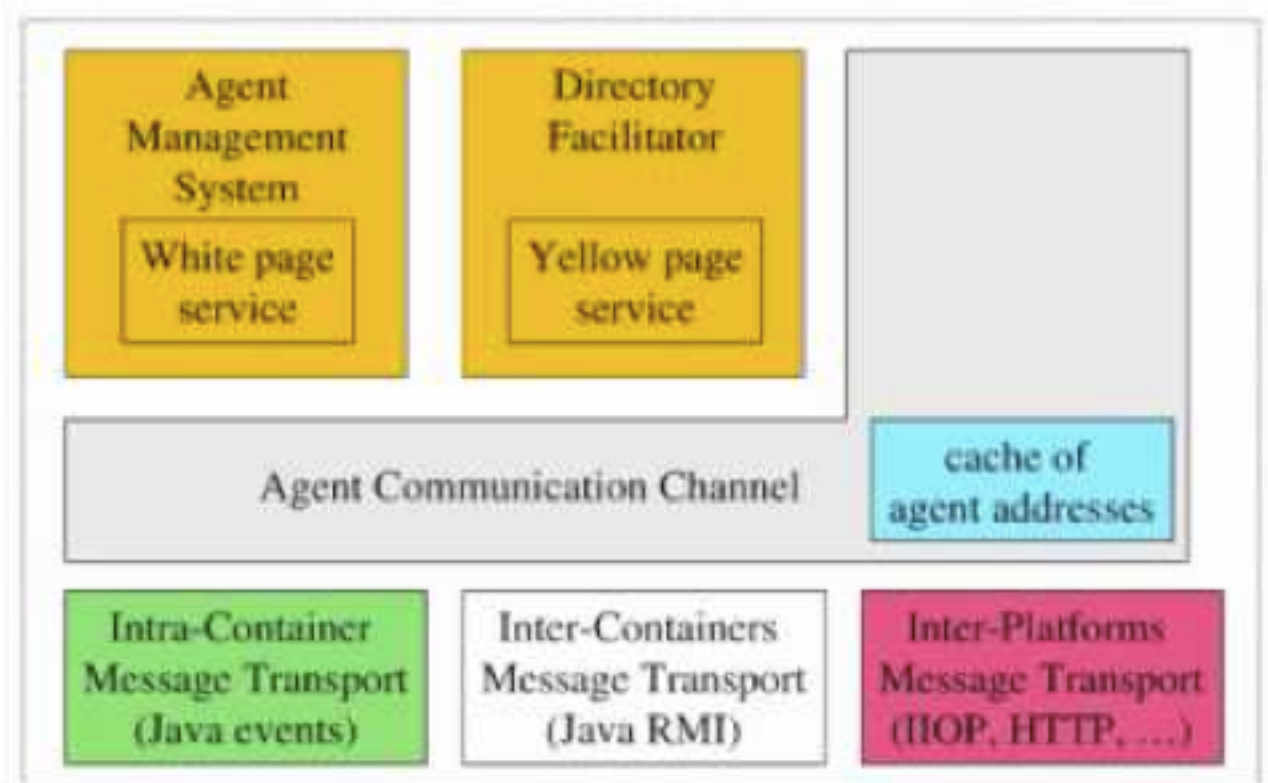


Рис. 1.3 – Архітектура JADE

JADE (Java Agent Development Framework) програмний фреймворк повністю реалізований на Java. Він значно спрощує реалізацію мультиагентної системи, надаючи middleware, який відповідає специфікаціям FIPA та набір графічних інструментів для моніторингу та розгортання системи. Система побудована на Jade може працювати в гетерогенних розподілених системах та віддалено керуватися за допомогою системного інтерфейсу користувача[15].

Основним засобом комунікації між агентами в платформі Jade є Відправка повідомлень `ACLMessage`. Повідомлення складаються з заголовку, який містить метадані та тіла повідомлення, яке складається з пар ключ-значення.

Поведінкою агента (в тому числі і обміном повідомленнями) керують класи типу `Behaviour`.

Вихідний код JADE поширюється під відкритою ліцензією GNU Lesser General Public License, що є значною перевагою, адже дозволяє безкоштовне комерційне користування.

1.2.3 JADEX

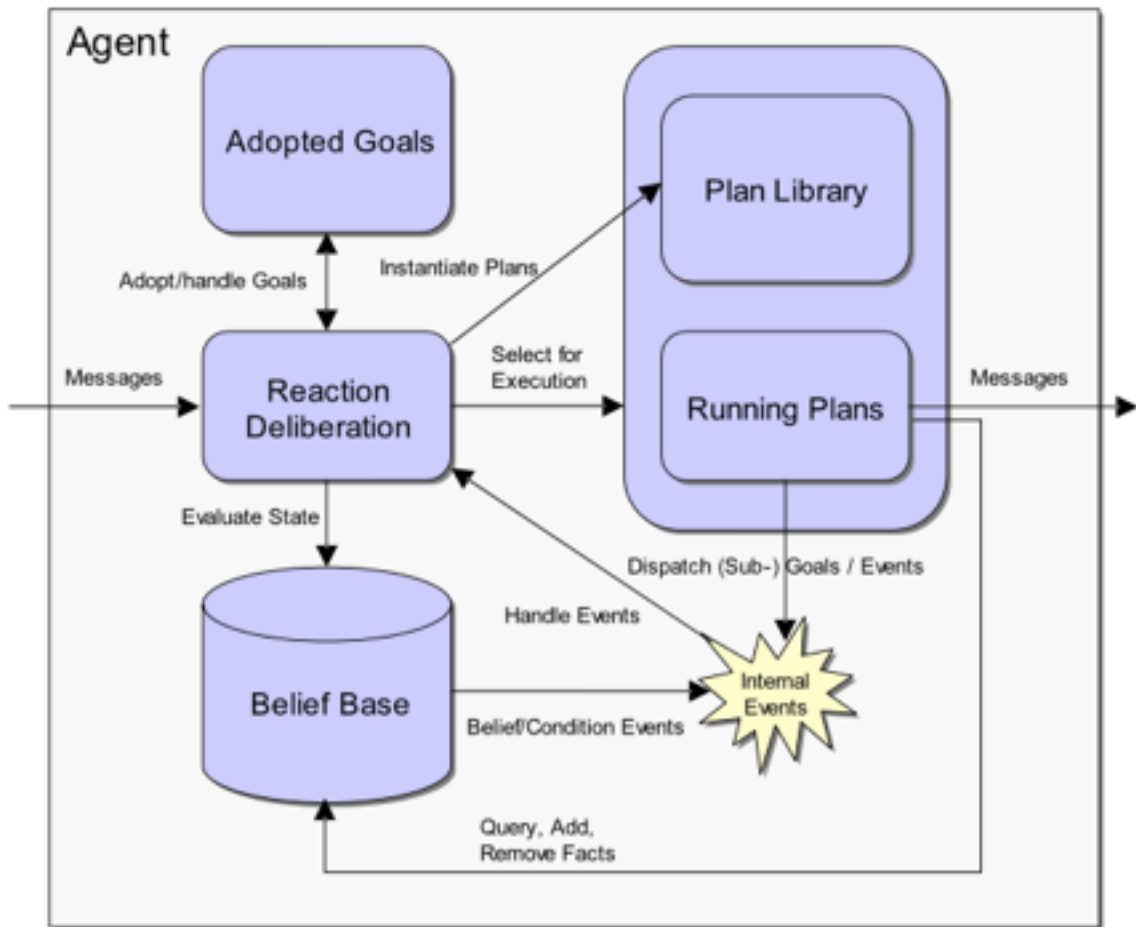


Рис. 1.4 – Структура проекта на JADEX

JADEX створено як компроміс між програмуванням агентів на рівні middleware та логічними моделями. Задля реалізації проміжного рівня було обрано використовувати вже існуючий фреймворк – JADE, який надав готові реалізації комунікаційної інфраструктури та сервіси управління платформою, такі як управління агентами, розробкою та розгортанням середовища в відповідності до специфікацій FIPA.

Даний фреймворк призначений для побудови задаче-орієнтованих моделей (повністю реалізована зовнішня взаємодія агентів та управління ними, внутрішня поведінка задається користувачем), тож є хорошою основою для побудови систем логічних моделей[16].

1.2.4 AnyLogic

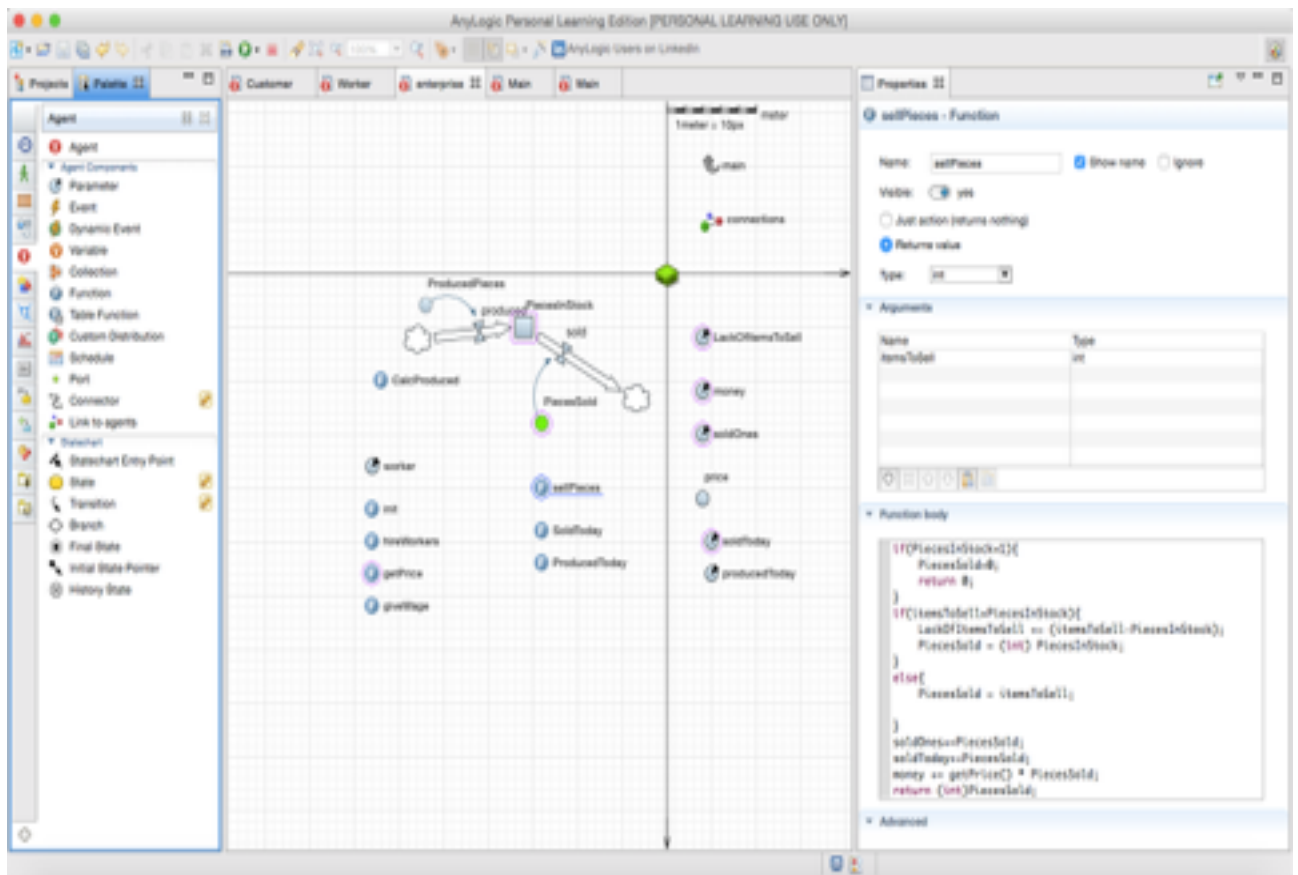


Рис. 1.5 – Приклад роботи в середовищі AnyLogic

AnyLogic – це програмний засіб для імітаційного моделювання. Поєднує в собі графічне середовище для побудови мультиагентних систем на базі Eclipse та можливість їх програмування на Java.

Моделі в AnyLogic можуть базуватися на будь-якій з основних парадигм імітаційного моделювання: агентному моделюванні, системній динаміці чи дискретно-подійному моделюванні. Також можна поєднувати концепції та засоби з різних підходів моделювання, наприклад, в агентній моделі можна використовувати методи системної динаміки для представлення змін станів середовища, в неперервній моделі динамічної системи врахувати дискретні події. Наприклад, управління ланцюгами поставок за допомогою імітаційного моделювання вимагає опису учасників ланцюгу поставок агентами: виробники, продавці, споживачі, мережа складів. При цьому виробництво описується в рамках дискретно-подійного (процесного) моделювання, продукт чи його частини – заявки, автомобілі, поїзди – ресурси. Самі поставки представляються

дискретними подіями, але при цьому попит на товари може описуватися неперервною системно-динамічною діаграмою. Можливість змішувати підходи дозволяє описувати процеси реального життя, а не підганяти процес під доступний математичний апарат[17].

Графічне середовище AnyLogic включає в себе наступні компоненти:

1. Stock & Flow Diagrams (діаграма потоків та накопичувачів) використовується при розробці моделей системної динаміки.
2. Statecharts (діаграми станів) використовуються в агентних моделях для визначення поведінки агентів. Також часто використовується в дискретно-подійному моделюванні.
3. Action charts (блок-схеми) використовуються для побудови алгоритмів. Застосовуються як в дискретно-подійному моделюванні, так і в агентному моделюванні.
4. Process flowcharts (діаграми процесів) основна конструкція, що застосовується для визначення процесів в дискретно-подійному моделюванні[17].

Середовище моделювання AnyLogic підтримує проектування, розробку та документування моделі, виконання комп'ютерних експериментів з нею, та надає функціонал для оптимізації її параметрів.

Також середовище AnyLogic включає в себе наступний набір стандартних бібліотек для спрощення та прискорення моделювання:

1. Process Modeling Library – моделювання елементів реального світу за допомогою заявок, процесів та ресурсів.
2. Pedestrian Library – моделювання пішохідних потоків в навколишньому середовищі.
3. Rail Yard Library – моделювання, імітація та візуалізація сортувальних станцій.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РОЗРОБКИ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ

Так як виконання даної дипломної роботи супроводжувалось розробкою програмного коду яка могла відбуватись з різних фізичних машин, було вирішено розгорнути інфраструктуру управління проектами в хмарній інфраструктурі.

2.1 Системи управління версіями

Система контролю дозволяє зберігати попередні версії файлів та завантажувати їх за потребою. Вона зберігає повну інформацію про версію кожного з файлів, а також повну структуру проекту на всіх стадіях розробки. Місце зберігання даних файлів називають репозиторієм. В середині кожного з репозиторіїв можуть бути створені паралельні лінії розробки — гілки.

Гілки зазвичай використовують для зберігання експериментальних, незавершених(alpha, beta) та повністю робочих версій проекту(final). Більшість систем контролю версії дозволяють кожному з об'єктів присвоювати теги, за допомогою яких можна формувати нові гілки та репозиторії.

Використання системи контролю версії є необхідним для роботи над великими проектами, над якими одночасно працює велика кількість розробників.

Системи контролю версії надають ряд додаткових можливостей:

1. Можливість створення різних варіантів одного документу;
2. Документування всіх змін (коли ким було змінено/додано, хто який рядок змінив);
3. Реалізує функцію контролю доступу користувачів до файлів. Є можливість його обмеження;
4. Дозволяє створювати документацію проекту з поетапним записом змін в залежності від версії.
5. Дозволяє давати пояснення до змін та документувати їх.

Нижче буде розглянуто найпопулярніші на даний момент системи контролю версій[9].

Subversion — централізована система. Дані зберігаються в єдиному сховищі. При збереженні нових версій використовується дельта-компресія, тобто система знаходить відмінності нової версії від попередньої і записує тільки їх, уникаючи непотрібного дублювання даних. Сховище може розташовуватися на локальному диску або на мережевому сервері. До локального сховища клієнт Subversion звертається безпосередньо.

Клієнти копіюють файли з сховища, створюючи локальні робочі копії, потім модифікують їх і публікують зміни в сховищі. Декілька клієнтів можуть одночасно звертатися до сховища. При використанні доступу за допомогою WebDAV також підтримується прозоре управління версіями — якщо будь-який клієнт WebDAV відкриває для запису і потім зберігає файл, що зберігається на мережевому ресурсі, то автоматично створюється нова версія[10].

Основними недоліками SVN є централізованість репозиторію, низька швидкість роботи, наявність помилок при змінах імені файлів та директорій і низька гнучкість роботи.

GIT – розподілена система контролю версій, основними перевагами якої є надзвичайно висока в порівнянні з SVN швидкість роботи, гнучкість, peer-to-peer обмін ченджсетами та зручність використання в великих проектах.

Проте є й певні недоліки – перш за все це велика кількість зайвих опцій та складність workflow, неефективність в невеликих проектах.

Mercurial — розподілена система керування версіями файлів та спільної роботи, розроблена для ефективної роботи з дуже великими репозиторіями коду. Mercurial спочатку був написаний для Linux, та пізніше портований під Windows, Mac OS X і більшість Unix-систем. У першу чергу він є консольною програмою. Всі його операції запускаються параметрами програми hg.

Перевагою Mercurial є достатня гнучкість (гнучкість, довільне злиття окремих децентралізованих репозиторіїв) і водночас простий svn-подібний синтаксис, що значно спрощує процес роботи.

Так як програмний код проекту розробляється невеликою командою, але водночас необхідно реалізувати можливість швидкого масштабування було вирішено використовувати Mercurial як компроміс між простотою Subversion та функціональністю GIT.

2.2 Управління проектом та задачами

Контроль проекту — це елемент, який забезпечує відповідність проекту графіку виконання. Контроль проекту починається з планування та закінчується звітом з виконання проекту, пронизуючи кожен елемент процесу управління проектом. Кожен проект має бути оцінений щодо рівня необхідного контролю: забагато контролю означає втрату часу, замало контролю означає збільшення ризиків. Системи контролю необхідні для витрат, ризиків, якості, комунікацій, часу, змін, закупівель та людських ресурсів. Якісний план впровадження системи характеризує:

1. Стратегія, задля приведення розробки до загальніших цілей організації.
2. Стандарти для нових систем.
3. Політики управління проектом щодо часу та бюджету.
4. Процедури, що описують процес.
5. Оцінка якості змін[11].

Для автоматизації управління проектом використовується спеціалізоване програмне забезпечення. Лідерами ринку на даний момент є YouTrack, Jira та Redmine. Так як Youtrack та Jira є пропріетарним програмним забезпеченням, було обрано Redmine, який поширюється за умовами ліцензії GPL. Крім безкоштовності використання відкритого програмного забезпечення має безліч переваг, зокрема:

1. Безпеку та надійність, адже його код перевіряється користувачами;
2. Велику кількість написаних користувачами розширень та можливість кастомізації. (рис. 2.1)

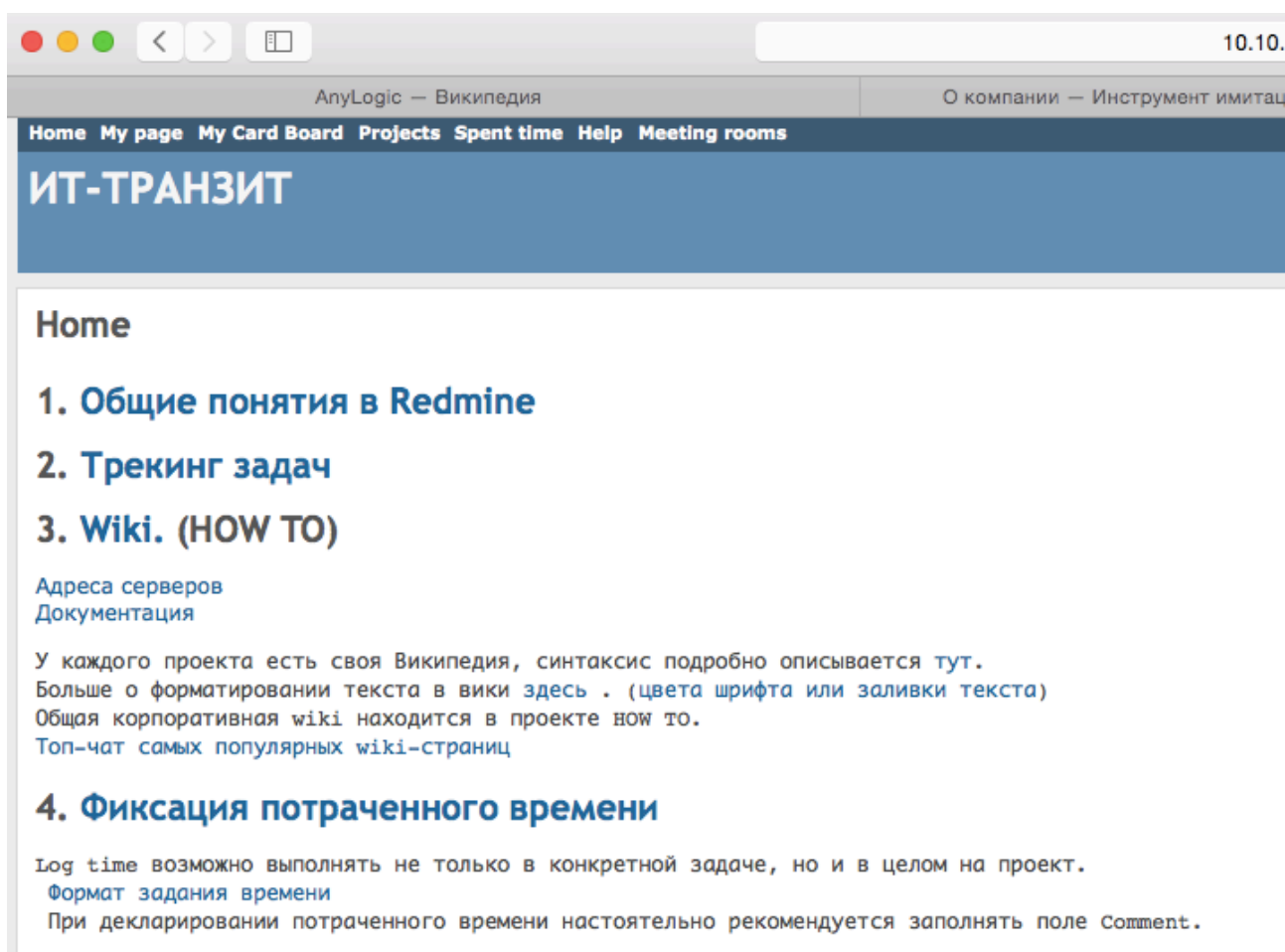


Рис 2.1 – Скріншот розгорнутого Redmine

Діаграма Ганта представляє собою відрізки (графічні плашки), розміщені на горизонтальній шкалі часу. (рис. 2.2) Кожен відрізок відповідає окремому завданню або підзадачі. Завдання і підзадачі, складові плану, розміщуються по вертикалі. Початок, кінець і довжина відрізка на шкалі часу відповідають початку, кінцю і тривалості завдання. При порушенні строків виконання одного за завдань відбувається перебудова всієї діаграми, що дає можливість зручного відслідковування часу виконання проекту. Суттєвим недоліком даних діаграм є їх надмірна складність при відображенні великих проектів. На деяких діаграмах Ганта також показується залежність між завданнями [12].

Завдяки використанню Діаграми Ганта стало можливим якісніше планування графіку виконання дипломної роботи.

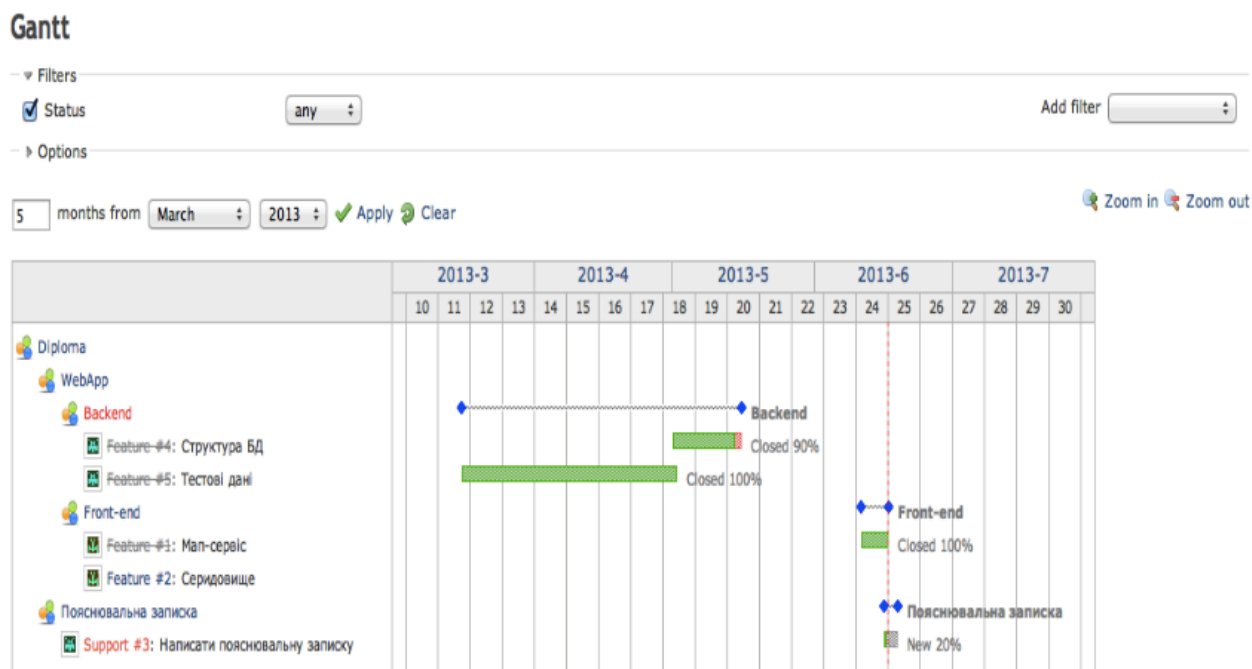


Рис 2.2 – Діаграма Ганта [13]

Інфраструктурою для розміщення платформи управління задачами Redmine було обрано Amazon EC2 micro spot instance, який є найменш потужною з наявних віртуальних машин Amazon. Доступ до системи управління проектом та задачами здійснюється лише однією людиною, тож даних потужностей буде достатньо для комфортної роботи. Даний вибір дозволив з легкістю налаштувати систему завдяки використанню Community Ami Redmine і при цьому є безкоштовним протягом року[13].

Репозиторій було вирішено розмістити на хмарній платформі BitBucket, яка дозволяє безкоштовне створення приватних Mercurial репозиторіїв для використання в некомерційних цілях, в той час як альтернативні ресурси дозволяють безкоштовну роботу лише з open-source проектами.

Таким чином інфраструктура управління розробкою складається з системи контролю версій Mercurial, розгорнутою на платформі BitBucket та платформою управління проектами Redmine, розгорнутою в хмарній інфраструктурі. (рис. 2.3)

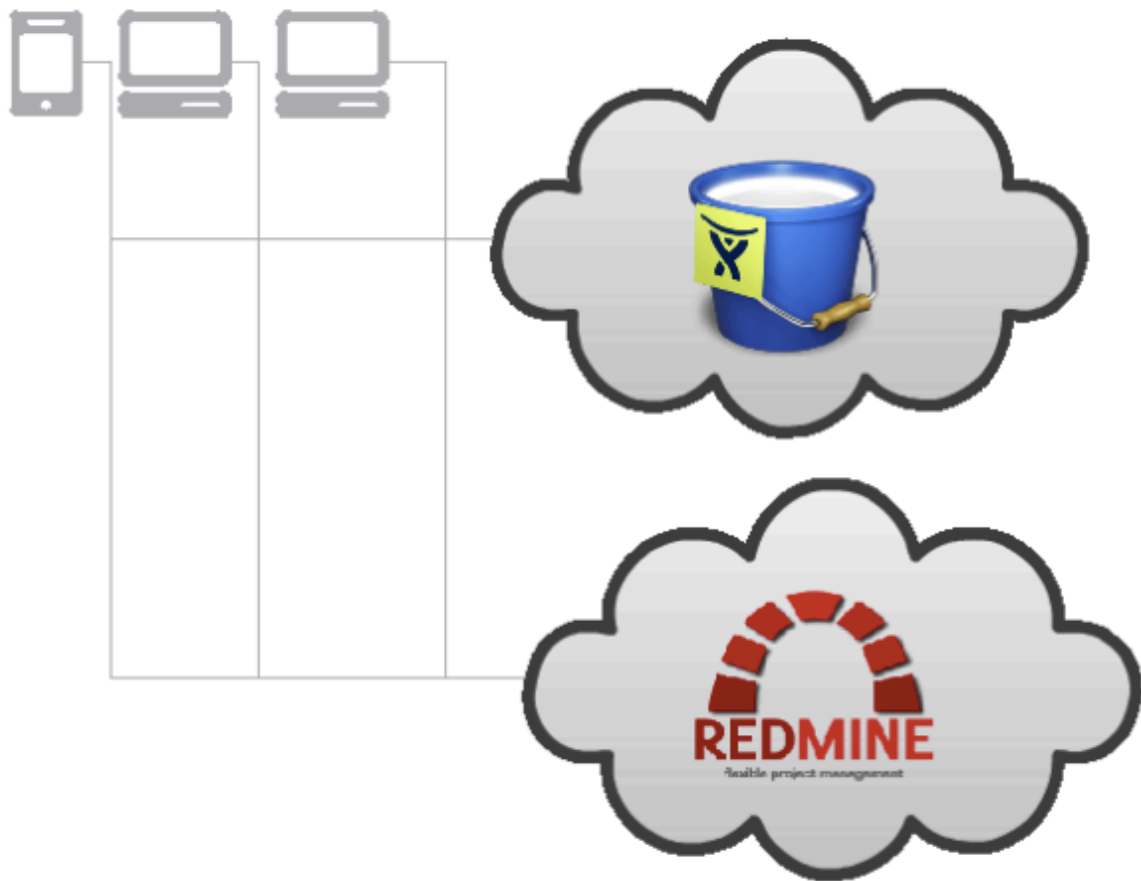


Рис 2.3 – Архітектура системи забезпечення технологічного процесу розробки дипломного проекту[13]

Висновки до розділу

У зв'язку з великою кількістю практичних задач при виконанні дипломної роботи було вирішено розгорнути середовище управління проектом (Redmine). Завдяки використанню репозиторію (Bitbucket Mercurial) було версіонізовано ітерації розробки агентної системи та забезпечено можливість їх відкату до стабільної версії в разі необхідності.

Задля забезпечення можливості виконання роботи з різних робочих станцій дану інфраструктуру було розгорнуто в хмарному середовищі[13].

3 ПРОЕКТУВАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ

Розглянемо проектування простої мультиагентної системи за допомогою фреймворка (JADE) та в середовищі Anylogic і оберемо оптимальний варіант для моделювання галузі економіки.

3.1 Розробка мультиагентної системи на платформі JADE

Розглянемо розробку основи моделі ринку. (рис. 3.1)

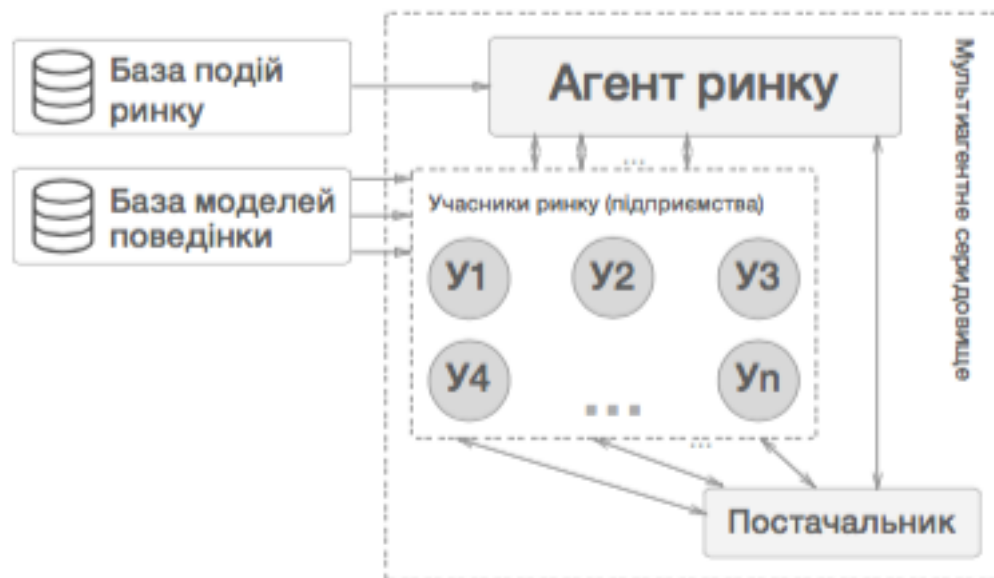


Рис. 3.1 – Структура проекту [20]

Створимо новий Java-проект та додамо в classpath бібліотеки для роботи з Jade.

Для відповідності заданій на рис. 3.1 моделі задамо наступні пакети та класи:

1. Пакет market відповідає за контейнерного агента ринку, містить наступні класи:
 - 1.1 MarketAgent – агент ринку.
 - 1.2 MarketEvent – подія, що трапилася на ринку, розсилається в повідомленні всім його учасникам.
 - 1.3 Taxer – агент, який відповідає за фіскальну політику регулятора ринку.
2. Пакет player відповідає за компанію учасника ринку, містить наступні класи:
 - 2.1 PlayerAgent – агент компанії учасника ринку.

- 2.2 CompanyState – характеризує статистику станів компанії.
- 2.3 Peasant – робітник компанії учасника ринку.
- 3. Пакет supplies відповідає за керування складом комплектуючих та їх цінами:
 - 3.1 SupplyAgent – агент оператора складу.
 - 3.2 Пакет pieces – складові продукту на складі.
- 4. Behaviour та його наслідники відповідають за різні реакції на вхідні події, тобто поведінки інших агентів. Використовуються за допомогою патерну композиції.
- 5. Runner – відповідає за запуск мультиагентної системи. (рис. 3.2)

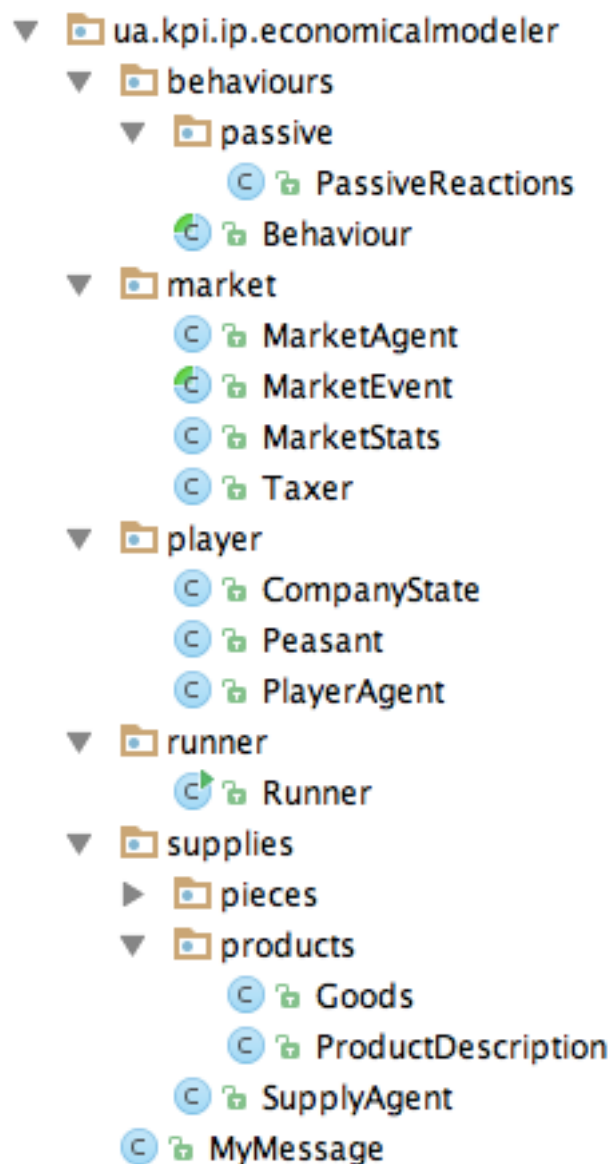


Рис. 3.2 – Структура проекту МАС на Jade

Взаємодія між агентами в середовищі Jade виконується за допомогою обміну повідомленнями.

Повідомлення є об'єктом класу ACLMessage і реалізує специфікацію FIPA 2000 "FIPA ACL Message Structure Specification" (fipa000061). Дані зашифровані в ньому в вигляді пар ключ-значення. Для зручності роботи (серіалізації та десеріалізації) в даному проекті тіло повідомлення формувалося в форматі Json за допомогою бібліотеки Google Gson.

Керування обміном повідомлення здійснюють класи поведінки CyclicBehaviour. Нижче наведено лістинг фрагменту коду агенту ринку, який відповідає за процес найму робітників:

```
private class SellWorkers extends CyclicBehaviour {
    @Override
    public void action() {
        MessageTemplate mt =
MessageTemplate.MatchPerformative(MyMessage.HIRE_WORKER);
        ACLMessage msg = myAgent.receive(mt);
        if (msg != null) {
            // CFP Message received. Process it
            Integer numWorkers =
Integer.valueOf(msg.getContent());
            ACLMessage reply = msg.createReply();
            System.out.println("received request");
            if (workers.size() > 0 && workers.size() >
numWorkers) {
                reply.setPerformative(ACLMessage.ACCEPT_PROPOSAL);
                PlayerAgent.WorkerContainer container =
new PlayerAgent.WorkerContainer();
                container.workers = new
ArrayList<Peasant>();
                for (int i = 0; i < numWorkers; i++) {
```

```

        Peasant peasant =
workers.remove(workers.size() - 1);
        container.workers.add(peasant);
    }
    System.out.println("worker sent");
    reply.setContent(String.valueOf(new
Gson().toJson(container)));
    } else {
        reply.setPerformative(ACLMessage.REFUSE);
        reply.setContent("not-available");
    }
    myAgent.send(reply);
    }
}
}

```

Як бачимо, за гнучкість JADE необхідно платити надзвичайною складністю процесу розробки та великими трудозатратами на неї. Ще одним недоліком є складність внесення змін до вже побудованої моделі, що значно ускладнює оптимізацію бізнес-процесів. Недоліком також є відсутність реалізації бібліотеки візуалізації стану агентної системи, яка є необхідною при побудові аналітичної системи.

З переваг даної технології слід зазначити чудову масштабованість та можливість побудови розподіленої гетерогенної системи. Також JADE належить до програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом, що дозволяє модифікувати та оптимізувати платформу.[24]

3.2 Розробка мультиагентної системи в середовищі AnyLogic

3.2.1 Оптимізація рекламної стратегії підприємства

В моделюванні економіки при вирішенні оптимізаційних задач для

отримання коректних результатів побудована модель повинна якомога точніше відображати реальний суб'єкт, тому агентна модель в свою чергу може реалізувати й системно-динамічний підхід.

В даному розділі буде змодельовано процес поширення нового бренду та проведено оптимізацію його рекламної стратегії.

Процес поширення продукту буде описано за допомогою моделі Басса. Напочатку продукт ні кому не відомий і для того, щоб споживачі почали його купувати він рекламується. Під дією реклами певна частина споживачів купує його, в свою чергу переконуючи певну частину своїх знайомих також придбати рекламований продукт. Таким чином виникає лавиноподібний ефект, подібний до поширення епідемії.

3.2.1.1 Аналіз моделі

Першим кроком є аналіз моделі в термінах системної динаміки. Необхідно визначити її ключові змінні, те як вони впливають один на одного та створити потокову діаграму, яка складатиметься з накопичувачів, потоків та динамічних змінних.

Накопичувачі являють собою такі об'єкти реального світу, в яких зосереджуються певні ресурси, їх значення змінюються неперервно. Потoki є активними компонентами системи, які змінюють значення накопичувачів. В свою чергу накопичувачі системи визначають значення потоків. Динамічні змінні дозволяють вираховувати потрібні значення в кожен момент часу, діючи аналогічно функціям без параметрів.

При створенні потокової діаграми необхідно виявити змінні, які накопичують значення з часом. В нашій моделі кількості споживачів та потенційних споживачів є накопичувачами, а процес покупки продукту - потоком[18].

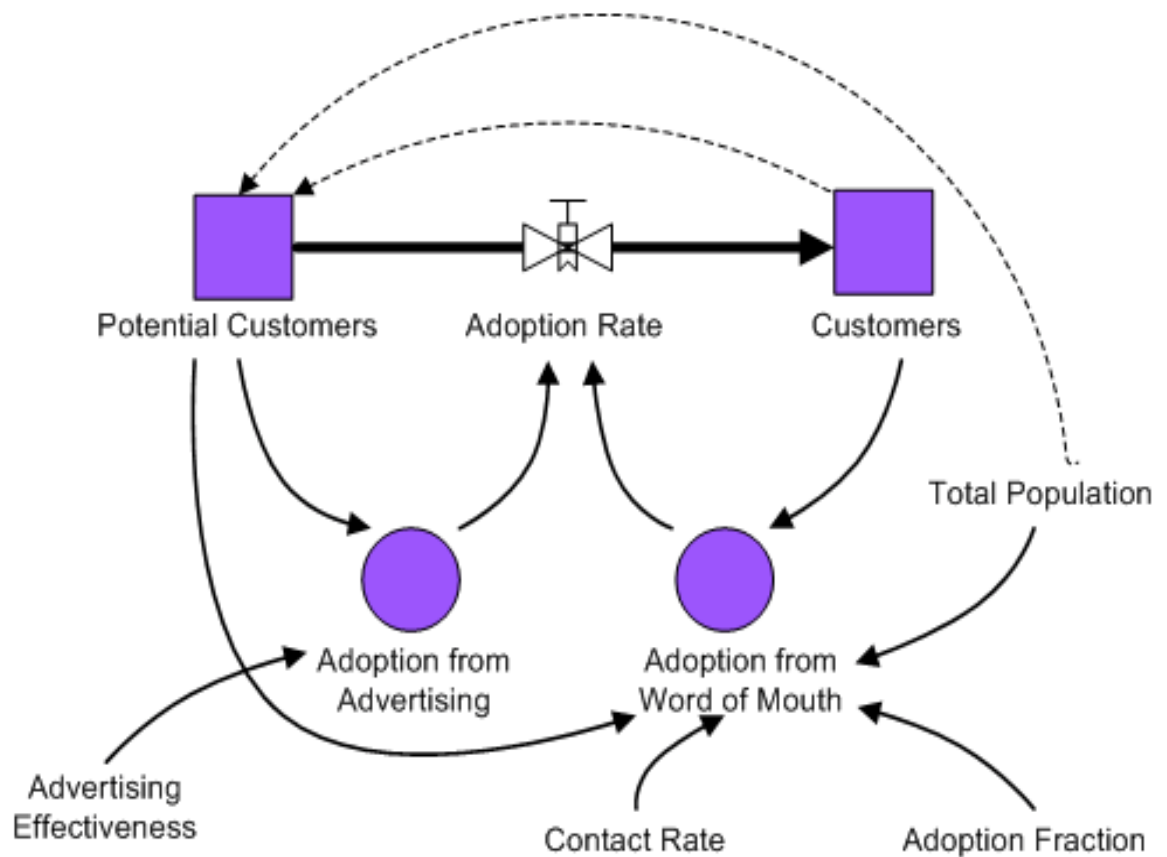


Рис. 3.3 – Системно-динамічна діаграма системи [18]

Системно-динамічна діаграма нашої системи зображена на рисунку 3.3.

Накопичувачі позначені прямокутниками, потік вентилем, а змінні колами. Потік направлено з накопичувача потенційних клієнтів до накопичувача поточних користувачів. Стрілки вказують на зв'язки між елементами моделі системи.

3.2.1.2 Створення моделі в Anylogic

Наступним кроком є створення нової моделі в Anylogic. При створенні нової моделі AnyLogic необхідно задати одиниці модельного часу, в нашому випадку – роки. (рис. 3.4)

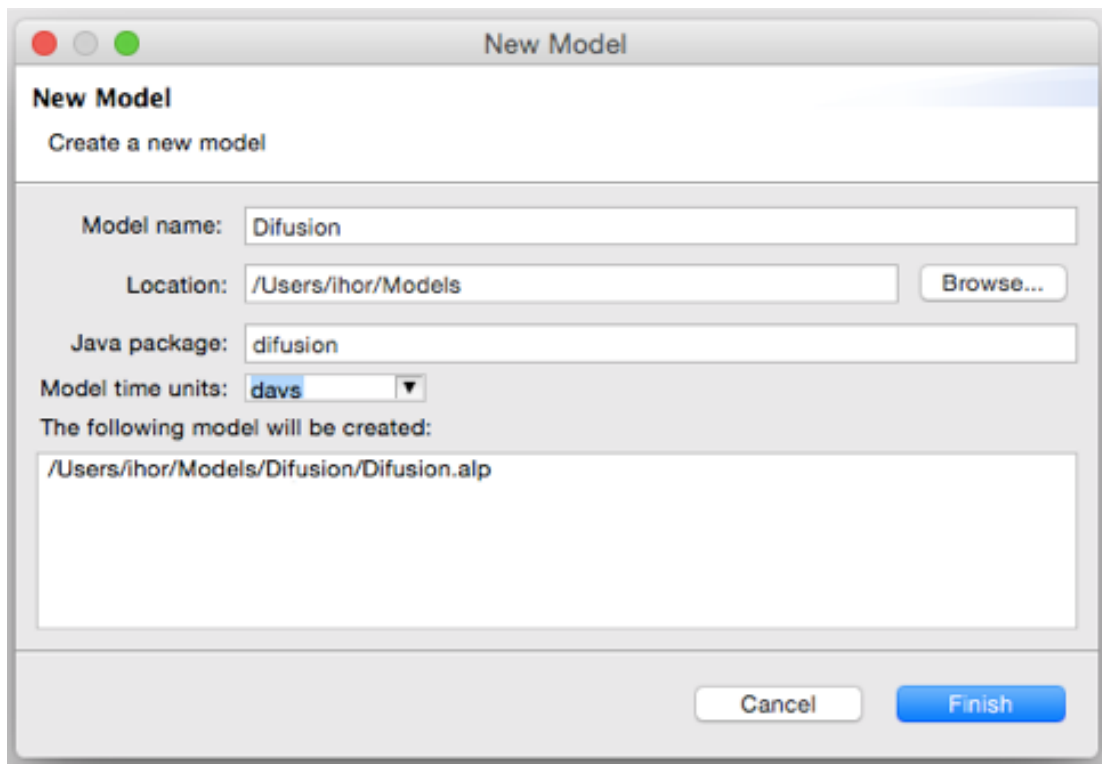


Рис. 3.4 – Створення нової моделі

Отримаємо робоче поле графічного редактору контейнерного агента:

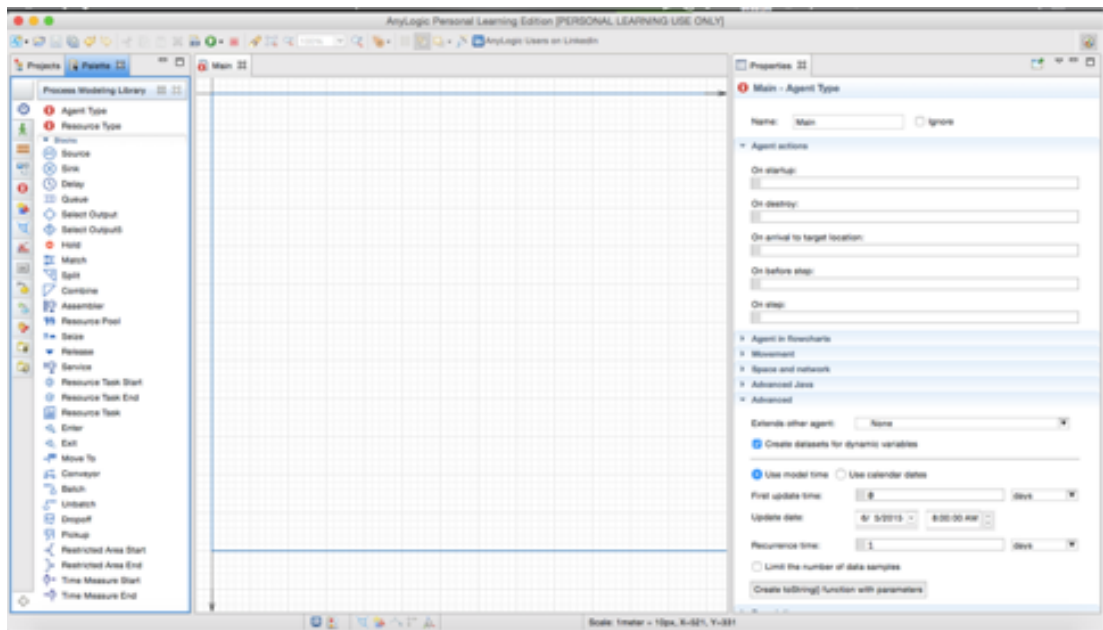


Рис. 3.5 – Робоче поле графічного редактору контейнерного агента:

Для моделювання кількості покупців та потенційних покупців необхідно застосувати накопичувачі. (рис 3.6)



Рис. 3.6 – Накопичувачі покупців та потенційних покупців

Далі моделюється перехід зі стану “потенційний клієнт” в “клієнт”. Для цього необхідно поєднати накопичувачі потоком. (рис 3.7)

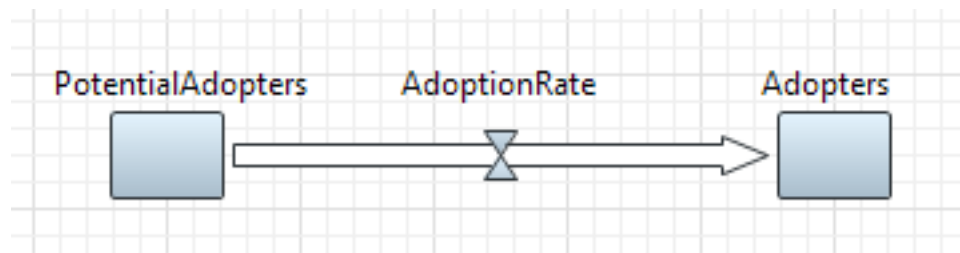


Рис. 3.7 – Потік переходу зі стану “потенційний клієнт” в “клієнт”

Задамо параметри системи:

TotalPopulation – чисельність населення в нашій моделі

ContactRate – кількість осіб, з якими контактує кожна одиниця населення, застосовуватиметься для моделювання поширення продукту.

AdoptionFraction – показує ефективність переконання всередині ContactRate.

AdEffectiveness - характеризує ефективність реклами продукту.

Задамо зв'язки між параметрами та накопичувачами. (рис. 3.8)

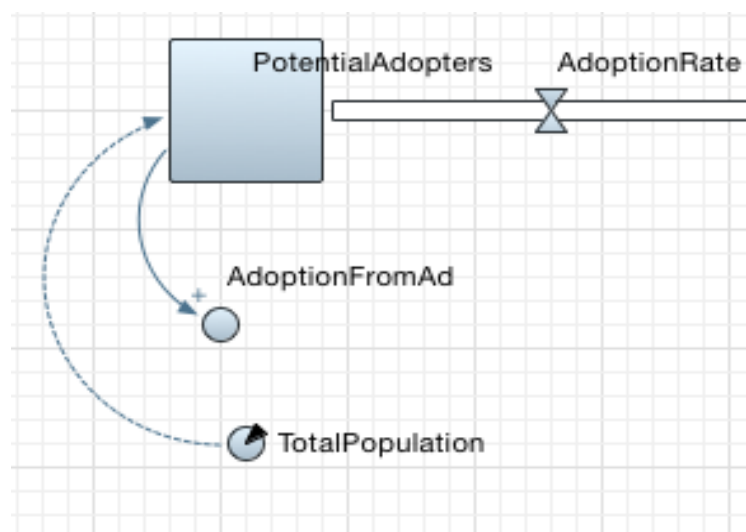


Рис. 3.8 – Зв'язки між параметрами та накопичувачами:

3.2.1.3 Формула дифузії Басса

Виведемо формулу Бассової дифузії – продажів продукту під впливом усного спілкування споживачів продукту з тими, хто ще не є його користувачами. Припустимо, що в нашій моделі людина може спілкуватися з будь-ким іншим. За одиницю модельного часу відбувається *ContactRate* зв'язків між учасниками ринку, таким чином *ContactRate* є першим співмножником в нашій формулі.

Кількість людей, які володіють продуктом та можуть переконувати інших приєднатися в поточний момент часу визначатиметься значенням накопичувача *Adopters*. Кожен споживач за одиницю часу спілкується з *ContactRate* людей, тож загальна кількість контактів за одиницю часу рівна

$$N = Adopters * ContactRate \quad (3.1)$$

Необхідно врахувати, що до споживачів продукту приєднається не кожен, з ким контактували, адже не буває абсолютного переконання. Для цього додамо в отриману формулу параметр *AdoptionFraction*, який задає переконливість власники продукту (частка контактів, яка піддається переконанню). Отримуємо наступну формулу:

$$N = Adopters * ContactRate * AdoptionFraction \quad (3.2)$$

Наступним кроком буде врахування того, що спілкування відбувається не лише між власниками продукту й потенційними клієнтами, а й з вже існуючими споживачами, такі контакти не призведуть до поширення продукту. Врахуємо ймовірність такого сценарію в нашій формулі. Ймовірність корисного спілкування між клієнтом та потенційним клієнтом визначається часткою потенційних клієнтів в суспільстві:

$$P = PotentialAdopters / TotalPopulation \quad (3.3)$$

Таким чином отримаємо наступну формулу кількості потенційних споживачів, які скористаються продуктом в одиницю модельного часу під дією вже існуючих клієнтів:[18]

$$N = Adopters * ContactRate * AdoptionFraction * PotentialAdopters / TotalPopulation \quad (3.4)$$

Додамо динамічну змінну, яка відповідатиме за цей параметр кількості потенційних споживачів, які скористаються продуктом в одиницю модельного часу під дією вже існуючих клієнтів до моделі. (рис 3.9)

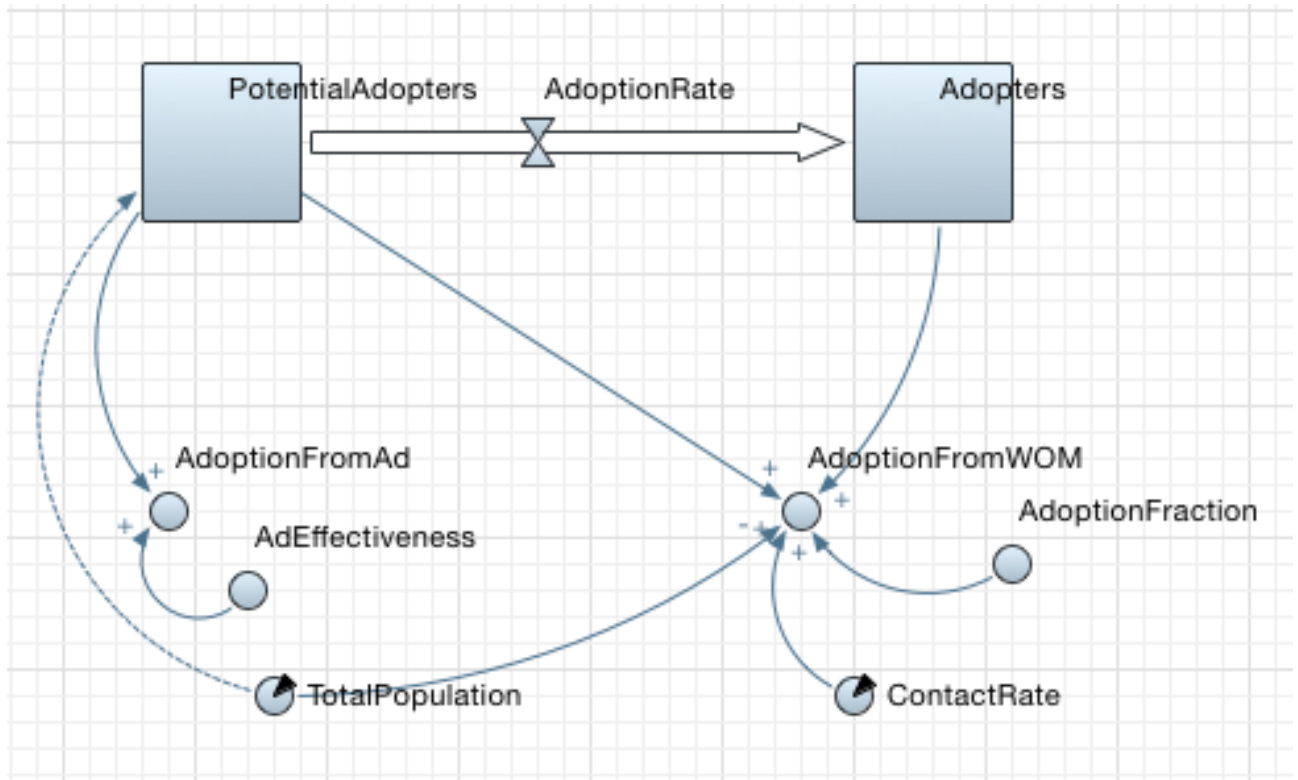


Рис. 3.9 – Модель дифузії Басса

Врахуємо частку реклами в створенні нових користувачів:

$$AdoptionRate = AdoptionFromAd + AdoptionFromWOM \quad (3.5)$$

Зв'язки між елементами мають 2 типи полярності:

1. Позитивний зв'язок означає, що два елемента системної динаміки змінюють свої значення в одному напрямку, тобто зменшення або збільшення значення одного з них спричиняє зменшення або збільшення іншого та навпаки.
2. Зворотній зв'язок показує, що два елементи системної динаміки змінюють свої значення в протилежних напрямках, тобто якщо значення вихідного елемента зменшується, то значення другого елемента збільшується і навпаки.

Легко бачити, що наша модель містить два цикли зі зворотнім зв'язком: один компенсуючий та один підсилюючий:

1. Компенсуючий цикл зі зворотнім зв'язком впливає на потік придбання продукту, викликаний рекламою. Цей потік зменшує кількість потенційних клієнтів, що в свою чергу призводить до зниження інтенсивності покупки продукту. (рис 3.10)

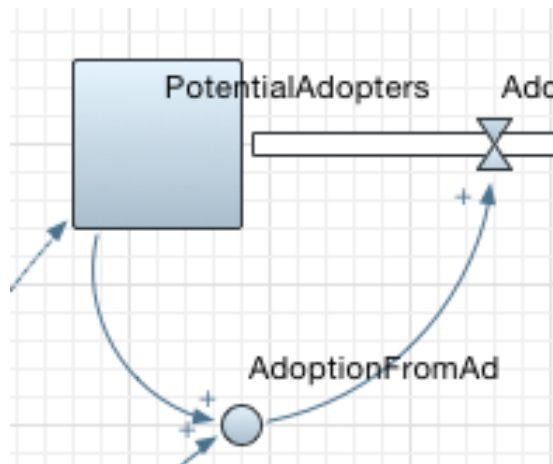


Рис. 3.10 – Компенсуючий цикл із зворотнім зв'язком

2. Підсилюючий цикл зі зворотнім зв'язком діє на потік покупки продукту, викликаний спілкуванням зі споживачами продукту. Потік покупки продукту збільшує чисельність його споживачів, що приводить до росту інтенсивності придбання продукту під впливом спілкування, а отже й до росту його клієнтської бази вцілому[18]. (рис. 3.11)

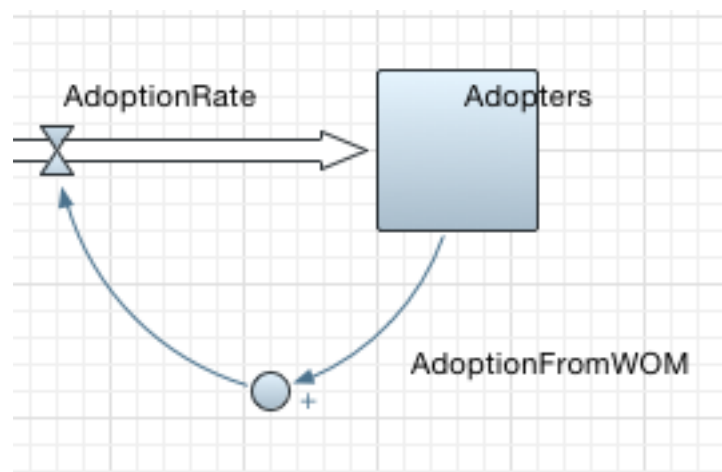


Рис. 3.11 – Підсилюючий цикл із зворотнім зв'язком

Додамо їх індикатори та отримаємо наступну схему моделі (рис. 3.12)

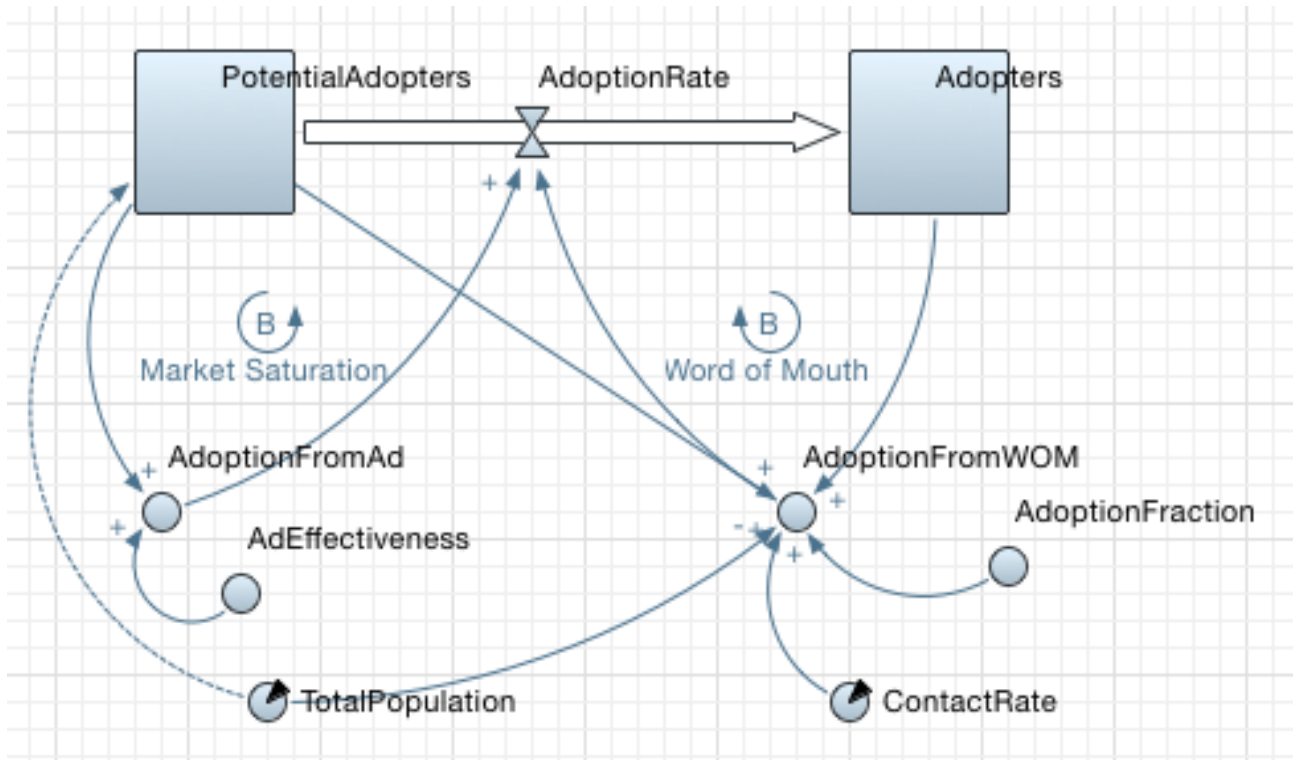


Рис. 3.12 Модель дифузії Басса

Запустимо модель та дослідимо динаміку зміни змінних. (рис 3.13)

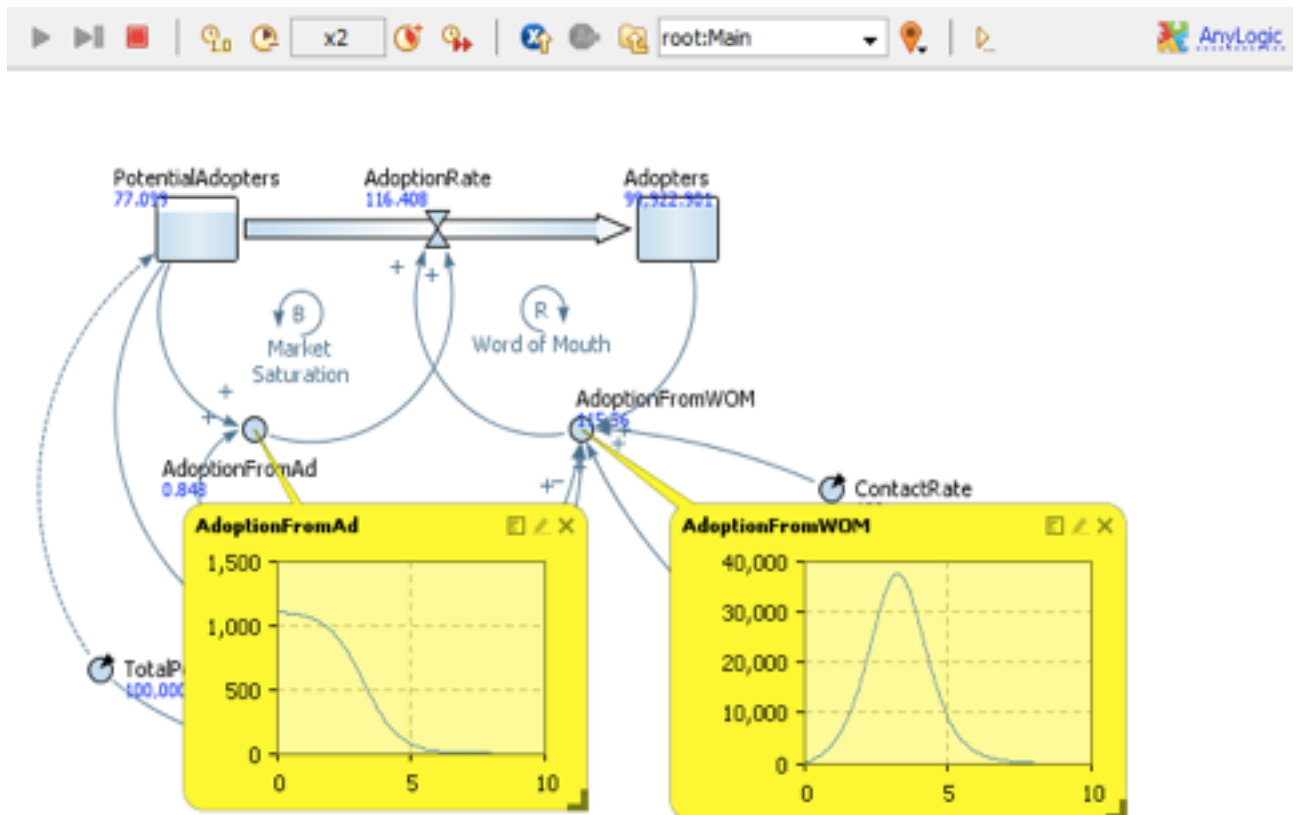


Рис. 3.13 Динаміка зміни потоків кількості нових споживачів від реклами та спілкування[18]

Як бачимо, кількість нових клієнтів, яких привела рекламна кампанія постійно зменшується зі зменшенням кількості осіб, які не є клієнтами бренду.

Також AnyLogic надає широкий функціонал з побудови графіків. Додамо залежності кількості потенційних клієнтів та клієнтів від часу. (рис 3.14)

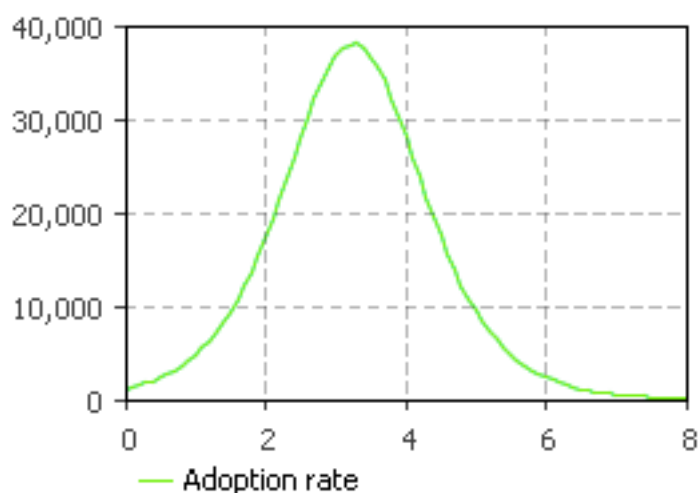
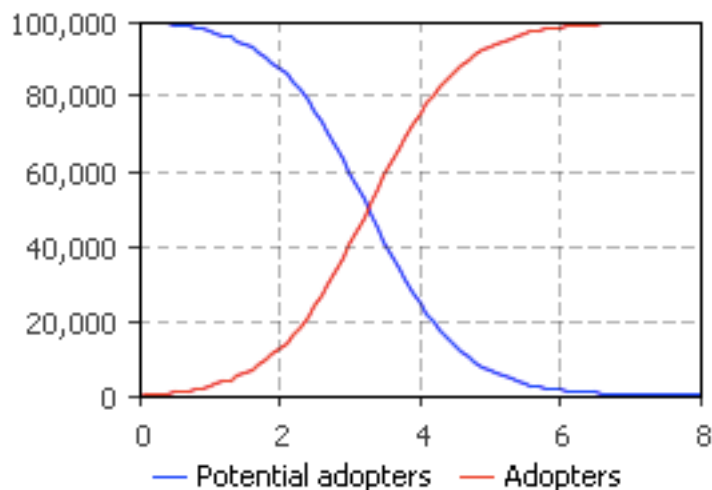


Рис. 3.14 Графіки переходу зі стану потенційного споживача в стан споживача в моделі дифузії Басса

Як бачимо, з часом всі учасники моделювання стають користувачами продукту, в момент, коли їх кількість зрівнюється з кількістю потенційних клієнтів спостерігається пік прийняття продукту.

3.2.1.4 Моделювання попиту

Побудована модель не враховує того, що наш продукт з часом стає непридатним до використання, що спричиняє необхідність повторної його покупки. В такому випадку клієнт знову переходить в стан потенційного покупця.

Додамо потік повернення клієнта в вихідний стан DiscardRate. Він буде рівним потоку AdoptionRate з затримкою в ProductLifeTime одиниць модельного часу. (рис. 3.15)

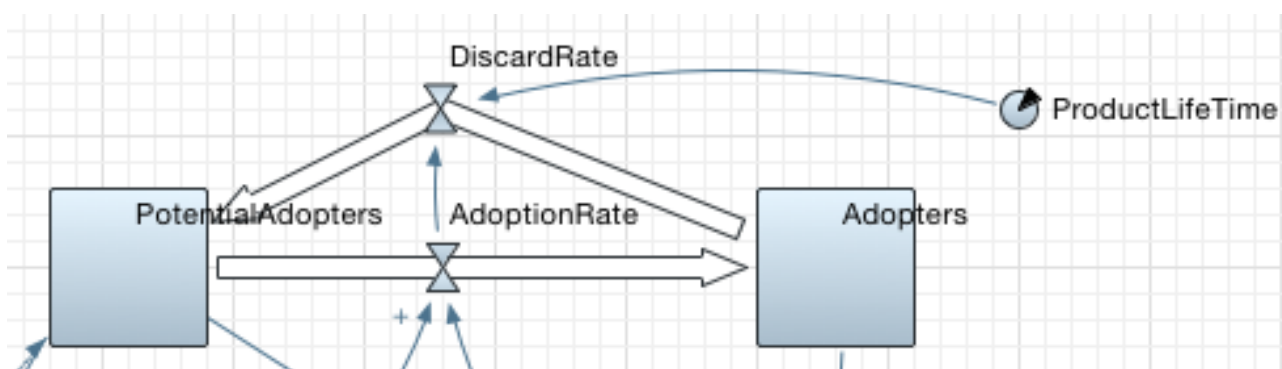


Рис. 3.15 Модель переходу між станами споживача з врахуванням DiscardRate та ProductLifeTime

Тепер чисельність потенційних клієнтів не падає до нуля, а постійно поповнюється за рахунок повторних покупок. Наявність параметру тривалості придатності продукту призводить до постійності попиту на нього.

При аналізі емпіричних даних можна з'ясувати, що попит на продукт не є постійною величиною та циклічно змінюється протягом року. Припустимо наявність статистики, згідно з якою модельований товар має найбільший попит влітку та в традиційний пік продажів на зимові свята.

AnyLogic надає реалізацію інтерполяційних та екстраполяційних алгоритмів для побудови неперервних функцій на основі дискретних статистичних даних.

На рисунку 3.16 зображено табличну функцію, яка моделює описану вище залежність попиту на товар від часу.

demand - Table Function

Name: Show name Ignore

Visible: yes

Interpolation: ▼

Out of range: ▼

Table data

Argument	Value
1	3
2	3.6
3	4.1
4	6.3
5	7.7
6	9.6
7	10.1
8	9.7
9	7.4
10	4.8
11	3.9
12	6.3

Preview

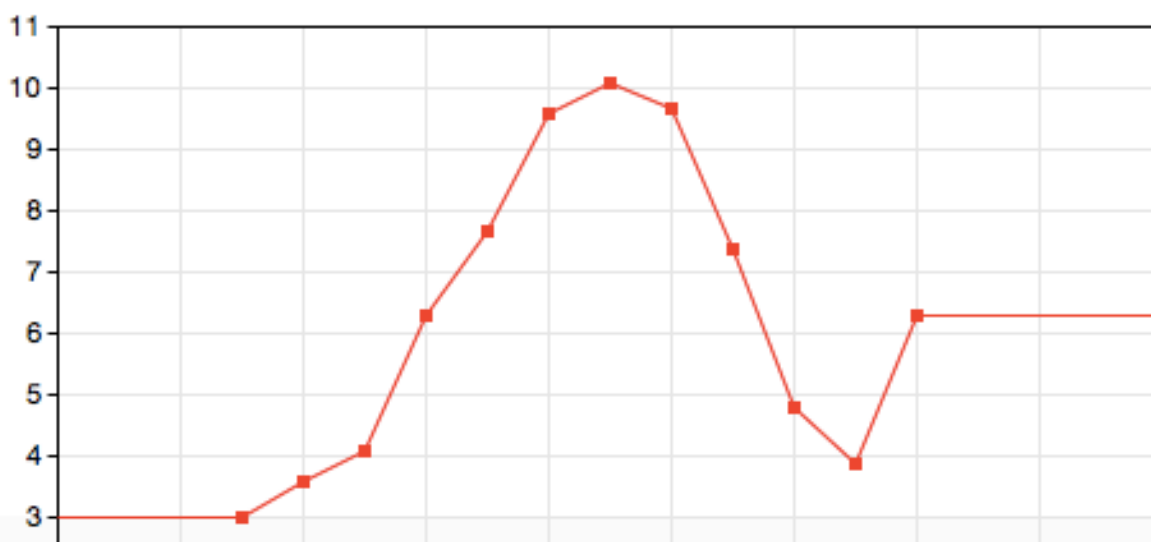


Рис. 3.16 – Таблична функція циклічності попиту

Проміжні значення аргументу вираховуватимуться за допомогою

інтерполяції.

За допомогою функції циклічності попиту моделюватиметься параметр AdoptionFraction, який відповідає за ймовірність переходу зі стану “потенційний клієнт” в стан “клієнт”.

Отримаємо наступні графіки: (рис. 3.17)

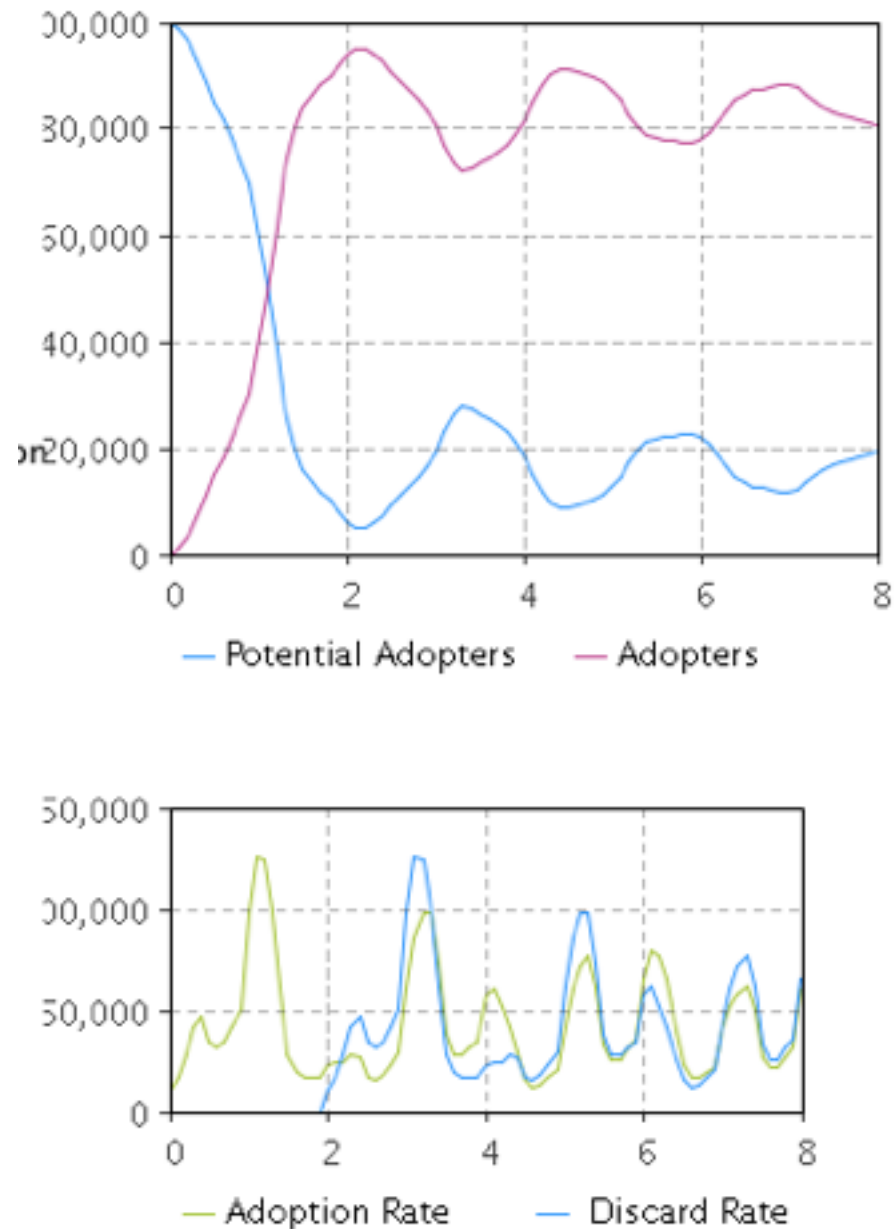


Рис. 3.17 – Графіки переходу зі стану потенційного споживача в стан споживача в моделі дифузії Басса з врахуванням циклічності попиту

3.2.1.5 Моделювання стратегії рекламної компанії

В статистичній більшості випадків успіх рекламної кампанії напряму

залежить від розміру капіталовкладень в неї.

Створимо параметр `MonthlyExpenditures`, який характеризує щомісячні витрати на рекламну кампанію. `AdEffectiveness` задамо прямо пропорційною йому:

$$AdEffectiveness = MonthlyExpenditures/10000.0 \quad (3.6)$$

Додамо циклічну подію, яка щомісячно списуватиме з рахунку компанії кошти за рекламу.

Додамо діаграму станів рекламної кампанії – вона містить 2 стани, для активної та завершеної кампанії й перехід між ними. Перехід відбувається по таймауту `SwitchTime`. По завершенню кампанії нові користувачі з’являтимуться виключно за рахунок спілкування з вже існуючими споживачами[18].

(рис. 3.18)

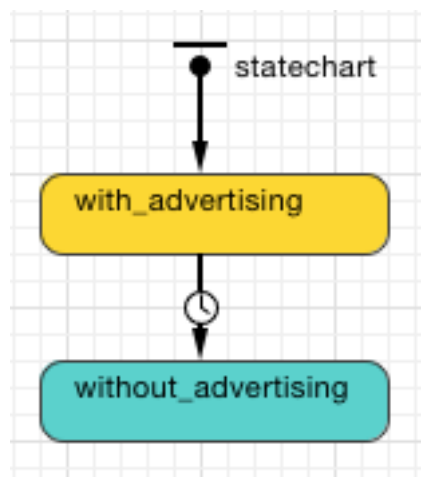


Рис. 3.18 – Діаграма станів моделі

3.2.1.6 Оптимізація стратегії рекламної кампанії

Визначимо оптимальну стратегію рекламної кампанії – найприйнятніше поєднання її довжини та капіталовкладень.

AnyLogic містить один з найдосконаліших на сьогодні оптимізатор `OptQuest`. Завдяки комбінуванню евристики, нейронних мереж та математичної оптимізації `OptQuest` дозволяє знаходити значення дискретних та неперервних параметрів моделі, які відповідають максимуму чи мінімуму цільової функції в

умовах невизначеності та при наявності обмежень. OptQuest має графічний інтерфейс налаштування в середовищі AnyLogic, проте є можливим і застосування користувацьких оптимізацій за допомогою Java API.

В даній моделі оптимізуватиметься значення параметрів MonthlyExpenditures та SwitchTime.

Під час оптимізації значення параметрів моделі будуть систематично змінюватись задля знаходження мінімального значення змінної TotalExpenditures, обраної за цільову, при якому досягається насичення ринку до заданого моменту часу[18].

Задамо параметри оптимізаційного експерименту. (рис. 3.19)

Parameters:

Parameter	Type	Value			
		Min	Max	Step	Suggested
TotalPopulation	fixed	100000			
ContactRate	fixed	100			
ProductLifeTime	fixed	2			
Monthly...ditures	continuous	0	10000		1000
SwitchTime	discrete	0	1.5	0.0833	1

Рис.3.19 – Параметри експерименту з пошуку оптимального співвідношення затрат на рекламну кампанію та її тривалість

Додатковою вимогою до оптимізації є насиченість ринку. Нехай станом на півтора року модельного часу користувачами продукту має стати щонайменше 80000 чоловік. (рис. 3.20)

Requirements

Requirements (are tested after a simulation run to determine whether the solution is feasible):

Enabled	Expression	Type	Bound
<input checked="" type="checkbox"/>	root.Adopters	>=	80000.0

Рис. 3.20 – Додаткова вимога насиченості ринку до оптимізаційного експерименту

Проведемо оптимізаційний експеримент пошуку оптимальної стратегії співвідношення вартості місяця проведення та тривалості рекламної кампанії підприємства. (рис. 3.21)

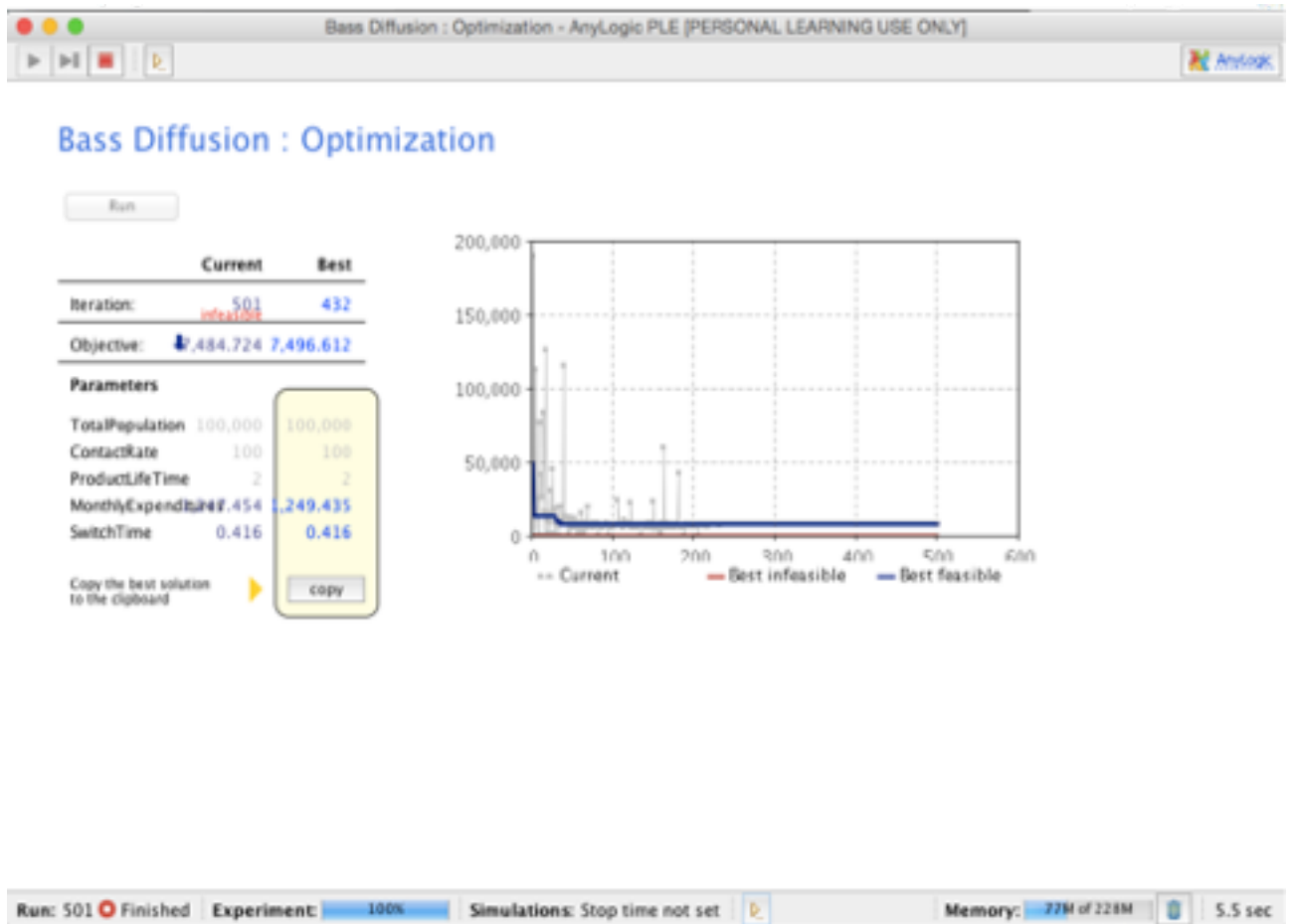


Рис. 3.21 – Результати експерименту з пошуку оптимального співвідношення затрат на рекламну кампанію та її тривалість

Як бачимо, в результаті порівняння 500 моделювань найоптимальнішою виявилася стратегія тривалістю 5 місяців (0.416 року) та вартістю 1249.4 умовних одиниці. Кращий результат було визначено на 432й ітерації, що свідчить про помилкову оцінку даних показників під час задання початкових параметрів оптимізації.

Застосування результатів оптимізації витрат на практиці дозволяє замовнику заощадити значну кількість коштів та направити їх на розвиток бізнесу.

3.2.2 Моделювання ринку мобільного зв'язку

AnyLogic надає велику кількість стандартних моделей, які можна модифікувати та використати для моделювання більшості стандартних задач.

Нещодавно на українському ринку з'явився новий стандарт зв'язку 3G, що поставило перед операторами задачу побудови оптимальної стратегії для захоплення найбільшої долі ринку. Skorистаємося стандартною моделлю Cell Market та побудуємо оптимізаційний експеримент для визначення оптимальних значень цін на зв'язок та агресивності рекламної кампанії.

Відкриємо тестовий проект. (рис 3.22)

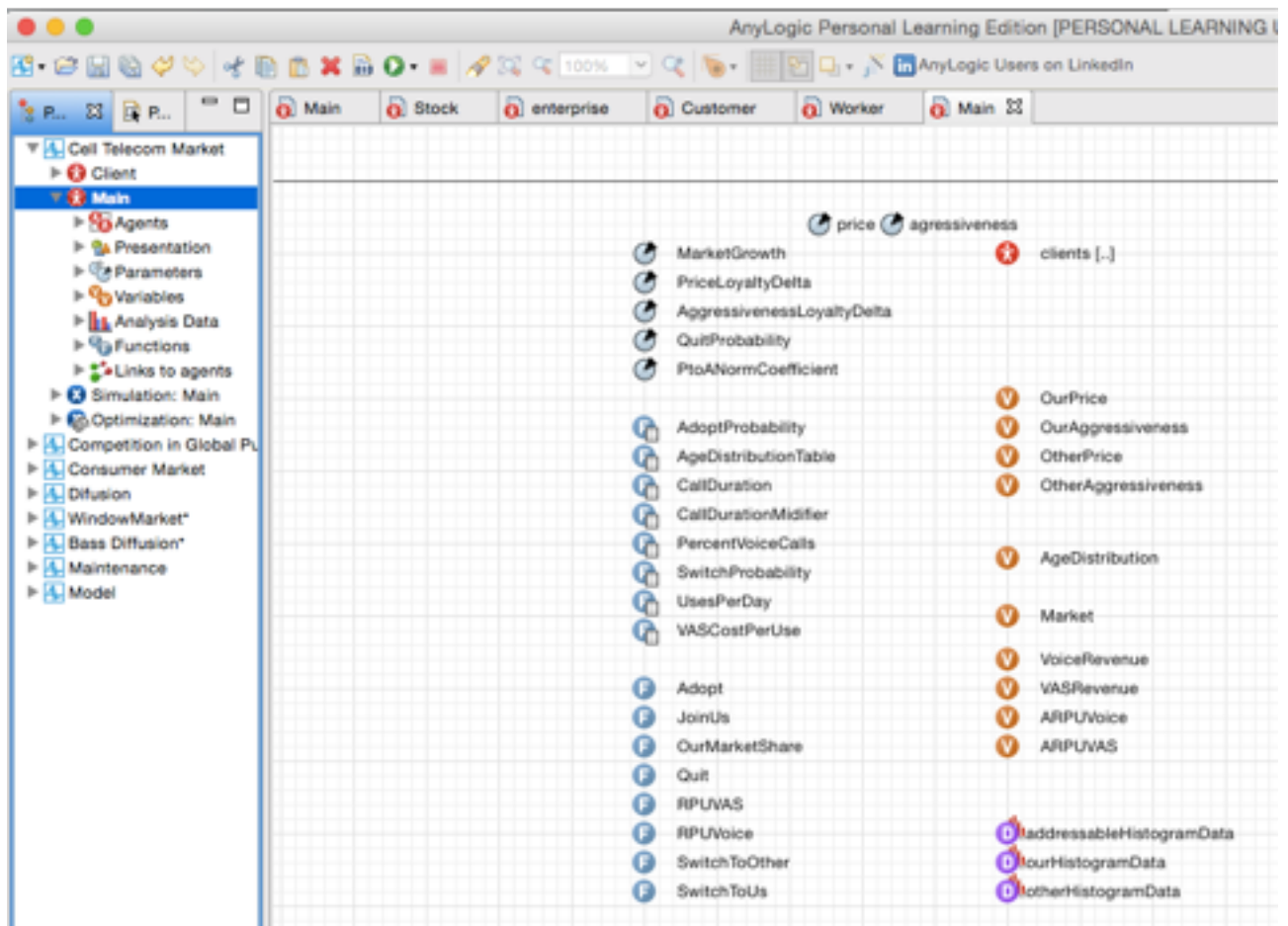


Рис. 3.22 – Параметри контейнерного агента ринку мобільного зв'язку

В контейнерному агенті задано основні графіки, параметри ринку та функції їх обробки. Статистичні дані задано в вигляді табличних функцій. Нижче наведено приклад функції розподілу кількості використань мобільного зв'язку за день залежно від віку клієнта. (рис. 3.23)



Рис. 3.23 – Таблична функція залежності частоти користування послугами зв'язку від віку

Аналогічно задаються розподілення тривалості дзвінка, лояльності бренду та ймовірності переходу на новий стандарт нового користувача, використання додаткових сервісів.

Клієнтів змодельовано за допомогою класу Client. Він містить змінну age, яка відповідає за вік користувача послуги, за цим параметром буде побудовано характеристику клієнта з табличних функцій та змінну стану State, яка характеризує його приналежність до клієнтської бази одного з операторів. Також задано блок схему алгоритму поведінки клієнта. (рис 3.24)

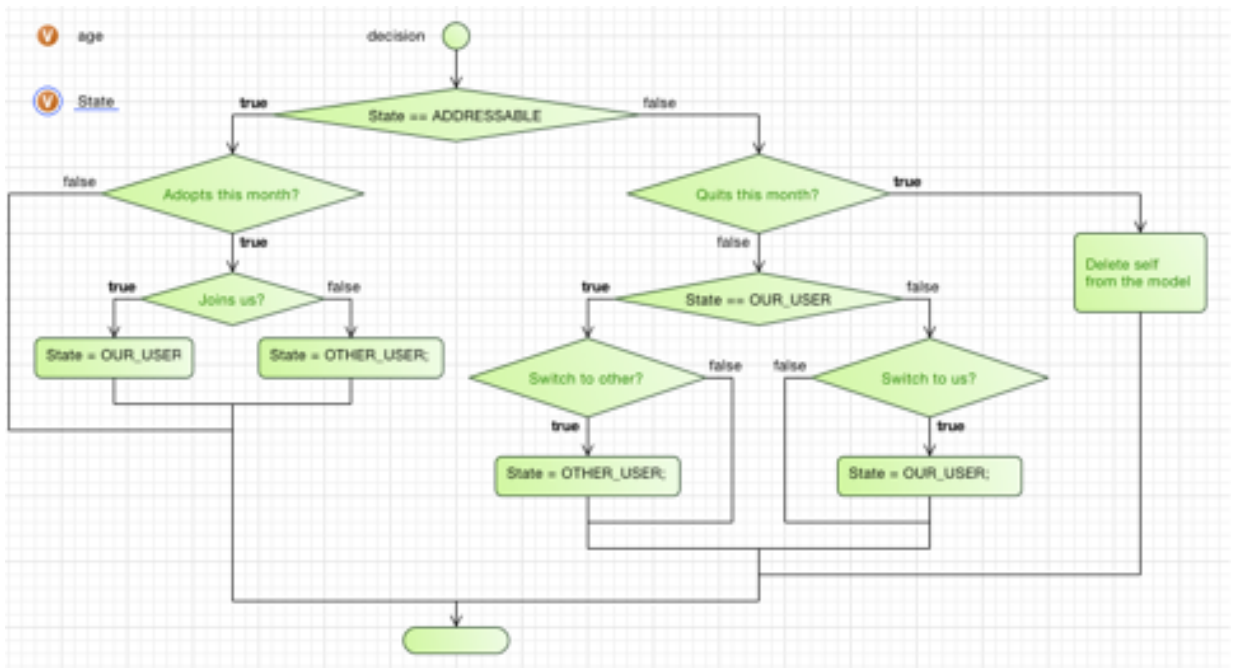


Рис. 3.24 – Алгоритм поведінки клієнта

Під час запуску моделі можна в реальному часі міняти показники вартості послуг та активності рекламної кампанії та спостерігати за зміною ринкової долі замовника та розподілом прибутків. (рис. 3.25)



Рис. 3.25 – Моделювання ринку мобільного зв'язку

Проведемо оптимізацію стратегії клієнта. припустимо, що необхідно фактично монополізувати ринок, отримавши 80 - відсоткову частку і при цьому зберегти прийнятний прибуток від одного абонента на рівні 100 умовних одиниці.

Додамо новий оптимізаційний експеримент до проекту. (рис 3.26)

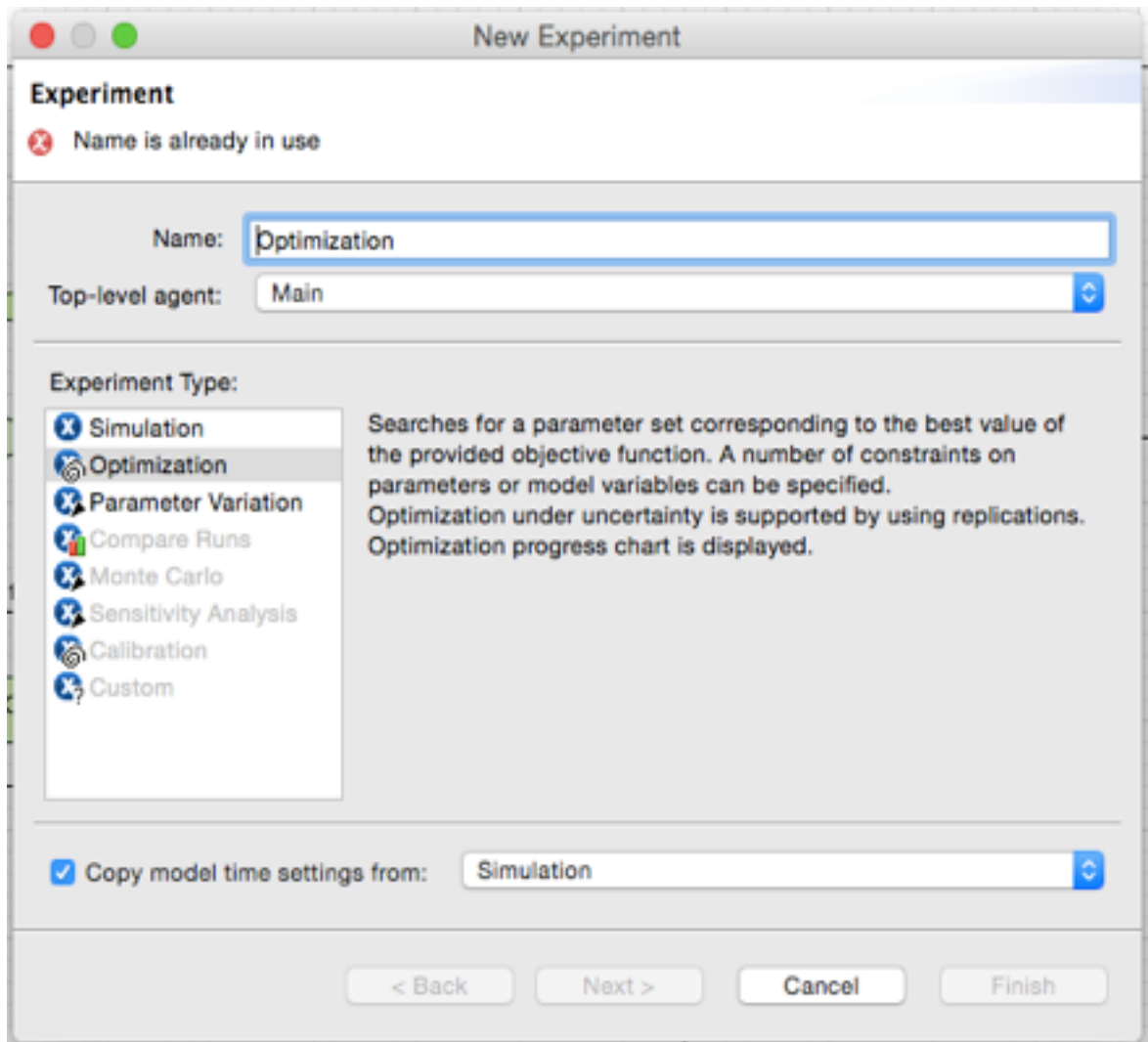


Рис. 3.26 – Створення нового оптимізаційного експерименту для оптимізації стратегії поведінки на ринку мобільного оператора.

Задамо його характеристики (параметр вартості хвилини дзвінка варіюватиметься від 1 до 50ти копійок, параметр інтенсивності рекламної кампанії від 0 до 1) та обмеження (ринкова частка повинна перевищувати 80%, прибуток від одного користувача більше 100 умовних одиниць):

Parameters:

Parameter	Type	Value			
		Min	Max	Step	Suggested
MarketGrowth	fixed	2			
PriceLo...tyDelta	fixed	0.05			
Aggress...yDelta	fixed	0.2			
QuitProbability	fixed	0.004			
PtoANor...ficient	fixed	5			
price	discrete	0.01	0.5	0.01	0.1
agressiveness	discrete	0.01	1	0.01	0.5

Рис. 3.27 – Параметри оптимізаційного експерименту стратегії мобільного оператора

В результаті оптимізацій найкращим рішенням за заданих умов було запропоновано пару значень вартості зв'язку 26 копійок та агресивності рекламної кампанії трохи вище середнього (0.51). (рис 3.28)

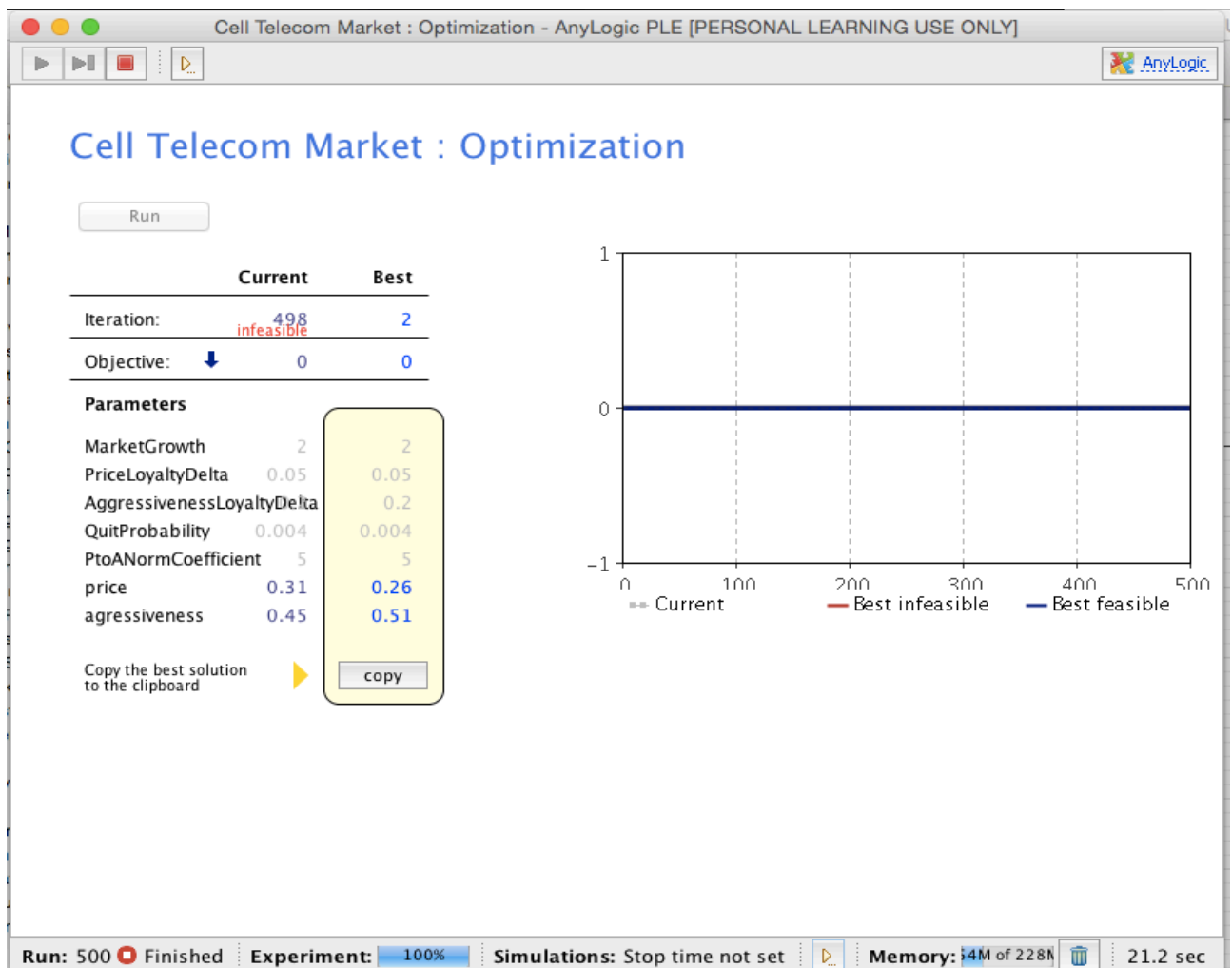


Рис. 3.28 – Оптимізаційний експеримент стратегії мобільного оператора

Висновки до розділу

Формалізуємо параметри процесу розробки мультиагентної системи за допомогою Jade та AnyLogic.

Таблиця 3.1 Порівняння платформ розробки мультиагентних систем AnyLogic та Jade

	Anylogic	Jade
Ліцензія	Пропріетарна, безкоштовна для особистого користування	Open-Source, GNU Lesser General Public License
IDE	На основі Eclipse, з графічним інтерфейсом побудови логічних моделей	Будь-який текстовий редактор, чи Java IDE
Документація	Наявна, велика кількість навчальних матеріалів та реалізацій типових задач	Наявна, велике ком'юніті користувачів
Трудозатратність на реалізацію спроектованої моделі	Низька, більша частина часу витрачається на проектування логіки. Інкапсульовано такі базові операції, як обмін повідомленнями та керування ініціалізацією агентів	Висока, необхідно створювати власну реалізацію для більшості операцій, включаючи обмін повідомленнями між агентами.
Візуалізація результатів моделювання	Наявна	Відсутня

Після порівняння процесу розробки мультиагентної системи в середовищі AnyLogic та на платформі JADE для подальшої роботи було обрано AnyLogic. AnyLogic належить до пропріетарного програмного забезпечення, проте має безкоштовну ліцензію для особистого вивчення. Ще одним його суттєвим недоліком є значно нижча продуктивність отриманого програмного забезпечення, проте такі переваги, як якісна документація, графічний інтерфейс побудови логіки моделей і, як результат, значно нижча трудозатратність переважають недоліки.

4 ПОБУДОВА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ МОДЕЛІ РИНКУ

В даному розділі роботі розглядається задача моделювання економіки за допомогою мультиагентних систем. Завдяки правильній побудові моделей користувач зможе оцінити актуальність та прибутковість свого бізнесу, визначитися зі стратегіями його поведінки для різних кон'юктур.

Перед створенням нового бізнесу необхідно максимально правильно оцінити його актуальність та прибутковість, спрогнозувати його роботу в різних умовах. Розв'язання задачі прогнозування процесів життєвого циклу підприємства на тому чи іншому етапі розвитку, у більшості випадків пов'язане з моделюванням залежностей результуючих характеристик від різноманітних вхідних факторів[34][35].

Фактори, які впливають на підприємство, можуть мати різноманітну природу, вони можуть визначатися як кон'юктурою ринку, так і внутрішніми параметрами підприємства, в той же час динаміка зміни цих факторів також має велике значення, що значно ускладнює розрахунок потенційної ефективності компанії традиційними методами. Як впливає із формули оцінки прибутковості (1), фінансові надходження при збуті продукції в момент часу t $Z(t)$ повинні перевищувати інтегральний показник затрат на енергію $E(t)$, витрат на матеріали $M(t)$, закупівлю обладнання $O(t)$ та оплату робочої сили $R(t)$.

$$Z(t) \geq E(t) + O(t) + R(t) \quad (4.1)$$

[19][20]

4.1 Моделювання життєвого циклу підприємства

Життєвий цикл підприємства [10] починається з закупівлі матеріалів, придбання обладнання та найму робітників. Для цього необхідний стартовий капітал який є одним з основних початкових параметрів моделі.

Матеріали закупаються з розрахунку для виготовлення однієї партії продукції за умови її реалізації (бажано в повному обсязі) за один період часу.

Обладнання закуповується з початку життєвого циклу і може бути незмінним протягом декількох періодів виробництва потребуючи при цьому лише амортизаційних витрат. Умова виходу з ладу пристроїв та обладнання обумовлюється ймовірністю безвідмовної роботи вузлів. Кількість обладнання пропорційна кількості робітників, що з ним працюють.

Наймаючи робітників потрібно враховувати кількість робочих місць та спроможність виплати заробітних плат. Існує перелік обов'язкових робочих місць (бухгалтер, головний інженер, тощо), для яких сума зарплати є сталою, та вакансій кількість яких може змінюватись в залежності від об'ємів виробництва та розміру заробітного фонду.

Будемо вважати, що коли підприємство готове безпосередньо до процесу виробництва (є матеріали, обладнання та персонал), продукція створюється в цьому-ж періоді часу та одразу надходить на реалізацію, результати якої відомі на початок наступного періоду. Від кількості реалізованої продукції залежить об'єм наступної партії та ,відповідно, кількість матеріалів, що закуповуються на початку періоду.

Якщо дохід підприємства протягом декількох періодів є позитивним, то, залежно від політики поведінки підприємства, є можливість:

1. розширити виробництво збільшивши об'єми продукції, що виготовляється – закупивши додаткового обладнання та найнявши більше робітників;
2. збільшити асортимент товару – придбавши нове обладнання та найнявши більше робітників;
3. слідувати стратегія нарощення капіталу на випадок кризової ситуації та не витрачати вільні кошти.

За умови посереднього або від'ємного доходу його можна збільшувати варіюючи кількість виготовлюваної продукції. Якщо-ж це не допомагає скоріш за все підприємство є збитковим. Коли в фонді підприємства недостатньо грошей на закупку навіть мінімальної кількості продукції та забезпечення

заробітною платою робітника підприємство вважається банкрутом та перестає існувати. [21]

4.2 Побудова мультиагентної моделі ринку в середовищі AnyLogic

Для прикладу моделювання галузі економіки було обрано побудову ринку металопластикових вікон в місті Київ. Даний ринок цікавий тим, що за останні кілька років він переживав як розквіт, внаслідок здачі в експлуатацію великої кількості приміщень, так і занепад спричинений валютними коливаннями та зупинкою ринку нерухомості. Також потрібно враховувати, що в період розквіту значно виросла й конкуренція, що призвело до перенасичення ринку пропозицією.

Розроблювана модель має структуру зображену на рис 4.1[24].

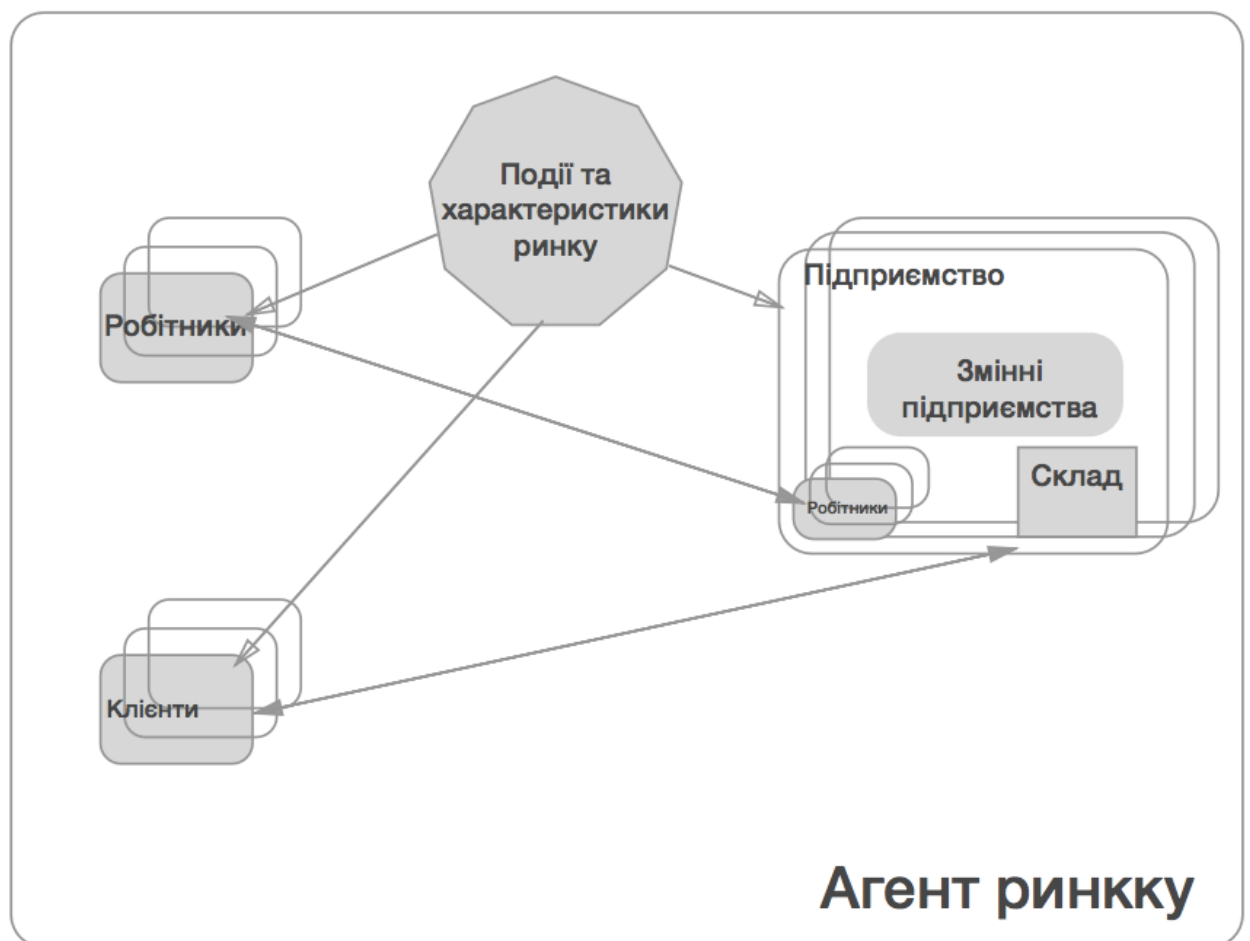


Рис. 4.1– Схема агентної моделі ринку

Розглянемо побудову кожного її структурного елемента окремо.

4.2.1 Агенти робітника та складу

Агент типу Stock відповідає за продаж комплектуючих для створення вікон. Він містить одну змінну, яка повертає вартість одиниці товару. За припущенням товар завжди є в наявності. Оптовий замовник отримує знижку до 20 відсотків (її розмір вираховується на основі замовленої кількості одиниць продукції).

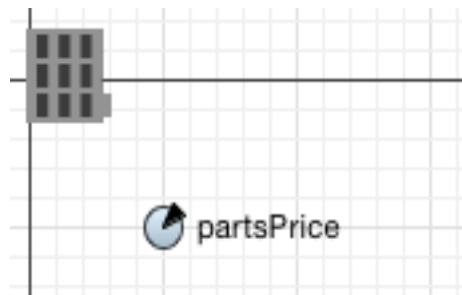


Рис. 4.2 – Структура агента складу

За поведінку робітника підприємства відповідає клас Worker. Він містить змінну salary, яка відповідає за заробітну платню робітника та productivity, яка визначає кількість одиниць продукції, яку робітник може виготовити за одиницю модельного часу. Продуктивність прямо пропорційна відношенню заробітної платні робітника до максимально можливої заробітної платні на ринку:

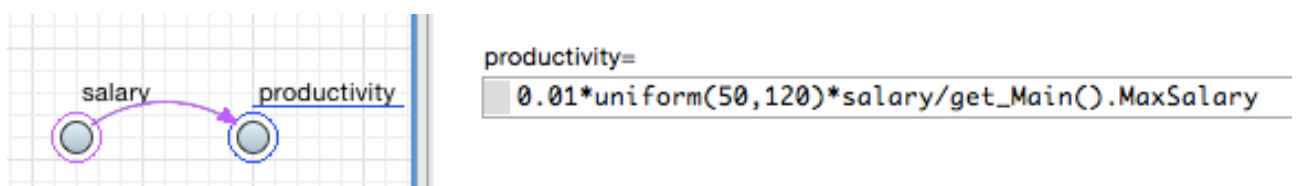


Рис. 4.3 – Вплив заробітної платні робітника на його продуктивність

Заробітна платня робітника може модифікуватися підприємством. Визначення оптимального для компанії розміру грошової винагороди співробітника також є однією з важливих задач для оптимізації, адже значною мірою впливає на витрати компанії.

4.2.2 Агент клієнта

Клієнта описує агент типу Customer



Рис. 4.4 – Структура агента клієнта

Він містить цілочисельну змінну `WindowsNeeded`, яка відповідає за кількість вікон, які потрібно придбати, а також вагові коефіцієнти для пошуку оптимального продавця `DistanceWeight` та `PriceWeight`, які визначають вплив відстані до продавця та вартості запропонованого товару на вибір оптимального варіанту.

Для пошуку продавців застосовуються функції `findBestManufacture` та `calcDist`. Функція `calcDist` визначає оцінку альтернативи спираючись на відстань між нею та клієнтом і запропоновану вартість товару. Функція `findBestManufacture` виконує пошук найкращої з альтернатив. Нижче наведено її лістинг:

```
int bestMan=0;
Random r = new Random();
//smaller dist is better
enterprise bestEnterprise = get_Main().enterprises.get(0);
double bestDist = calcDist(bestEnterprise);
for(int i=1; i< get_Main().enterprises.size(); i++){
```

```

    enterprise currentEnterprise =
get_Main().enterprises.get(i);
    double cd = calcDist(currentEnterprise);
    if((bestEnterprise.getPrice()<0 ||
(currentEnterprise.getPrice())>0 && r.nextInt(100)<90 &&
bestDist>cd)){
        bestDist = cd;
        bestEnterprise = currentEnterprise;
    }
}
return bestEnterprise;

```

Покупка вікон виконується кожного дня в події DailyEvent, кількість одиниць товару до закупки визначається максимумом між значенням параметру WindowsNeded та заданим числом, таким чином моделюється рівномірність попиту. Для моделювання циклічності попиту та кризи контейнерний агент може заблокувати операцію. Ймовірність блокування генерується табличною функції залежності попиту від періоду року.

4.2.4 Агент підприємства

Розглянемо структуру агента підприємства. Він має діаграму станів, яка відповідає за можливість виробництва товарів. В стані Producing можливе як виробництво, вікон, так і їх продаж. Якщо в компанії закінчуються кошти вона переходить в стан SellinStocks, в якому можливий лише продаж продукту зі складу, оптимізація витрат відбувається вкінці звітного періоду. Якщо після продажу запасів у компанії знову з'явилися кошти, вона переходить у стан Producing та починає виготовляти продукцію.

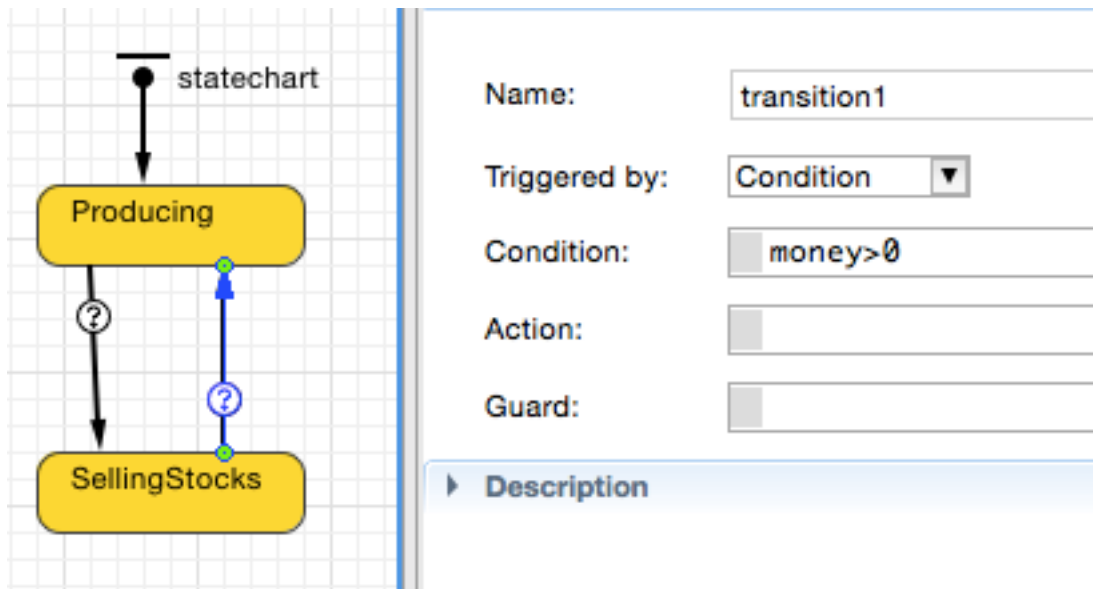


Рис. 4.5 – Діаграма станів підприємства

За взаємодію між роботодавцем та працівником відповідає наступний функціонал:

1. worker – список працівників компанії.
2. hireWorkers(int numWorkers) – наймає numWorkers робітників з ринку, якщо вони там наявні.
3. fireWorkers(int numWorkers) – звільняє numWorkers робітників та повертає їх на ринок.
4. raiseSalary(double coef) – призначена для модифікації заробітної платні співробітника на коефіцієнт coef.
5. calcSalary() – підраховує суму заробітної платні співробітників, використовується при прийнятті управлінських рішень для оцінки рентабельності бізнесу.
6. giveWage() – виплата заробітних плат співробітникам. Списує кошти з балансу компанії.

За стратегію підприємства на ринку відповідає змінна *agessiveness*. Вона визначає довжину звітного періоду, вкінці якого визначається подальша поведінка компанії (чим більший показник агресивності поведінки, тим цей

період коротше) `statsRecurrenceDays` та інтенсивність розширення штату `maxWorkersToHire`.

За операційну діяльність підприємства відповідає наступний функціонал:

1. `money` – поточний баланс компанії.
2. `stock` – склади, призначені для накопичення вироблених одиниць товару.
3. `statechart1` – діаграма станів, відповідає за процес виробництва продукту. Містить наступні стани:
 - 3.1 `Producing` – продукт виробляється.
 - 3.2 `SellingStocks` – продаж запасів товару зі складу, виробництво призупинене до появи позитивного балансу `money`.
4. `dailyMax` – максимальна кількість продукту, яку підприємство може виробити за день, вираховується на основі аналізу попереднього звітного періоду.
5. `CalcProduced` – вираховує кількість виробленого за одиницю модельного часу товару. Вираховується як інтегральний показник продукції виробленої кожним робітником і залежить від їх продуктивності.
6. `sellPieces(int numPieces, Client client)` – продає `numPieces` одиниць товару клієнту. Якщо на складі немає достатньої кількості продукції, продається максимально можлива кількість та оновлюється статистика недостачі товару `LackOfItemsToSell`.
7. `incomeCoef` – коефіцієнт прибутковості, визначає прибуток, який буде отримано при реалізації продукції, впливає на вартість.
8. `price` – динамічна змінна, яка вираховує вартість одиниці продукції при реалізації.
9. `dailyEvent` – подія, яка викликається вкінці кожної одиниці модельного часу. Вираховує кількість виготовленої продукції та списує з балансу компанії вартість матеріалів та зберігання продукції на складах, оновлює статистичні дані роботи компанії. Поточний

баланс *money* вираховується на основі кількості виготовленої за день продукції *producedToday*, отриманої знижки *discount* та витрат на зберігання продукції на складах *stock*:

$$\begin{aligned} & \textit{money} \\ &= \textit{money} - \textit{producedToday} * \textit{partsValue} \\ & * (1 - \textit{discount}) - \textit{stock} * \textit{saveValue} \end{aligned} \quad (4.1)$$

10. За прийняття рішень про стратегічну поведінку підприємства (розширення чи скорочення штату, встановлення денної норми виробництва, прийняття рішень про зміну заробітної платі співробітників) відповідає наступний набір параметрів:

1. *LackOfItemsToSell* – показує кількість одиниць товару, яких не вистачило для продажу, таким чином характеризуючи прибуток, неотриманий через замалі обсяги виробництва.
2. *producedThisStatsPeriod* – обсяг товару, виготовленого протягом звітного періоду *statsRecurrenceDays*.
3. *statsIncome* – прибуток, отриманий протягом звітного періоду *statsRecurrenceDays*.
4. *wagePeriodIncome* – прибуток, отриманий протягом останнього місяця, використовується для оцінки ефективності кадрової політики підприємства та прийняття рішення про скорочення персоналу.
5. *statsEvent* – подія, яка циклічно викликається вкінці кожного звітного періоду та запускає процедуру побудови стратегії компанії на наступний звітній період. Нижче на рисунку 4.6 наведено блок-схему алгоритму процедури побудови стратегії поведінки компанії на ринку.

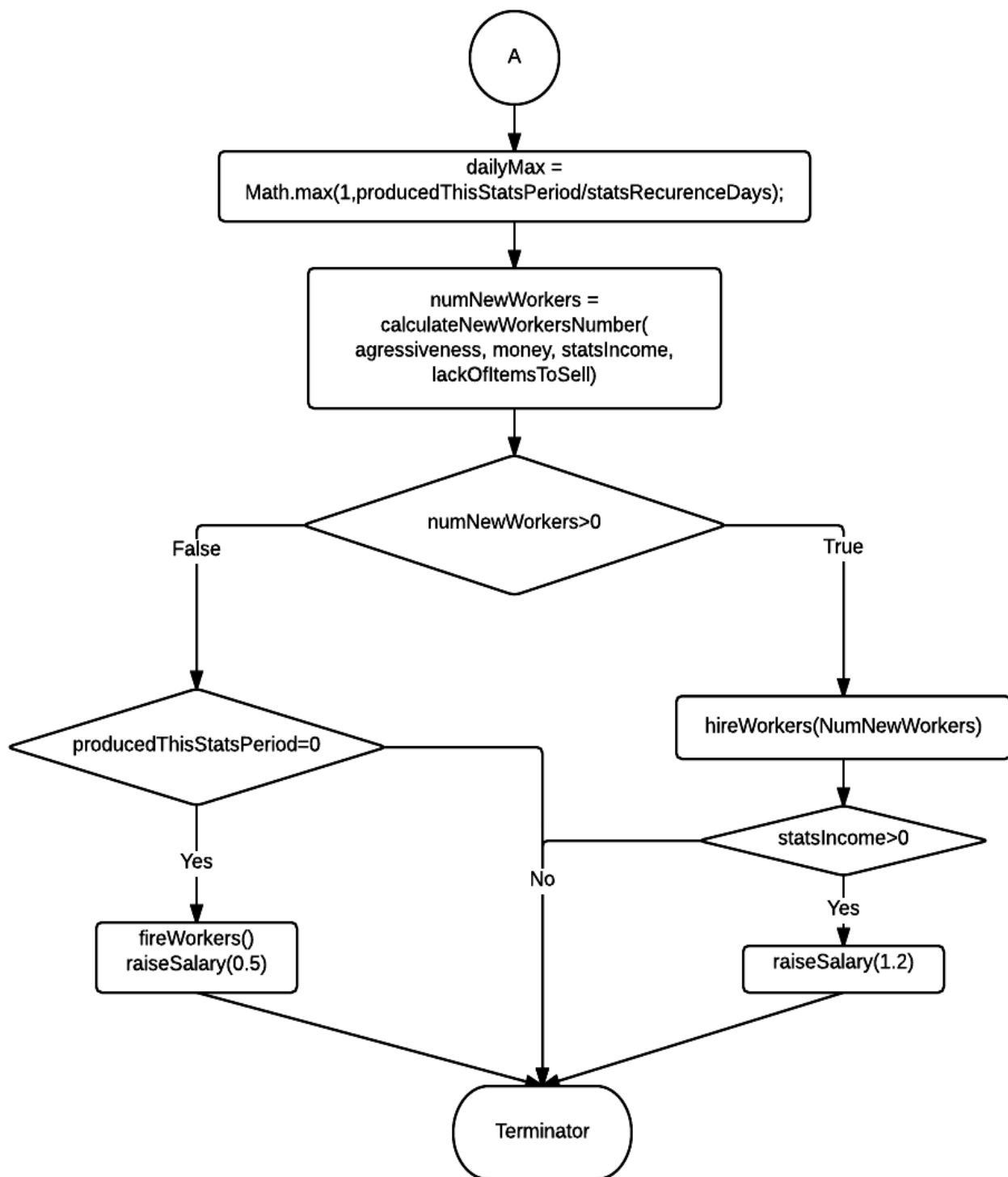


Рис. 4.6 – Блок-схема алгоритму процедури побудови стратегії компанії

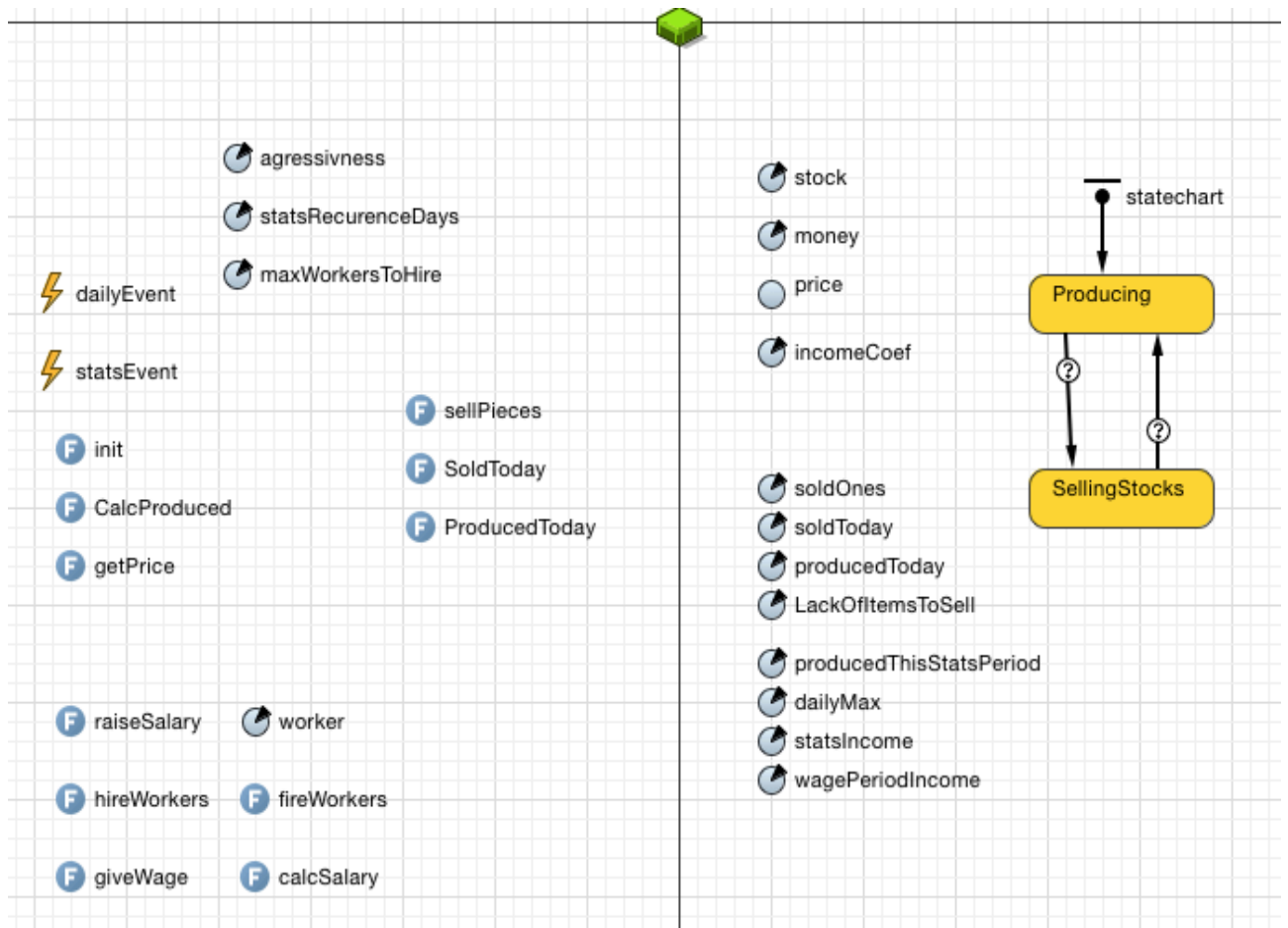


Рис. 4.7 – Загальний вигляд агента підприємства

4.2.5 Агент Ринку

Контейнером розроблюваної мультиагентної системи є агент ринку. Він відповідає за ініціалізацію та взаємодію між працівниками, клієнтами та виробниками продукції. Також даний клас відповідає за збір та відображення статистичної інформації та є інтерфейсом для побудови оптимізаційних експериментів.

Розглянемо основні його поля:

1. **customers** – масив клієнтів. У зв'язку з недостатньою обчислювальною потужністю апаратної платформи, на якій здійснювалася розробка було прийнято рішення ставити у відповідність одному агенту клієнта 100 осіб з реального світу.
2. **enterprises** – масив підприємств, які виготовляють металопластикові вікна. При ініціалізації їм присвоюються різні значення показника

- агресивності поведінки на ринку. Початкова кількість найнятих робітників та тривалості звітного періоду компанії також визначається показником агресивності.
3. `workers` – масив незадіяних робітників підприємств доступних до найму. Щомісяця збільшується на певний показник (разом з ростом ринку). При звільненні робітники підприємства повертаються назад в цей масив.
 4. `stockagent` – агент складу, відповідає за продаж матеріалів та логіку надання оптової знижки.
 5. `maxPrice` – максимальна дозволена вартість одиниці товару.
 6. `maxSalary` – звичайна зарплата на ринку. Застосовується при обчисленні продуктивності робітника.
 7. `demandResolver` – таблична функція, яка відповідає за інтенсивність попиту. Використовується для моделювання кризових ситуацій та піків попиту.
 8. `MonthlyEvent` – подія, яка генерується щомісячно та виконує наступні функції:
 - 8.1 Zobov'язує всі підприємства виплатити заробітну платню своїм співробітникам.
 - 8.2 Збільшує кількість робітників для найму, дозволяючи підприємствам проводити агресивнішу кадрову політику.
 - 8.3 Збільшує попит на ринку, збільшуючи кількість потенційних клієнтів.
 9. `DailyEvent` – подія, яка генерується щодня та призначена для підрахунку статистики ринку та запуску процедури оновлення графіків залежностей попиту користувача, виробничих показників підприємств та їх балансу від часу.
 10. Блок змінних, які відповідають за характеристики ринку і його учасників під час проведення оптимізаційних експериментів.

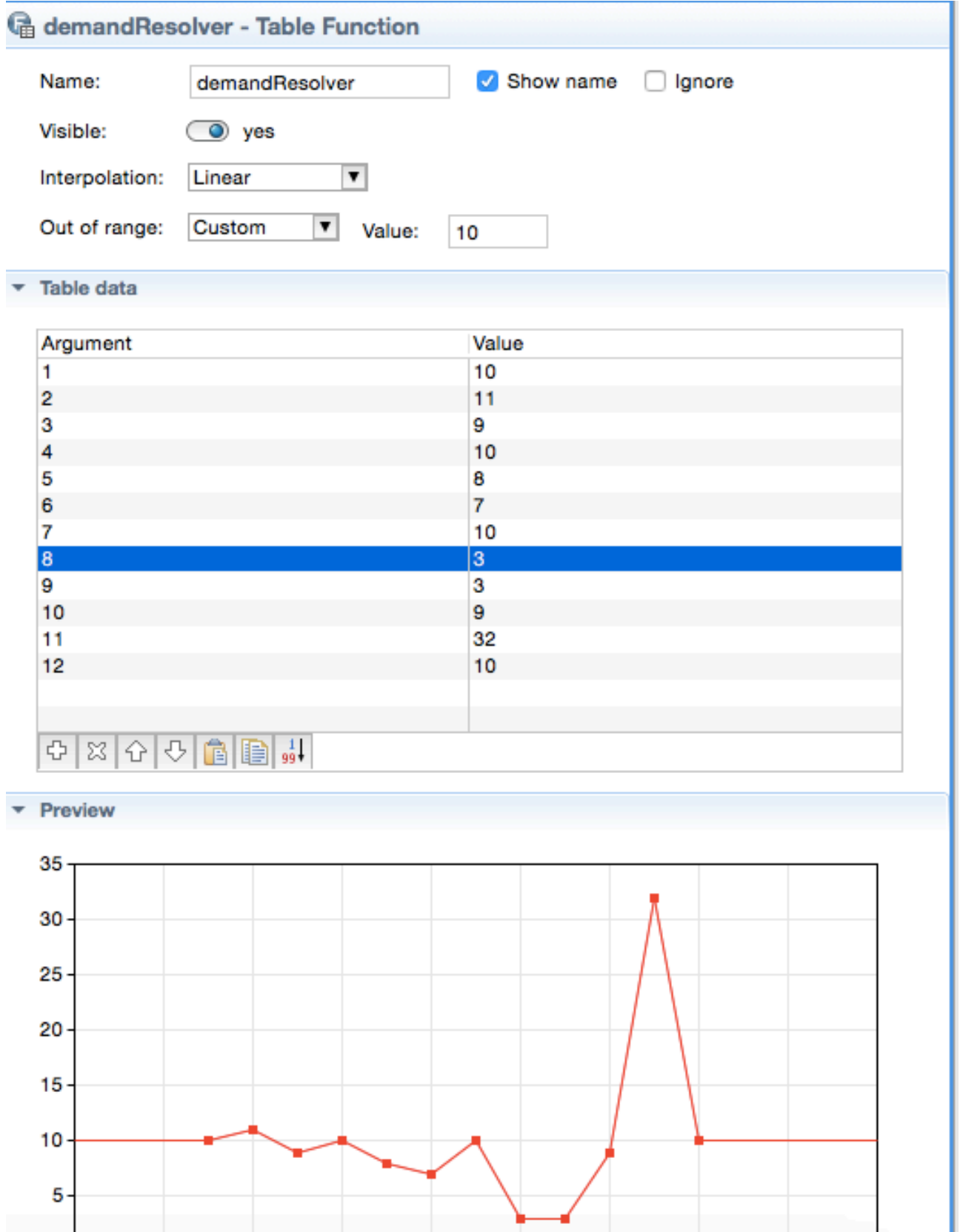


Рис. 4.8 – Таблична функція моделювання кризової ситуації

4.3 Моделювання ситуації на ринку

В даному розділі буде змодельовано ситуацію на ринку Києва. Припустимо, що на початку моделювання попит стабільний та високий (наприклад, в наслідок здачі в експлуатацію великої кількості будівельних об'єктів), проте через деякий час попит різко падає. Необхідно визначити оптимальну стратегію (показник агресивності) в довгостроковій та короткостроковій перспективах[23].

Як бачимо на Рис. 4.9 на початку моделювання всі підприємства демонструють приблизно однаковий результат. Проте, через короткий проміжок часу компанії з вищим рівнем агресивності завершують звітний період та приймають рішення про розширення в умовах попиту, який перевищує пропозицію. (Рис 4.10)

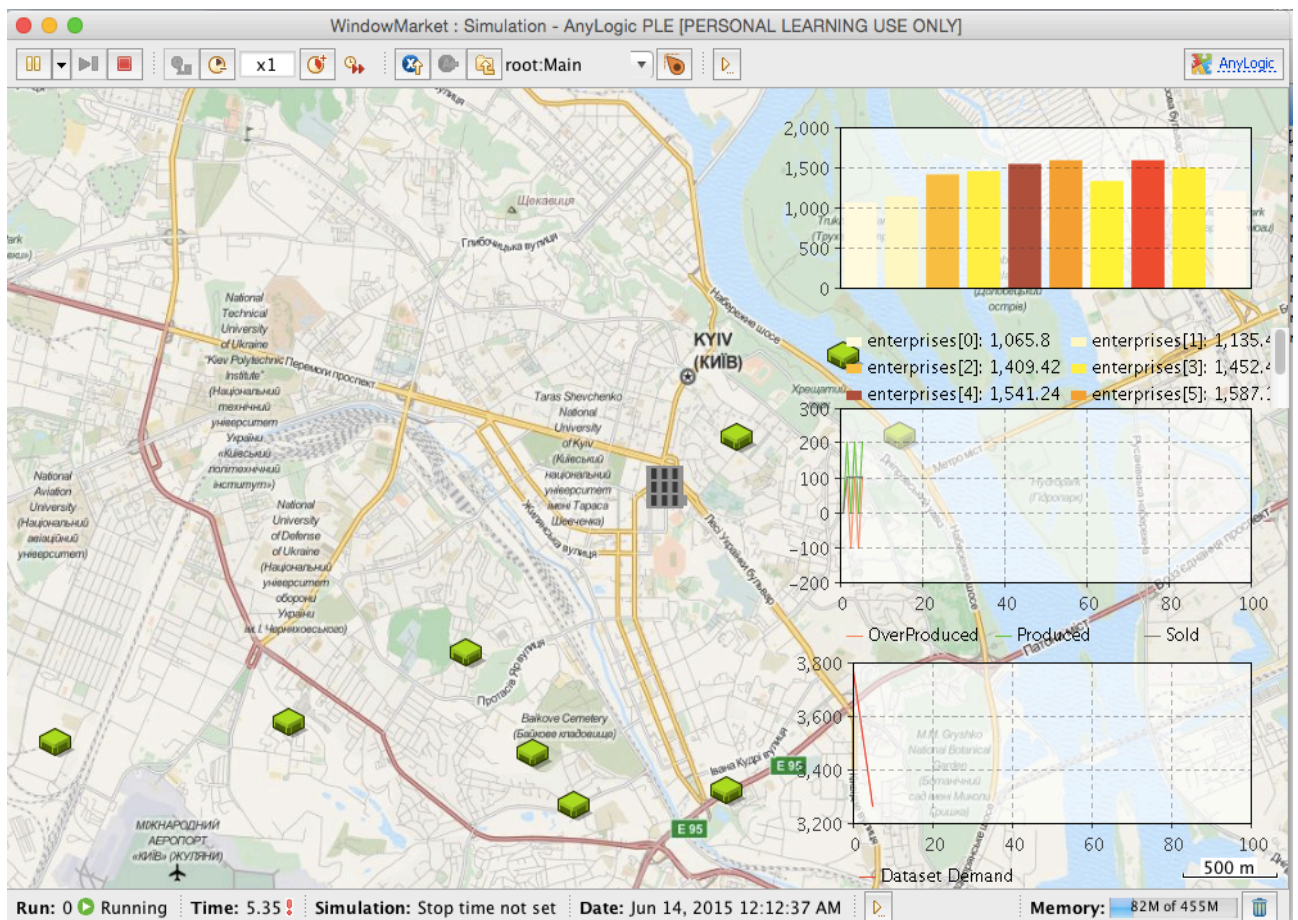


Рис. 4.9 – Початок моделювання

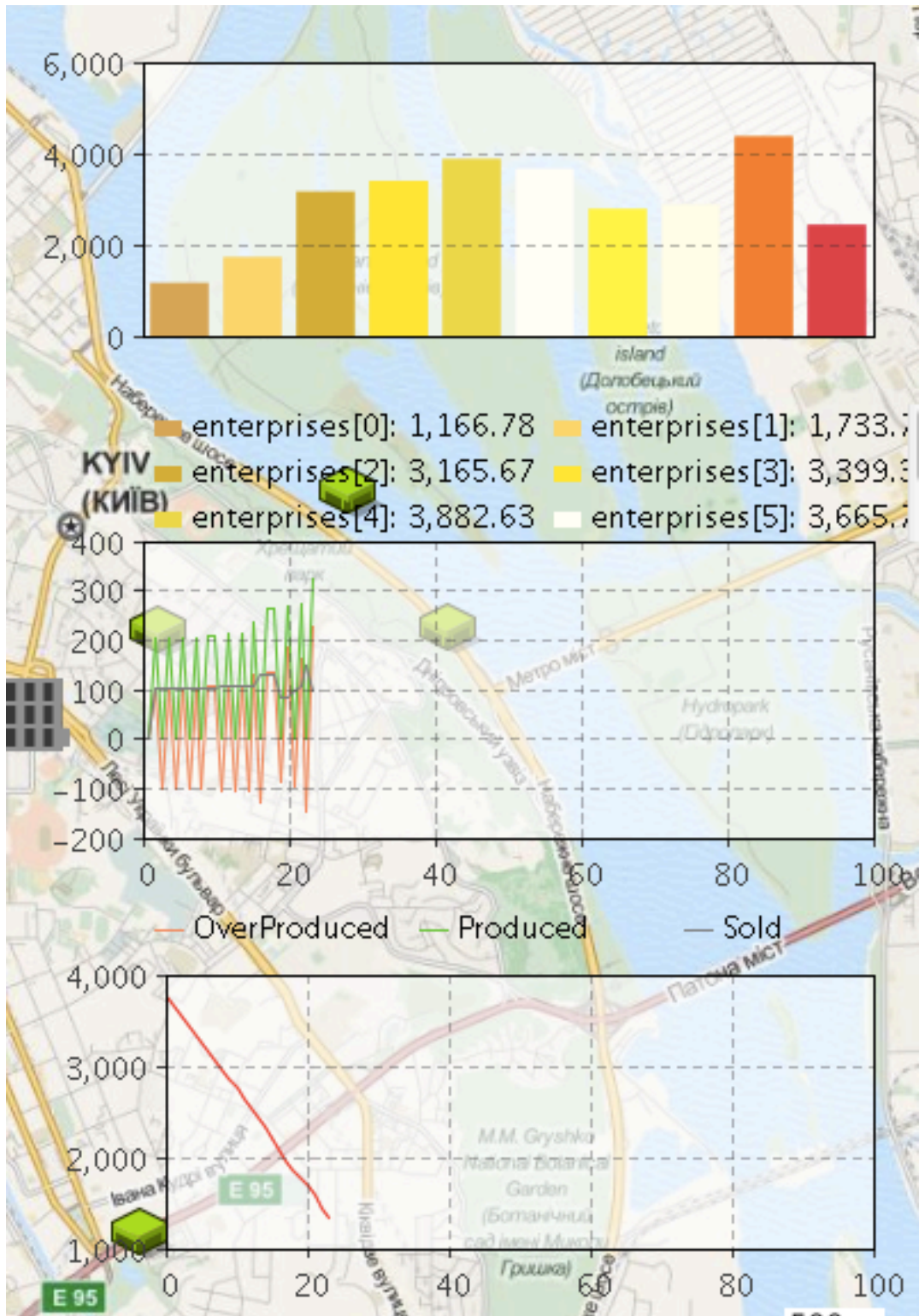


Рис. 4.10 – Ринок в умовах попиту, що перевищує пропозицію

Як бачимо, підприємства з більшою кількістю робітників отримують перевагу, адже можуть виготовляти і, як наслідок, реалізовувати, більше продукції і збільшують відрив від компаній з меншим штатом. Ще одним чинником, який спричиняє розрив є наявність оптових знижок на складі для замовників великих обсягів комплектуючих.

В результаті, більшість компаній намагається наростити штат та виготовляти якомога більше продукції. Виникає перенасичення ринку, внаслідок якого починають банкрутувати підприємства з “роздутим” штатом. При цьому починає поступово падати виробництво: (рис 4.11)

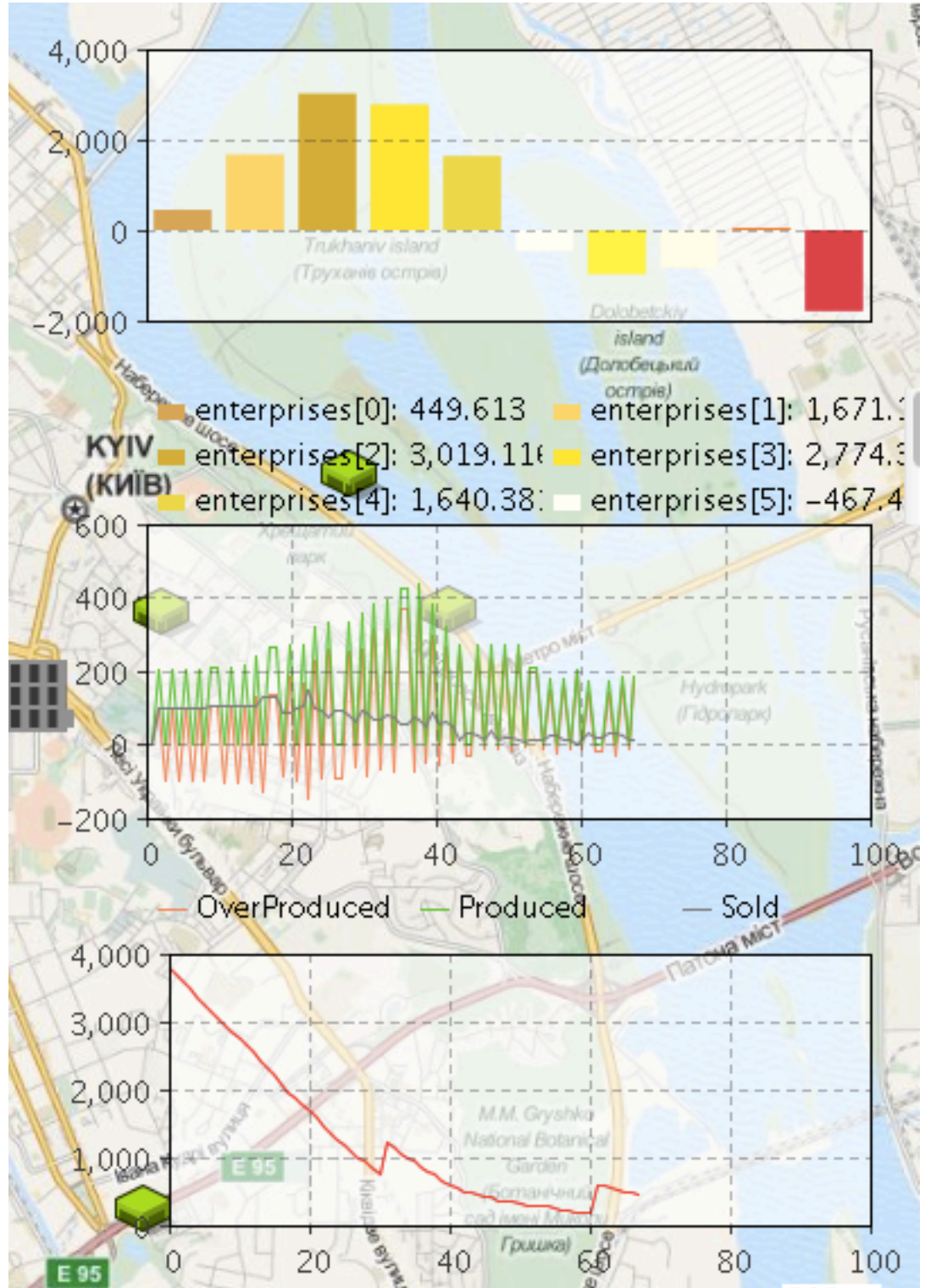


Рис. 4.11 – Ринок в умовах перенасичення

Якщо на цю ситуацію накласти ще й зовнішню кризу, яка призводить до подальшого падіння попиту, то більшість підприємств змушена буде звільнити всіх робітників та швидко витратить більшість коштів на зберігання на складах запасів товару, виготовлених в період перенасичення ринку та на виплату заборгованості по заробітній платні своїм працівникам. При цьому підприємства з мінімальним штатом несуть значно менші витрати і можуть довше утримувати позитивний баланс. (рис 4.12)

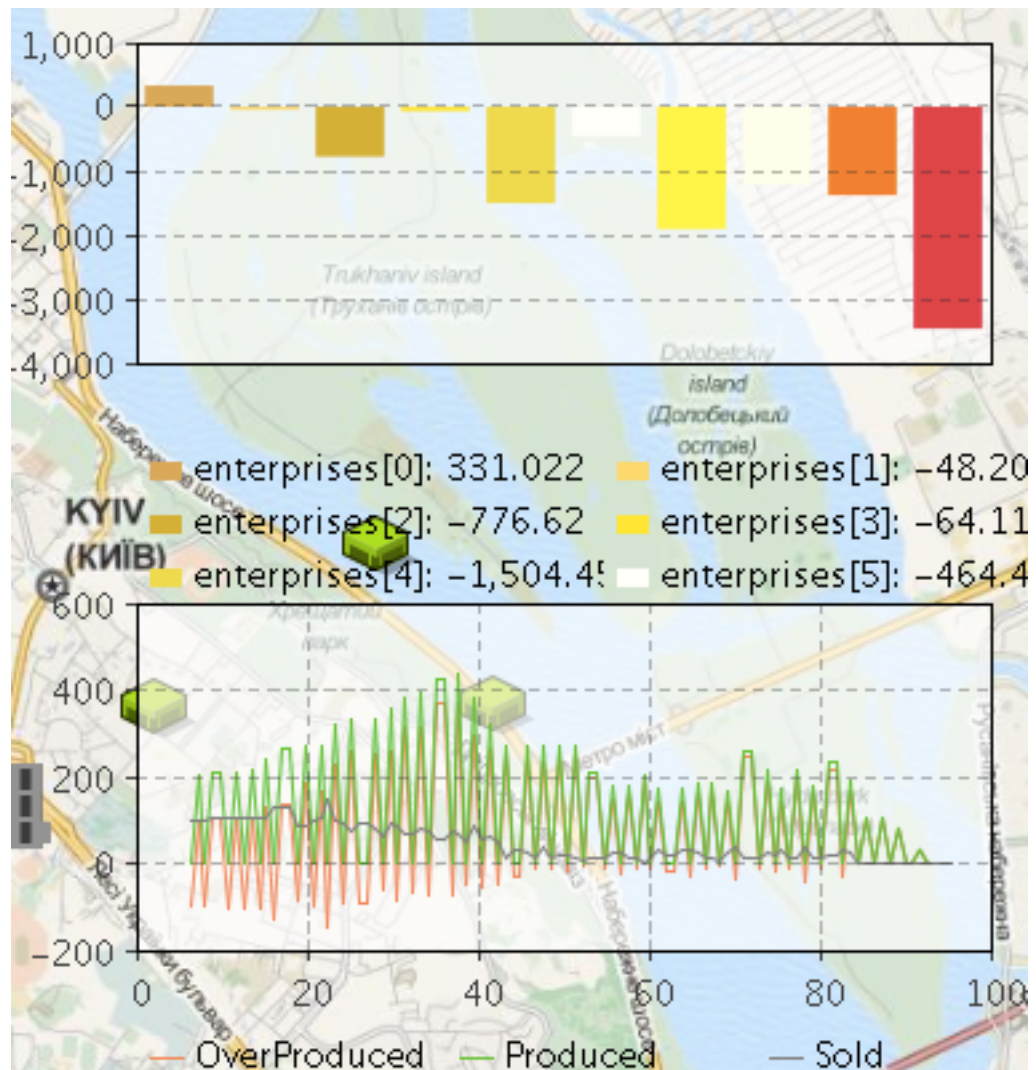


Рис. 4.12 – Ринок в умовах перенасичення та падіння попиту

Після закінчення “кризи” на ринок повертається попит та підприємства починають продавати запаси зі складів. Частина учасників ринку отримує можливість знову почати виробництво.

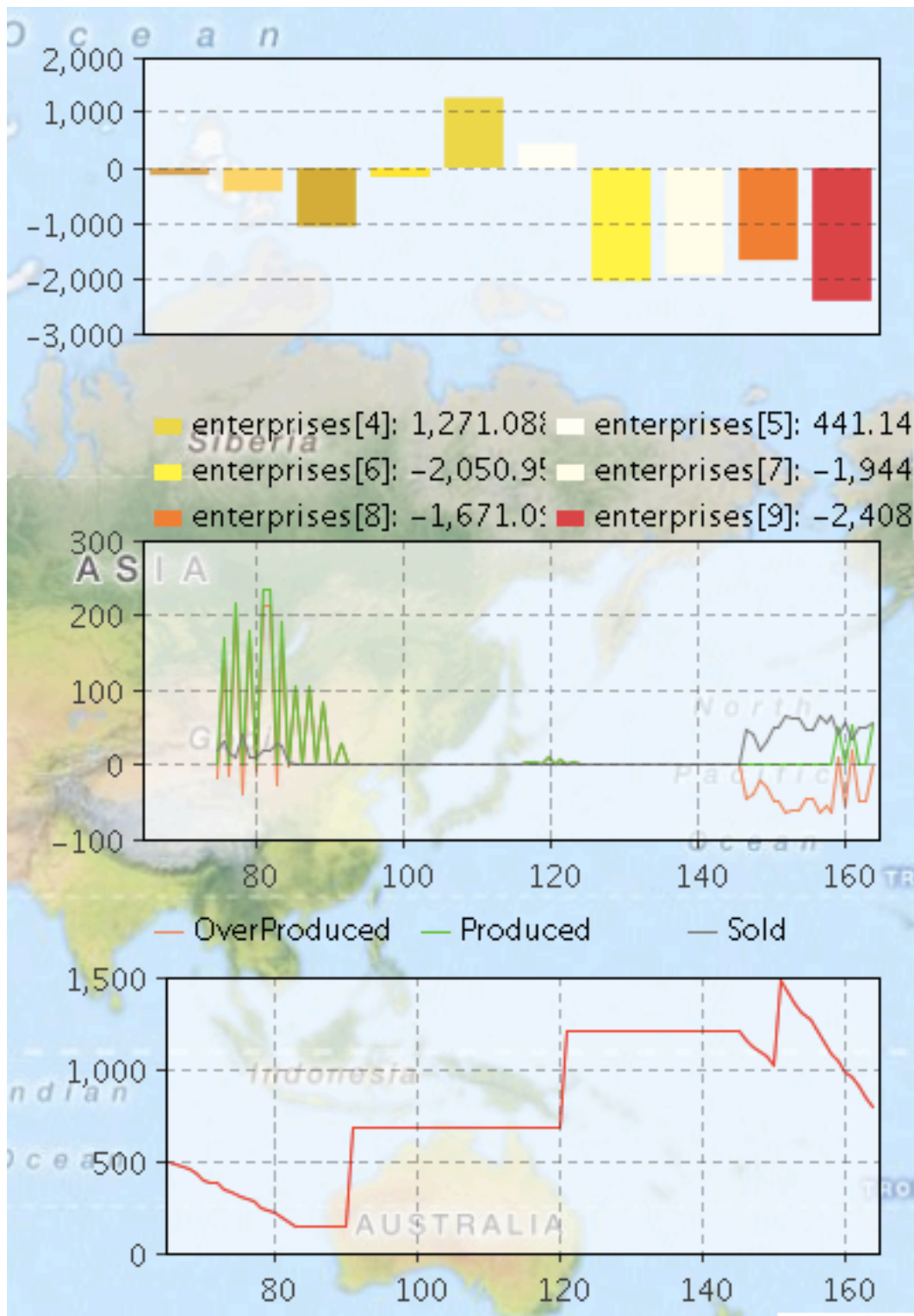


Рис. 4.13 – Ринок в умовах кризи

В результаті ринок стабілізується і починається нова хвиля нарощення виробництва, що через деякий час призводить до його перевищення. Таким чином можна спостерігати короткострокові економічні цикли Кітчина[22] (рис 4.14, рис 4.15).

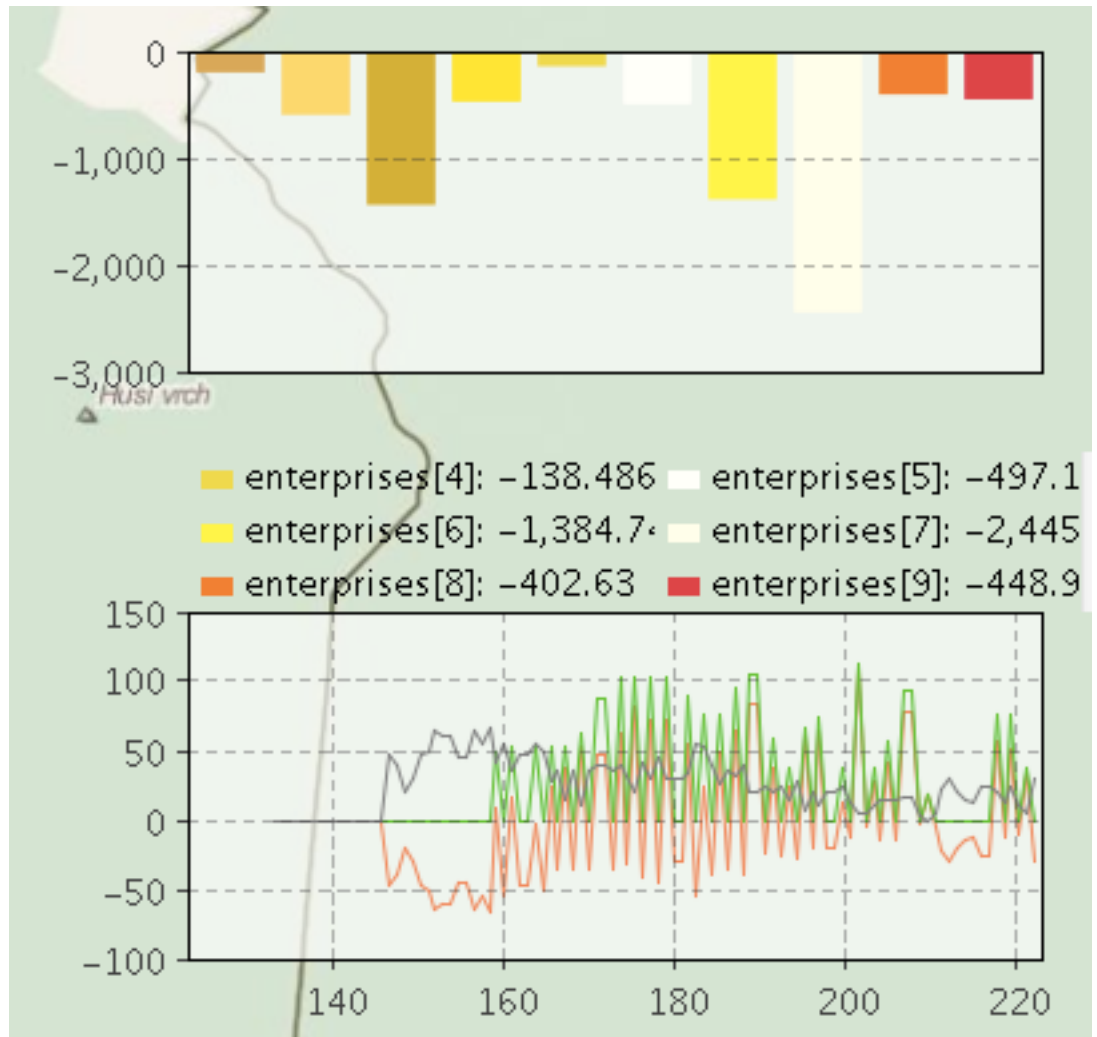


Рис. 4.14 – Графіки економічної ситуації в пост-кризовий період

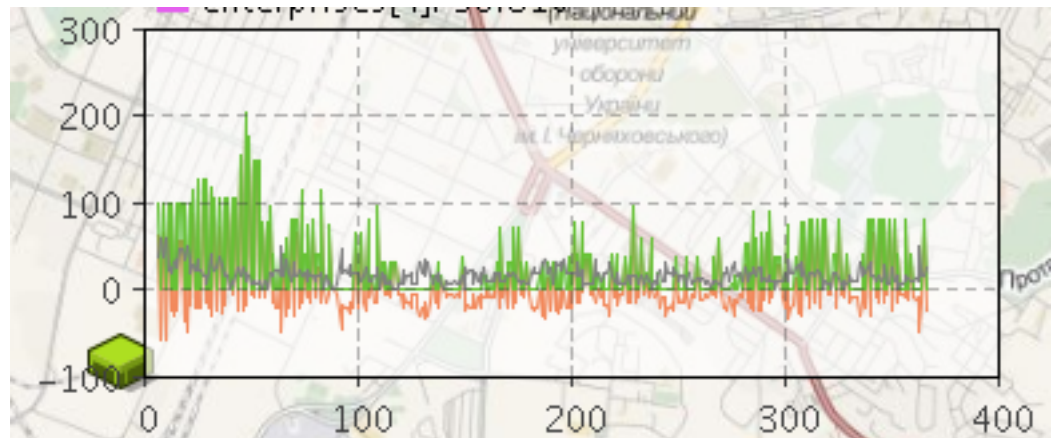


Рис. 4.15– Короткострокові економічні цикли при стабілізованій ситуації на ринку

4.4 Оптимізація параметрів підприємства

4.4.1 Оптимізація місця розташування компанії

Для перевірки правильності роботи моделі побудуємо оптимізаційний експеримент з пошуку найприбутковішого місця розташування агента.

Для цього модифікуємо опис ринку, додавши до нього наступний функціонал:

1. isConst – визначає режим оптимізації. При isConst=true показники агресивності для всіх підприємств фіксуються на одному рівні, що дозволяє нівелювати їх вплив на результат експерименту.
2. mapx – абсциса положення об'єкта на карті
3. mapy – ордината положення об'єкта на карті
4. isFirstBest – функція, яка перевіряє факт лідерства підприємства на ринку та вираховує відставання його балансу від конкурентів.

Задамо параметри та обмеження оптимізаційного експерименту (рис 4.16, 4.17)

Parameters:

Parameter	Type	Value			
		Min	Max	Step	Suggested
MaxSalary	fixed	100			
my_dataset	fixed	new DataSet(365)			
totalProduced	fixed				
totalSold	fixed				
maxPrice	fixed	10			
isConstant*	fixed	true			
mapx	discrete	0	1000	5	500
mapy	discrete	0	600	5	300

Рис. 4.16 – Параметри оптимізаційного експерименту

Requirements (are tested after a simulation run to determine whether the solution is feasible):

Enabled	Expression	Type	Bound
<input checked="" type="checkbox"/>	root.isFirstBest()	>=	0.0

Рис. 4.17 – Обмеження оптимізаційного експерименту

В результаті запуску оптимізаційного експерименту найкращим було визначено результат (500, 300). (рис. 4.18) Розміри робочого поля становлять 1000*600, тож отримана точка є його точним центром, як і було припущено на початку експерименту. Таким чином було показано вплив мінімального розташування до клієнтів на попит: чим ближче підприємство до замовника, тим вище ймовірність отримання замовлення.

Для кращої відповідності спроектованої моделі реальному ринку варто враховувати підвищення затрат оренду приміщення при наближенні до центру середовища.

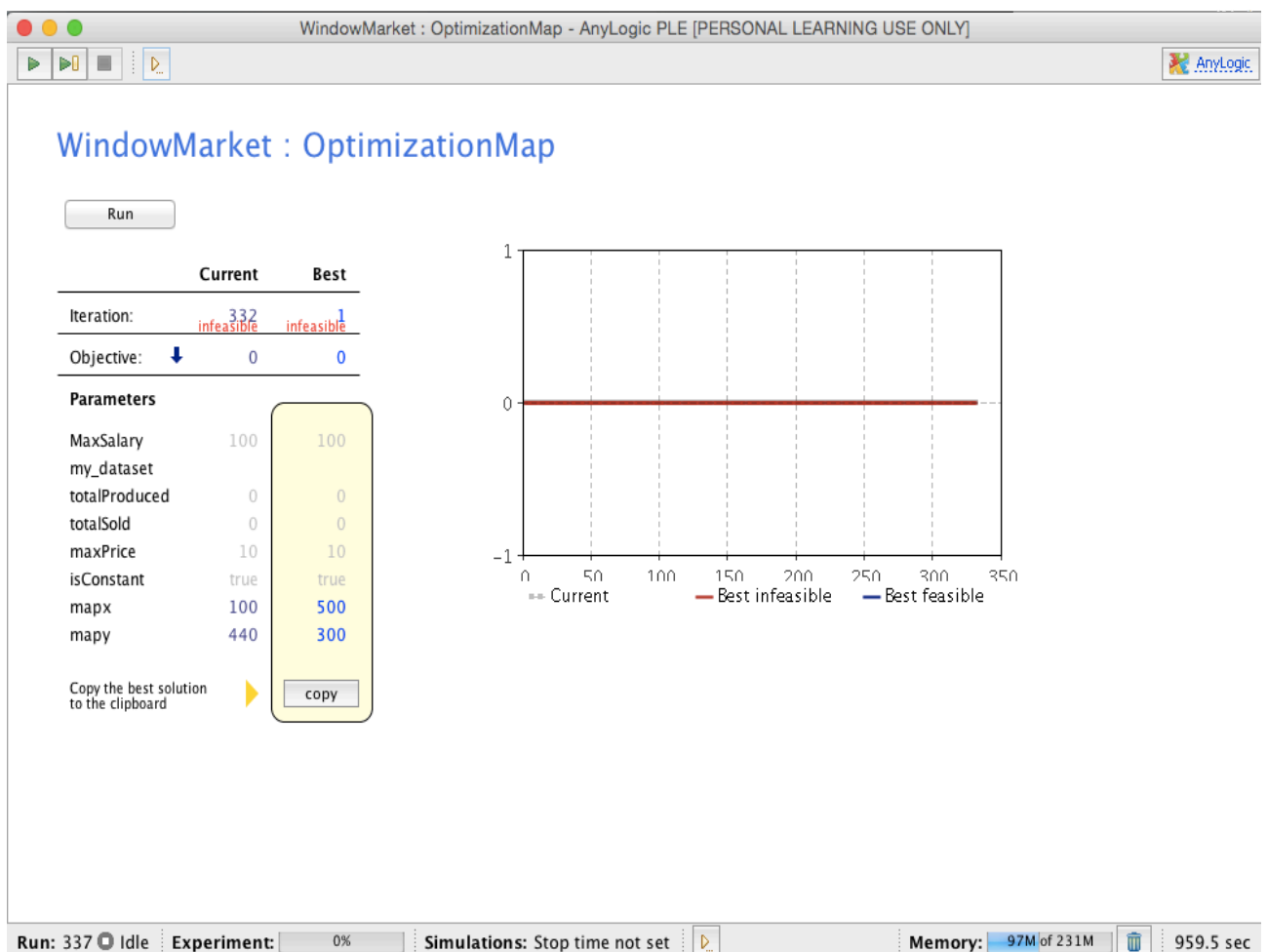


Рис. 4.18 Результати оптимізаційного експерименту

4.4.2 Обчислення оптимальної політики компанії

Проведемо оптимізаційний експеримент з метою пошуку оптимального періоду звітності та агресивності компанії:

Табл. 5.1 Результати моделювань ринку

Aggr	Період звітності	15 днів (до виплат)		30 днів (після виплат)		60 днів (криза)	
		Об'єкт	Конкуренти	Об'єкт	Конкуренти	Об'єкт	Конкурент
5	5	2557	2561	-1700	2600	-2300	13
2	10	1389	2534	-127	2599	-1076	2000
10	10	2385	2552	2882	2432	-1823	1873
14	32	2878	2879	1530	1997	-1009	1039
1	29	1260	2254	1338	2671	1619	152
2	20	1261	2267	784	2920	-436	1014
7	15	2110	2816	2790	1993	-1117	1097

Як бачимо, при насиченому ринку найкраще себе почувають компанії з високими показниками агресивності, адже збільшуючи штат і, як наслідок, обсяг виготовленої за одиницю часу продукції, вони отримують знижку на комплектуючі, що ставить їх у вигірне положення і дозволяє збільшити продажі, що в свою чергу призведе до збільшення інвестицій у обсяги виробництва.

Проте, при падінні попиту до початку скорочення виробництва, лідери ринку встигають накопичити на складах велику кількість продукції, яка не встигає реалізуватись, що суттєво збільшує витрати підприємства і призводить до його банкрутства. В такій ситуації найефективнішими є малі підприємства з невеликим штатом та мінімальною кількістю товару на складах, яке нисе низькі операційні витрати.

Таким чином, згідно з результатами експерименту, в поточній кризовій економічній ситуації вигідніше створювати невеликі підприємства, які потребують меншої кількості коштів на свою діяльність і зможуть перечекати падіння попиту.

Нижче наведено графік залежності фінансових показників оптимізованого підприємства та кращого на даний момент серед конкурентів від часу. (рис. 4.19)



Рис. 4.19 – Фінансові показники оптимізованого підприємства

Висновки до розділу

В процесі дослідження було побудовано агентну модель ринку виготовлення металопластикових вікон та змодельовано його поведінку в різних умовах ринкового середовища.

На графіках залежності обсягів виробництва та реалізації продукції від часу спостерігалися короткострокові економічні цикли Кітчина, які наявні в реальному світі та свідчать про правильність побудови моделі. Також було проведено оптимізаційні експерименти для пошуку оптимальної стратегії поведінки підприємства на ринку та показано перевагу обраної моделі поведінки. Станом на кінець другого місяця в умовах кризи (різкого падіння попиту) баланс оптимізованої моделі перевищив початковий на 10.3% в той час як решта учасників ринку понесли збитки у зв'язку з перевиробництвом продукції.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Завдання представляє собою моделювання роботи підприємств галузі економіки, що дозволяє оптимізувати їх роботу та обрати оптимальну стратегію поведінки для заданої кон'юнктури. Автором рекомендується його використання в офісах, обладнаних за принципом комп'ютерних аудиторій. Саме тому в даному розділі буде проведено опис такої аудиторії. Основний час інженер проводить у офісі за роботою комп'ютера. Тому основною метою даного розділу є спрогнозувати можливий вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів на фахівця у робочому приміщенні.

5.1 Аналіз умов праці в приміщенні, де експлуатується програмне забезпечення. Заходи з охорони праці

5.1.1 Опис приміщення

Розглянуте приміщення знаходиться на 6-му поверсі 9-поверхового будинку. Нижче наведено фактори, що характеризують приміщення (табл. 5. 1).

Таблиця 5.1 – Фактори, що характеризують офіс

Назва фактору	Характеристика
Вид	Робоча кімната
Розміри приміщення	6 м x 4 м x 3 м
Площа приміщення	24 м ²
Об'єм приміщення	72 м ³
Кількість працюючих	2
Наявність вентиляції	Природна (вікно, яке періодично відчиняється)
Тип підлоги	Не проводить струм, вкрита лінолеумом
Стіни	Пофарбовані водоемульсійною фарбою

Штучне освітлення	Світильники денного світла типу ЛПО 01, кожен містить по дві люмінесцентних лампи типу ЛДЦ 40, 3 шт.
Батарея	Радіатор центральної водяної системи опалення, що складається з 10 секцій, 1 шт.
Природне освітлення	Вікно: відчиняється; розміри 1,60 м x 1,80 м., 1 шт.

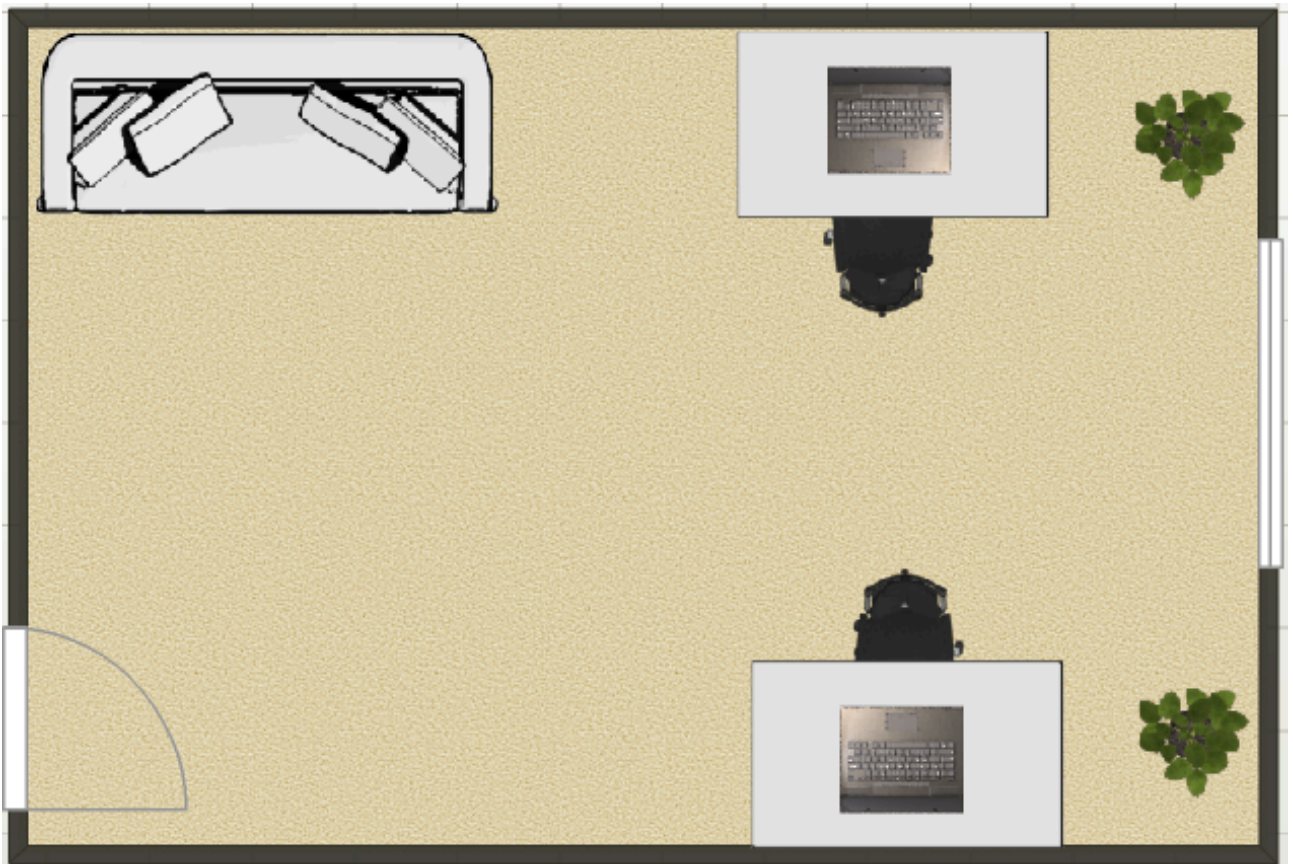


Рисунок 5.1 – План приміщення

Виходячи з відомих нам розмірів (план приміщення – див. рис. 5. 1), площа робочої кімнати складає $S_{\text{зар}} = 24 \text{ м}^2$, а об'єм – $V_{\text{зар}} = 72 \text{ м}^3$.

З них корисні площа та об'єм складають:

$$S_{\text{кор}} = 24 - (2 \times 1.3 \times 0.8) = 21.92 \text{ м}^2;$$

$$V_{\text{кор}} = 72 - (2 \times 1.3 \times 0.8 \times 1) = 69.92 \text{ м}^3$$

Площа та об'єм, що припадають на одного робітника розраховуються за формулами:

$$S_{[1..3]} = S_{\text{кор}} / 2 = 21.92 \text{ м}^2 / 2 \approx 10.96 \text{ м}^2,$$

$$V_{[1..3]} = V_{\text{кор}} / 2 = 69.92 \text{ м}^3 / 2 \approx 34.96 \text{ м}^3.$$

Нормативних значення та результати розрахунків відповідно до [25] приведені нижче (табл. 5. 2).

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків

Назва параметра	Нормативні значення	Реальні параметри
Площа (S), м ²	не менше 6 м ²	10.96
Об'єм (V), м ³	не менше 15 м ³	34.96
Відстань між робочими місцями між рядами, м	не менше 1,5 м	2.4
Відстань між робочими місцями у ряду, м	не менше 2,5 м	2.4
Відстань від монітору до стіни, м	не менше 1 м	0.3

З таблиці видно, що фактичні дані відповідають нормативним, окрім відстані між робочими місцями у ряду та відстані від монітору від стіни.

Пропонується перемістити робоче місце 1 ближче до дверей на 0,15 м, за рахунок чого збільшиться відстань між робочими місцями і становитиме 2,5 м, що відповідає нормі за [25]. Також необхідно переставити монітор.

5.1.2 Повітря робочої зони

Роботи, в офісі виконуються сидячи, не вимагають фізичного навантаження. Затрата енергії на їх виконання складає менше 120 ккал/ч, тому їх можна віднести до категорії 1а.

У табл. 5.3 приведено фактичні значення параметрів температури, відносної вологості та швидкості руху повітря на робочих місцях у кімнаті.

Таблиця 5.3 – Результати заміру параметрів мікроклімату в приміщенні

Параметри мікроклімату	в холодний період	в теплий період
Температура повітря t, °C	22 – 23	25 – 26*
Відносна вологість, %	48-53	55-57
Швидкість руху повітряних мас, м/с	0,1	0,15

* Дана температура спостерігається за природніх умов (без використання кондиціонера)

Для даної категорії робіт нормативним документом [30] передбачено наступні параметри мікроклімату (табл. 5. 4):

Таблиця 5.4 – Норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітряних мас на робочих місцях

Період	Категорія робіт	Температура повітря, t, °C	Відносна вологість, %	Швидкість переміщення повітря, м/с
холодний	Легка – Іа	22 – 24	40 – 60	0,1
теплий	Легка – Іа	23 – 25	40 – 60	0,1

Як бачимо порівнявши фактичні та нормативні значення мікроклімату – у теплий період року температура в приміщенні перевищує дозволу в нормативних документах, що обумовлено направленістю вікна на сонячну сторону.

У зв'язку з цим, для охолодження приміщення потрібно використати кондиціонер, наприклад, Cooper&Hunter CH-S12SRP потужністю 3,5 кВт та рівнем шуму 36 Дб. Даний кондиціонер має необхідну продуктивність по об'єму повітря, що подається до кімнати з урахуванням кількості постійно працюючих у кімнаті відповідно до нормативних вимог [31].

5.1.3 Виробниче освітлення

Для оцінки виробничого освітлення в кімнаті необхідно визначити вид освітлення, дослідити нормативні показники, що характеризують освітлення в умовах даного приміщення.

Основна частина роботи відбувається з текстом на екрані монітору та графічними зображеннями. Фон програми AnyLogic – білий, розмір об'єктів на моніторі (шрифт тексту) в середньому складає 2 – 3мм, розмір мінімальних об'єктів 1,5 мм. Таким чином, згідно з [29], такі роботи відносяться до розряду зорових робіт V (в), а саме до категорії робіт малої точності (табл. 4. 5).

Таблиця 5.5 – Параметри зорової роботи

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкту розрізнення, мм	Разряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту з фоном	Характеристика фону
Малої точності	від 1 до 5	V	В	середній	світлий
Штучне освітлення					
Освітленість при системі загального освітлення, лк			КПО		
150			1,8		

Природне освітлення здійснюється через вікно та являється боковим освітленням. Згідно з [25], природне освітлення повинно здійснюватись через світлові отвори, орієнтовані на північ чи на схід і забезпечувати коефіцієнт природного освітлення КПО не менше 1,8%.

Проводиться чищення скла вікон та світильників не менше двох разів на рік, а також замінюються перегорілі лампи по мірі їх виходу з ладу.

Для збереження зору працівників у хорошому стані необхідно робити невеликі перерви, щоб дати очам відпочити, а також дотримуватись визначеної відстані, на якій працівники повинні знаходитись від комп'ютера.[31]

5.1.4 Шум

Джерелом шуму в офісі є 2 персональних комп'ютери, шумові характеристики яких наведені в табл. 5. 6.

Таблиця 5.6 – Шумові характеристики джерела шуму

Джерела шуму	Шумові характеристики, дБА
жорсткий диск	L1.1 = 40 дБА
кулер процесора	L1.2 = 35 дБА
кулер відеокарти	L1.3 = 32 дБА
корпусний кулер	L1.4 = 19 дБА
кулер блока живлення	L1.5 = 17 дБА
монітор	L1.6 = 17 дБА

Визначимо рівень шуму, що створює один комп'ютер:

$$\begin{aligned}
 L_{\Sigma} &= 10\lg(10^{0,1L1.1} + 10^{0,1L1.2} + 10^{0,1L1.3} + 10^{0,1L1.4} + 10^{0,1L1.5} + 10^{0,1L1.6}) = \\
 &= 10\lg(10^4 + 10^{3,5} + 10^{3,2} + 10^{1,9} + 10^{1,7} + 10^{1,7}) = 10\lg(10\,000 + 3162 + 1584,8 + 79 + \\
 &+ 50 + 50) = 41,7 \text{ (дБА)}.
 \end{aligned}$$

Параметрами постійного шуму, що підлягають нормуванню, є рівні звукового тиску 8 дБ в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами 16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, рівні звуку 80 дБА згідно [30].

Допустимі значення октавних рівнів звукового тиску, рівнів звуку на робочих місцях в приміщеннях з комп'ютерною технікою слід приймати згідно з табл. 5. 7.

Таблиця 5.7 – Норми параметрів значення октавних рівнів

Призначення приміщення та умови	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами, Гц										Рівні звуку, дБА
	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Приміщення без роботи ЕОМ	–	–	63	52	45	39	35	32	30	28	40
Приміщення при роботі ЕОМ	85	75	67	57	49	44	40	37	35	33	45

Рівень шуму, який є допустимим для виробничого приміщення даного типу складає 50 дБА. Отже, по розрахункам ($L_{\Sigma} = 41,7$ дБА) дане приміщення відповідає нормі еквівалентного рівня шуму на робочому місці.

Для зниження шуму на шляху його розповсюдження передбачається розміщення в приміщенні штучних поглиначів.

5.1.5 Випромінювання

У приміщенні відсутні інфрачервоні, ультрафіолетові та електромагнітні випромінювання, бо усі монітори ПК вироблені на основі рідко-кристалічної матриці, підсвітка якої здійснюється неоновною лампою, що не має сильного електромагнітного випромінювання [28].

5.2 Напруженість праці користувача ПЕОМ

Виконувана робота являє собою моделювання роботи підприємств галузі економіки, що дозволяє оптимізувати їх роботу та обрати оптимальну стратегію поведінки для задоволення кон'юнктури.

Вхідними даними для розроблюваної системи є умови кон'юнктури та набір стратегій поведінки в них. Вихідним результатом є набір моделей та показники ефективності їх роботи, що дозволить обрати оптимальну стратегію поведінки.

Робота користувача ПЕОМ за показниками напруженості трудового

процесу відноситься:

1. за показником інтелектуального навантаження – належить до класу 3.1 та передбачає рішення складних задач за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій).
2. за емоційним навантаженням – належить до класу 1 (робітник несе велику відповідальність за готовність продукту).
3. за монотонністю навантажень – належить до класу 3.1 (5-3 прийоми).
4. за режимом праці – належить до класу 1 (7 годин).

Виходячи з цього, характер робіт можна віднести до класу 3.1 – Шкідливий (напружена праця). Тобто треба приділити увагу інтелектуальному та емоційному навантаженню. Характер робіт, виконуваних інтегратором програмного забезпечення є напруженим, емоційно навантаженим (через велику відповідальність).

Для зменшення інтелектуального навантаження рекомендується збільшити перерви та обладнати кімнату для відпочинку. Для покращення емоційного стану можна оздобити кімнату квітами.

5.3 Небезпека враження людини електричним струмом

Основними споживачами електроенергії являються ПК, монітори та джерела освітлення.

Ураження людини електричним струмом може трапитись у наступних випадках: торкання до відкритих струмопровідних частин, через струмопровідні елементи обладнання, що опинилися під напругою у результаті порушення ізоляції тощо.

У приміщенні офісу відсутні фактори підвищеної небезпечності ураження персоналу електричним струмом, відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура повітря не більше 35 °С, відсутні хімічно агресивні середовища.

Живлення електроприладів всередині приміщення здійснюється від трифазної мережі із заземленням, напругою 220 В та частотою 50 Гц з

використанням автоматів струмового захисту.

Використовувана мережева напруга – тільки змінна, 220 В, 50 Гц (допустимою є напруга 220 – 380 В при заземленій нейтралі та не більше 220 В при ізольованій нейтралі). Отже, реальні значення напруги та частоти відповідають нормативним.

У приміщенні використовуються наступні методи захисту: ізоляція струмопровідних частин приладів та захисне вимкнення (БП).

5.4 Пожежна безпека

В табл. 5.8 розглянемо характеристику приміщення по пожежній безпеці, вірогідні причини виникнення пожежі та заходи з допомогою яких можна їх уникнути.[32]

Таблиця 5.8 – Характеристика офісу по пожежній безпеці

Присутні в офісі горючі матеріали:	<ul style="list-style-type: none"> - волокнисті – папір, штори; - тверді – дерево; - електроустановки.
Можливі причини виникнення пожежі:	<ul style="list-style-type: none"> - недотримання правил пожежної безпеки; - коротке замикання; - використання не передбачених електроприладів; - в результаті перевантаження напруги, - розряди зарядів статичної електрики, - пошкодження обладнання та електропроводки
Клас пожежі	А, Е
По вибухонебезпечності офіс відноситься до категорії [10]:	В
Клас робочої зони офісу по пожежній безпеці [10]:	П-II а
Приміщення обладнано:	<ul style="list-style-type: none"> - переносним вогнегасником ОУ-2 (ТУ У 29.2-13485476-012-2003); - пожежним датчиком типу ДТЛ (площа, що захищається 20 м²).

Продовження таблиці 5.8

Заходи з пожежної безпеки:	<ul style="list-style-type: none"> - точне дотримання норм пожежної безпеки на робочому місці; - ретельна ізоляція усіх провідників струму; - у виробничому корпусі передбачено 5 виходів, що забезпечують евакуацію людей при пожежах; - навкруги виробничих корпусів – проїзди; - через кожні 5,0-7,5 м по ланцюгу зовнішнього водопроводу встановлені гідранти; - передбачений внутрішній протипожежний водопровід з витратами води 2,5 л/с; - із зовнішньої сторони будівлі передбачено встановлення пожежних сходів.
----------------------------	--

Проектом передбачено скрите прокладання проводки, під знімною підлогою є розділення негорючими діафрагмами, в малодоступних місцях.

Для гасіння пожежі у приміщенні передбачена водопровідна мережа, обладнана у вигляді системи стояків, на яких встановлені пожежні крани.

Будівля захищена від прямого удару блискавки за допомогою вертикально-стрижньового блискавковідводу, що складається з блискавкоприймача, заземлювача і струмопровідника антенного типу.

Усі співробітники ознайомлені з планом евакуації. У приміщенні заборонено палити і користуватися побутовими нагрівальними приладами.

5.5 Гігієнічні вимоги до організації і обладнання робочого місця

Перевіримо відповідність характеристик робочого місця нормативним. Робочий стіл на досліджуваному місці також містить достатньо простору для ніг. Крісло для сидіння, є підйомно-поворотним, має підлокітники і можливість регулювання за висотою і кутом нахилу спинки. Екран монітору знаходиться на відстані 0,7 – 0,8 м, клавіатура має можливість регулювання кута нахилу 5-15°. Отже, за всіма параметрами робоче місце відповідає нормативним вимогам [25].

На все обладнання є паспорти та інструкція по експлуатації, перекладена українською мовою. Відповідно супроводжувальній документації обладнання відповідає стандартам України і його можна використовувати без загрози здоров'ю та життю працюючого.

Основні вимоги до організації робочого місця з [25] і відповідні фактичні значення для робочого місця представлені у табл. 5.9.

Таблиця 5.9 – Характеристики робочого місця

Найменування параметра	Значення	
	нормативне	фактичне
Висота робочої поверхні, мм	680 ÷ 800	740
Висота простору для ніг, мм	не менше 600	700
Ширина простору для ніг, мм	не менше 500	750
Глибина простору для ніг, мм	не менше 650	710
Висота поверхні сидіння, мм	400 ÷ 500	500
Ширина сидіння, мм	не менше 400	420
Глибина сидіння, мм	не менше 400	420
Висота поверхні спинки, мм	не менше 300	700
Ширина опорної поверхні спинки, мм	не менше 380	450
Радіус кривини спинки в горизонтальній площині, мм	400	400
Відстань від очей до екрану дисплея, мм	700 ÷ 800	760

Висновки до розділу

Проведене дослідження показало, що дане приміщення офісу не відповідає усім вимогам, відповідно до робіт, що в ньому виконуються – відстань між робочими місцями замала. Проте мінімальна площа та об'єм із розрахунку на одну людину в приміщенні відповідає нормі.

Виходячи із таких невідповідностей, бажано було б збільшити відстань між робочими місцями у відповідності до норм [25].

Для підтримання параметрів мікроклімату в приміщенні для холодного періоду року розташований радіатор з системи центрального опалення. У зв'язку з підвищеною температурою у теплий період для охолодження приміщення потрібно встановити кондиціонер.

Дане приміщення відповідає нормі еквівалентного рівня шуму на робочому місці. У офісі також виконуються усі вимоги з пожежної безпеки, електробезпеки та мікроклімату.

Оскільки моделювання роботи підприємств потребує значної концентрації уваги, то для зниження напруженості праці необхідно, якщо це можливо, рівномірно розподіляти навантаження і раціонально чергувати характер діяльності. Щогодини рекомендується робити перерву на 5-10 хвилин, а через 2 години – на 15 хвилин. Для покращення емоційного настрою рекомендується встановити квіти у приміщенні.

Якщо збільшити відстані між робочими місцями, то обладнання офісу буде відповідати усім вимогам та дозволить комфортно працювати.

ВИСНОВКИ

Основним завданням даної дисертації було дослідження використання мультиагентних систем в задачі оптимізації роботи підприємств галузі.

В ході розробки дисертації дану задачу було розкрито повною мірою на прикладі проектування та реалізації агентних моделей ринку та проведення оптимізаційних експериментів над ними. Було встановлено, що мультиагентний підхід до задачі оптимізації економіки галузі значно перевершує традиційні методи в ефективності, адже дозволяє врахувати значно більшу кількість факторів та спрощує проведення оптимізаційних експериментів.

Перед реалізацією практичної частини було проаналізовано різні парадигми реалізації мультиагентних систем та обґрунтовано вибір середовища моделювання Anylogic.

В процесі дослідження було побудовано агентну модель ринку виготовлення металопластикових вікон та змодельовано його поведінку в різних кон'юктурах. На графіках залежності обсягів виробництва та реалізації продукції від часу спостерігалися короткострокові економічні цикли Кітчина, які наявні в реальному світі та свідчать про правильність побудови моделі. Також було проведено оптимізаційні експерименти для пошуку оптимальної стратегії поведінки підприємства на ринку та позано перевагу обраної моделі поведінки. Станом на кінець другого місяця в умовах кризи (різкого падіння попиту) баланс оптимізованої моделі перевищив початковий на 10.3% в той час як решта учасників ринку понесли збитки у зв'язку з перевиробництвом продукції.

Зважаючи на велику кількість фрагментів коду та наочного графічного матеріалу дана робота може слугувати базовим посібником по проектуванню та побудові мультиагентних систем моделювання галузі економіки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Письменний І. О. “Мультиагентні системи в моделюванні економіки”/ Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): праці міжнар. наук.-практ. конф., 12-15 травня 2015 р., Київ-Черкаси // М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка та [ін.]; наук. ред. В.Є. Снитюк. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. –с. 246
2. Рынок и конкуренция [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/areas/markets>. – Назва з екрана
3. Логистика и цепочки поставок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/areas/supply-chains>. – Назва з екрана
4. Производство [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/areas/manufacturing>. – Назва з екрана
5. Управление активами и анализ финансовых операций [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/consulting/asset-management-and-financial-operations>. – Назва з екрана
6. Склад и перевозки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/areas/transportation>. – Назва з екрана
7. Бизнес-процессы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/areas/business>. – Назва з екрана
8. ИТ инфраструктура и телекоммуникации [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/consulting/information-and-telecommunication-networks>. – Назва з екрана
9. Системи управління версіями [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://goo.gl/VBxMa>. – Назва з екрана.
10. Subversion [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Subversion..> – Назва з екрана.
11. Управління проектами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Управління_проектами. – Назва з екрана.

12. Діаграма Ганта [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Діаграма_Ганта. – Назва з екрана.
13. Письменний І. О. Розпізнавання поведінки користувача при створенні мультимодального інтерфейсу: дипломний проект бакалавра : 06.2013 / Письменний Ігор Олександрович. – К., 2013. – с. 16-21
14. Smart Python Agent Development Environment [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/javipalanca/spade>. – Назва з екрана.
15. Fabio Luigi Bellifemine, Giovanni Caire, Dominic Greenwood. Developing Multi-Agent Systems with JADE / Fabio Luigi Bellifemine, Giovanni Caire, Dominic Greenwood . Wiley, 2007. –Р. 1-40. – ISBN: 978-0-470-05747-6
16. A. Pokahr, L. Braubach, and W. Lamersdorf. Jadex: A BDI reasoning engine. In Bordini et al. [5], chapter 6, pages 149–174.
17. AnyLogic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>. – Назва з екрана.
18. Модель распространения продукта по Бассу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.ru/anylogic/help/index.jsp?topic=/com.xj.anylogic.help/html/SDT/Bass%20Diffusion%20Model.html>. – Назва з екрана.
19. Мисник Б. В. Особливості моделювання процесів функціонування виробничих підприємств на основі концепції «штучного життя» [Текст] / Б. В. Мисник // Міжнародний науково-теоретичний журнал «Штучний інтелект», Донецьк, 2010. – С. 430.
20. Письменний І.О. “Мультиагентні системи в моделюванні підприємств галузі” / Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, 22-25 червня 2015 р. // ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2015. – с. 167
21. Мисник Б. В. Математичне моделювання та формалізація основних потоків виробничого підприємства [Текст] / Б. В. Мисник // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2013. – № 4(63). – том 3.

22. Cycles and Trends in Economic Factors /Joseph Kitchin /The Review of Economics and Statistics//Vol. 5, No. 1 (Jan., 1923), pp. 10-16
23. Веремєнко І. А. Моделі і методи прогнозування та державного регулювання цін на ринку нафтопродуктів України: Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук: 2012 / Веремєнко І. А. – К., 2012 –с. 60
24. Гуревич Л. А., Вахитов А. Н. Мультиагентные системы [Текст] / Л. А. Гуревич, А. Н. Вахитов // Введение в Computer Science. – 2005. –с.116-139.
25. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98 (затверджено Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.1998 р. № 7) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. — Назва з екрана.
26. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. НАПБ Б.03.002-2007. (затверджено наказом МНС України від 03.12.2007 № 833) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/normi-viznachennja-kategorii-primishen-budinkiv-ta-zovnishni-nor7322.html> — Назва з екрана.
27. Параметри сучасних РК-моніторів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fcenter.ru/online/hardarticles/monitors/10071#12>. — Назва з екрана.
28. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. НПАОП 0.00-1.28-10 (затверджено наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 26.03.2010р. № 65) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/pravila-ohoroni-praci-pid-chas-ekspluatatsiyi-elektronno-obch-nor17970.html> — Назва з екрана.
29. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. ДСН 3.3.6.037.99 (затверджено Постанова Головного Державного санітарного

- лікаря України від 1.12.1999 р. № 37) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1789>. — Назва з екрана.
30. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСН 3.3.6.042-99 (затверджено Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 1.12.1999 р. № 42) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>. — Назва з екрана.
31. Природне і штучне освітлення. ДБН В.2.5-28-2006 (затверджено Наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 15 травня 2006 р. № 168) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.info-build.com.ua/normativ/detail.php?ID=45079>. — Назва з екрана.
32. Пожежна безпека на об'єктах будівництва ДБН В.1.1.7–2002 (затверджено наказом Держбуду України від 03.12. 2002 р. № 88)
33. S. Railsback and V. Grimm. /Agent-based and Individual-based Modeling: A Practical Introduction. // Princeton University Press, 2011.
34. Odd Myklebust, Enterprise Modelling supported by Manufacturing Systems Theory: Doctoral dissertation, Norwegian University of Science and Technology Department of Production- and Quality Engineering.
35. Mark S. Fox and Michael Gruninger/ Enterprise Modeling //AI MAGAZINE, Fall 1998