

## РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

**Васильченко К. Г.**, кандидат економічних наук, старший викладач кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій, Одеський національний економічний університет, м. Одеса, Україна  
e-mail: abm.kgvas@gmail.com  
ORCID:0000-0002-5377-7855

**Листопад Н. Д.**, студент факультету менеджменту, обліку та інформаційних технологій, Одеський національний економічний університет, м. Одеса, Україна  
e-mail: nikita12312123@gmail.com  
ORCID:0000-0003-2337-6900

***Анотація.** У статті розглянуто рівень розвитку програмного забезпечення для моделювання економічних процесів. Сформульовано основні технологічні переваги AnyLogic перед іншими системами моделювання економічних процесів. Названо переваги застосування штучного інтелекту у моделюванні економіки. Розглянуто обраний AnyLogic шлях інтеграції штучного інтелекту зі своїм програмним забезпеченням. Описано переваги та недоліки Project Bonsai від Microsoft. Було визначено можливі шляхи розвитку AnyLogic. Розглянуто переваги та недоліки інтеграції AnyLogic та Project Bonsai. Зроблено висновки щодо перспектив розвитку AnyLogic у сфері використання штучного інтелекту у моделюванні економіки.*

***Ключові слова:** AnyLogic, штучний інтелект, моделювання економіки, Project Bonsai, агентне моделювання.*

## EXPANDING THE POSSIBILITIES OF ECONOMIC PROCESSES MODELING WITH MODERN SOFTWARE

**Vasylychenko Kyrylo**, PHD in Economy, lecturer of the Department of Economic Cybernetics and Information Technologies, Odessa National Economic University, Odessa, Ukraine  
e-mail: abm.kgvas@gmail.com  
ORCID:0000-0002-5377-7855

**Lystopad Nikita**, student of the Faculty of Management, Accounting and Information Technology, Odessa National Economic University, Odessa, Ukraine  
e-mail: nikita12312123@gmail.com  
ORCID:0000-0003-2337-6900

***Abstract.** Purpose. Examine ways of upgrading economic processes modeling tools and examine AnyLogic's level of development in this topic. To achieve this goal, methods of collecting and summarizing information were used. Methods of abstraction, deduction, induction and modelling were used. In the course of the research a logical method was used, which made it possible to analyze scientific works in the field of economic modeling. Graphical methods are also used in comparative. The research is based on articles by different scientists and journalists. The conclusion about ways of upgrading economic modeling tools is made. Importance of artificial intelligence is explained. Obsolescence of object-oriented development in economic modelling is determined. Ways of the integration AI with AnyLogic are researched. Advantages and disadvantages of integration AnyLogic and Project Bonsai are formulated. Perspectives of future development of AnyLogic in the way of integration artificial intelligence in economic modelling are determined. Main area of Project Bonsai application in economic modelling is revealed. Possibility of integration existing paradigm with the most promising one is declared. Scientific novelty. The way of integration artificial intelligence in economic modelling, chosen by AnyLogic, is analyzed. Practical importance is to use all designated advantages of co-working with Microsoft and neutralize all designated disadvantages of Project Bonsai. In work on the developed task, essence, principles of economic modelling how to make best competitive economic modelling software and get develop faster than rivals. Possible ways of development in next 5-10 years are offered. Things to pay attention to in nearby future are determined. Way to get additional profit are offered.*

***Keywords:** AnyLogic, artificial intelligence, economic modelling, Project Bonsai, agent-based modelling.*

**JEL Classification:** C880, C450, C610.

**Постановка проблеми.** Розвиток інформаційних технологій збільшує можливості для моделювання економічних процесів за допомогою програмного забезпечення [1].

Комп'ютерне моделювання складних економічних систем є інструментом щодо якого досі не визначено повних можливостей. Нині найбільш популярним програмним забезпеченням для моделювання економіки є такі засоби як AnyLogic, Simio, Witness, JaamSim та FlexSim. Їх поєднує той факт, що усі вони на рівні вихідного коду для програмування використовують об'єктно-орієнтовану парадигму. Тепер більшості сучасних мов програмування підтримують цю парадигму або повністю залежать від неї [2].

Однак, поряд з великою кількістю можливостей об'єктно-орієнтованого програмування, існує проблема недостатньої функціональності агентів у цих моделях, якщо порівнювати їх з реальними економічними суб'єктами [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливий внесок у дослідження питань, пов'язаних із системами моделювання економіки, зробили такі вчені та фахівці як З. Н. Соколовська, А. О. Нестеренко, Ю. О. Пшеничний, І. М. Чорней, Н. Б. Шаховська, В. В. Литвин та ін. Моделі, створені на базі AnyLogic, найчастіше відповідають більшості запитів їх авторів [4].

**Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Але в масштабах економіки країни чи всього світу небагато вчених використовують AnyLogic для моделювання складних економічних систем.

**Мета дослідження.** Метою статті є дослідження шляхів підвищення ефективності моделей, створених на базі засобу імітаційного моделювання компанії AnyLogic, та збереження компанією конкурентних переваг завдяки інтеграції із системами штучного інтелекту.

**Основний матеріал.** AnyLogic заснований на Java та платформі Eclipse, яка є сучасним стандартом для бізнес-додатків. Завдяки віртуальній машині Java AnyLogic спроможний однаково працювати на всіх можливих операційних системах, що робить програмний засіб універсальним для розробки та використання. Також AnyLogic має внутрішню систему контролю версій та спільну розробку моделей групою фахівців.

AnyLogic підтримує багато різних видів експериментів з моделями: простий експеримент, варіювання параметрів, калібрування моделі, експеримент методом Монте-Карло тощо. Програма має вбудовані засоби аналізу даних та великий набір для презентації роботи моделі: палітру для відображення статистичних даних, графіки, діаграми, анімацію, графічний інтерфейс та ін. Саме тому AnyLogic можна вважати одним з найефективніших засобів комп'ютерного моделювання економіки.

Також в AnyLogic реалізовано агентно-орієнтований підхід до моделювання економіки. Такий підхід дає змогу розробникам моделей створювати «розумного» учасника експерименту [5]. Але найчастіше ці агенти є лише набором деяких змінних та можуть виконувати тільки вкладені у них алгоритми. Агент виконує дії виходячи з взаємодії з оточуючим його середовищем. Елементами такого середовища можуть бути різні об'єкти моделі, інші агенти тощо. Агент також може модифікувати середовище виходячи зі своїх потреб при правильній реалізації таких функцій. Але, незважаючи на всі перелічені можливості, агент все ще залишається набором функцій, які в нього закладає розробник. Агент не може змінюватися самостійно під дією середовища без втручання розробника, якщо розробник не заклав таких функцій в агента. Також моделювання поведінки агента для точної роботи моделі має бути дуже детальним на рівні теоретичної розробки моделі.

Корисність штучного інтелекту важко переоцінити [6]. Лише за попередній рік штучний інтелект допоміг Міжнародному резервному банку заробити більше півмільярда доларів [7], а у Кембриджському університеті команда молодих вчених розробила прототип штучного інтелекту для біржі, який передбачив падіння фунта стерлінгів після Brexit. У цей проект після шаленого успіху вже було залучено більш ніж півмільярда доларів. Водночас Bank Innovation розробляє систему машинного навчання, яка передбачає банкрутство різних компаній та, у можливого майбутньому, буде передбачати дефолти різних країн та великі економічні кризи [8].

Усе це дає можливість зробити висновок, що у майбутньому штучний інтелект буде дуже важливою частиною економічного сектору і за різними прогнозами вже у 2030 році лише за рахунок штучного інтелекту світова економіка зросте на \$15.7 трлн.

Саме тому для розвитку AnyLogic як провідного програмного забезпечення у сфері моделювання економіки необхідно переходити від простого агентного моделювання до більш розвинутого штучного інтелекту.

З недавнього часу у AnyLogic стала доступною функція інтеграції своєї моделі до платформи Bonsai від Microsoft, що значно полегшує роботу з моделями, заснованими на штучному інтелекті. Project Bonsai від Microsoft – це платформа, що дає змогу розробляти

системи підтримки прийняття рішень та інші корисні у підприємстві програми, які мають за основу штучний інтелект.

У цій платформі є можливість підключити свою програму до

API-клієнта, причому підтримуються програми, написані на C++, TypeScript та Java. Саме з останнім AnyLogic тісно пов'язаний, що означає, що для використання цієї платформи розробнику моделі на AnyLogic не доведеться вивчати додаткові мови програмування. Такий підхід дуже полегшує роботу зі штучним інтелектом у AnyLogic.

Штучний інтелект Project Bonsai був реалізований за допомогою однієї з найпростіших з погляду синтаксису мов програмування – Python. Також вихідний код штучного «мозку» є у вільному доступі, що робить цей проект не тільки корисним, а й повчальним для тих, хто зацікавлений у штучному інтелекті [8].

Project Bonsai використовує методи навчання з підкріпленням (Reinforced Learning) [9], які засновано на ідеї представлення проблем як марківського процесу прийняття рішень. На конференції від Microsoft у 2020 році цей штучний інтелект використовувався як агент, що приймає рішення у моделі заводського цеху (рис. 1).

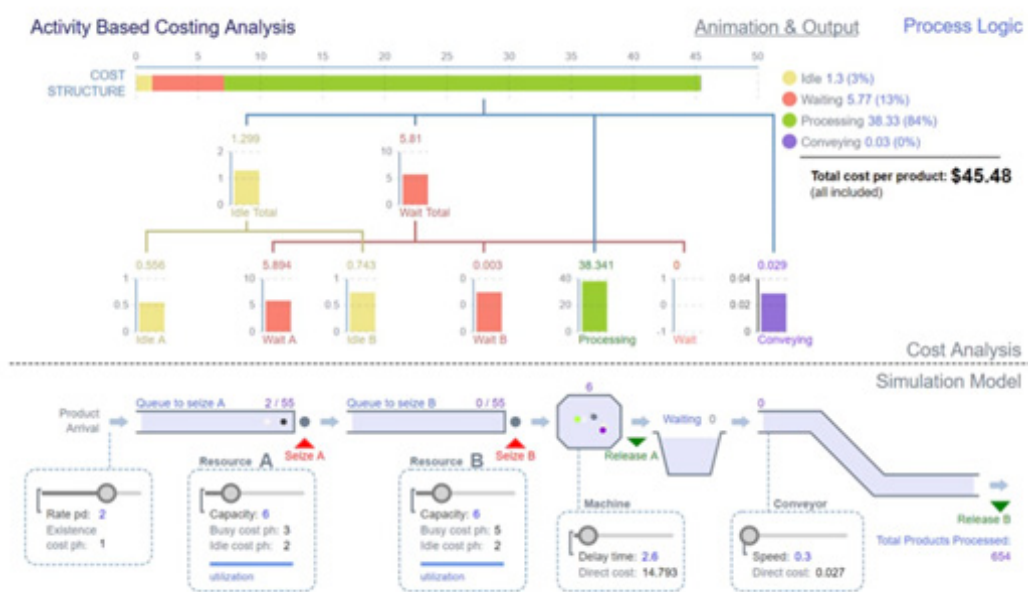


рис. 1 модель роботи заводського цеху, яка реалізована у AnyLogic

Джерело: складено авторам за матеріалами [10]

У грудні 2020 року PepsiCo вже використовувала Project Bonsai під час виробництва Cheetos задля уніфікації структури та якості снеку.

Project Bonsai – це технологія штучного інтелекту, яку створено для забезпечення роботи інтелектуальних промислових систем управління. Навчання штучного інтелекту здійснюється на підставі експериментів з розробленою комп'ютерною моделлю [10]. Економічна направленість з погляду використання у моделюванні дає змогу відкинути непотрібні функції та зосередитися на аналізі економіки, що уможливлює акцентування на питаннях, які безпосередньо пов'язані з економікою. Такий підхід робить Project Bonsai найбільш вдалим рішенням для AnyLogic [11].

Також у Bonsai Project є засоби сполучення зі штучним інтелектом не тільки для тих, кому необхідно інтегрувати штучний інтелект у свою модель, а і для тих, кому він потрібен для своїх цілей. Серед таких засобів можна виділити:

- 1) Bonsai-batch – набір інструментів, які допоможуть масштабувати симулятори за допомогою пакетної служби Microsoft Azure;
- 2) Bonsai-common – фреймворк для Python для інтеграції джерел даних із «мозком»;
- 3) Bonsai – підтримка прийняття рішень – інтерфейс – приклад інтерфейсу розгортання підтримки прийняття рішень для «мозку»;
- 4) Data driven model – шаблон для навчання симуляторів на базі даних [6].

Такий підхід до інтеграції штучного інтелекту у моделювання економіки має декілька переваг перед розробкою свого штучного інтелекту.

По-перше, економія ресурсів. Розробка штучного інтелекту у будь-якій формі потребує спеціалізованих розробників для створення та підтримки проекту. Microsoft – насамперед ІТ-гігант на сучасному ринку, тому йому набагато легше знайти команду для розробки універсального штучного інтелекту. Отже, інтеграція з Microsoft дозволяє зекономити час та кошти і бути впевненими у надійності цього продукту. По-друге, дефіцит економістів, які можуть теоретично розробити економічну модель, здатні використати мову програмування для її реалізації. А таких економістів, які здатні реалізувати штучний інтелект, взагалі майже нема. Отже рішення залишити реалізацію штучного інтелекту професіоналам, а користувачам надати можливість розробити комфортний інтерфейс та систему інтеграції зі стороннім проектом – один із способів збільшити можливості AnyLogic, без підвищення за цих обставин порога входження.

Створений за допомогою Bonsai штучний інтелект може або забезпечувати керівництво оператором, або приймати незалежні рішення для оптимізації змінних процесів, підвищення ефективності виробництва та скорочення часу простою.

Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє користувачам створювати штучний інтелект, використовуючи свої знання та досвід, не вимагаючи додаткових знань про машинне навчання. Інтерфейс Bonsai дає користувачеві повне розуміння того, як штучний інтелект підтримує ваш процес, і на підставі чого штучний інтелект приймає конкретні рішення з того чи іншого завдання і чому дає саме такі рекомендації.

У листопаді 2020 року проект з інтеграції AnyLogic та Project Bonsai було запущено і взяти у ньому участь можуть будь-які користувачі AnyLogic, які безпосередньо мають доступ до Project Bonsai.

З іншого боку виникають труднощі, які пов'язані з оновленням існуючих версій програм. Такі затримки в оновленнях і стабілізації роботи з штучним інтелектом у AnyLogic не можуть бути вирішені розробниками, бо вони залежать від розробників Project Bonsai. Така залежність може стати великою проблемою у майбутньому, адже, хоча у стабільності компанії Microsoft сумніваються одиниці, якщо компанія забажає згорнути проект, AnyLogic залишиться зовсім без штучного інтелекту.

Також проблемою може стати той факт, що набір можливостей штучного інтелекту, який діє у AnyLogic, переважно визначається розробниками Microsoft. Це є обмеженням у ситуації, коли розробнику моделі необхідно задати деякий функціонал для штучного інтелекту, що виходить за рамки визначеного. Тому вирішення питання розробки штучного інтелекту фахівцями AnyLogic є вигіднішим для користувачів.

Економічним аспектом проблеми є втрачання компанією AnyLogic потенційного прибутку через те, що Project Bonsai розроблений Microsoft. Оскільки доступ до Bonsai поки що не є повністю безкоштовним, для повноцінної роботи користувачеві необхідно буде купити не лише комерційну версію AnyLogic, але й підписку на сервіси Microsoft, що не завжди зручно. Також для споживача вигідніше було б купити підписку на AnyLogic, в яку входив би доступ до штучного інтелекту. Саме тому AnyLogic втрачає потенційний прибуток.

На нинішньому етапі розвитку Project Bonsai є штучним інтелектом з обмеженим функціоналом. Незважаючи на це, інтеграція із дуже перспективним проектом відкриває нові можливості для AnyLogic. Оскільки проект тільки нещодавно почався, розробники AnyLogic вже зараз мають можливість зробити інтеграцію із цим штучним інтелектом ексклюзивом AnyLogic. Тісна співпраця з Microsoft зараз може підштовхнути AnyLogic для розвитку у наступні 5-10 років [11].

**Висновки.** На нинішньому етапі розвитку AnyLogic інтеграція штучного інтелекту у програму є не ілюзорним майбутнім, а цілком логічним та навіть необхідним кроком. Саме тому компанією The AnyLogic Company було прийнято правильне рішення щодо інтеграції штучного інтелекту зі своїм продуктом. Обраний компанією шлях має свої переваги, але і деякі недоліки. Робота з усунення недоліків має виконуватися вже на стадії тестування проекту, щоб у майбутньому AnyLogic не втратив своїх конкурентних переваг. Також обраний шлях відкриває нові перспективи для AnyLogic, які слід використати для збереження конкурентних переваг. Загалом лише час зможе показати правильність обраного компанією шляху.



## Список літератури

1. Офіційний сайт AnyLogic. URL: <http://www.xjtek.ru/> (дата звернення 20.04.2022).
2. Офіційний сайт Python. URL: <https://www.python.org/> (дата звернення 20.04.2022).
3. Старобор І. О. Використання машинного навчання в розробці ігрових механік. URL: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QQATvaSnSjMJ:https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/download/1764/pdf+&cd=3&hl=uk&ct=clnk&gl=ro> (дата звернення 28.07.2021)
4. Сторчак К. П., Тушич А. М., Козелкова К. С., Степанов М. М. Інтелектуальний аналіз даних з використанням нейронних мереж Зв'язок. 2018. №4. С.17-19.
5. Лавренюк М. С., Новіков О. М. Огляд методів машинного навчання для класифікації великих обсягів супутникових даних. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2018. №1. С.52-71.
6. Gara A. Kensho's AI for investors just got valued at over \$500 million in funding round from Wall Street. Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/antoinegara/2017/02/28/kensho-sp-500-million-valuation-jpmorgan-morgan-stanley/?sh=c7533775cbf1> (дата звернення 18.04.2022).
7. Консолідована фінансова звітність та консолідований звіт управління НБУ. URL: [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/NBU\\_2020\\_consolidated\\_fsu.pdf?v=4](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/NBU_2020_consolidated_fsu.pdf?v=4) (дата звернення 05.03.2022).
8. Alotaibi N. M. Agent-based big data classification. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2018. Vol.10. № 4. Pp. 258-264.
9. Офіційний сайт Project Bonsai. URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/project-bonsai/> (дата звернення 20.04.2022).
10. Офіційний сайт AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.ru/features/timeline/> (дата звернення 20.04.2022).
11. Офіційний сайт Microsoft. URL: <https://blogs.microsoft.com/ai-for-business/anylogic-project-bonsai/> (дата звернення 20.04.2022).

## References

1. Official site of AnyLogic. (2022). Retrieved from:<http://www.xjtek.ru/>
2. Official site of Python. (2022). Retrieved from: <https://www.python.org/>
3. Starobor I.O. (2021). The use of machine learning in the development of game mechanics. URL: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QQATvaSnSjMJ:https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/download/1764/pdf+&cd=3&hl=uk&ct=clnk&gl=ro> [In Ukrainian].
4. Storchak K.P., Tushych A.M., Kozelkova K.S., Stepanov M.M. (2018). Intelligent analysis of data using neural networks. *Communication*, 4, 17-19. [In Ukrainian].
5. Lavreniuk M.S., Novikov A.M. (2018). Overview of machine learning to classify large volumes of satellite data. *System research & information technologies*. 1. 52-71. [In Ukrainian].
6. Gara, A. (2017). Kensho's AI for investors just got valued at over \$500 million in funding round from Wall Stree. Forbes. Retrieved from: <https://www.forbes.com/sites/antoinegara/2017/02/28/kensho-sp-500-million-valuation-jpmorgan-morgan-stanley/?sh=c7533775cbf1>
7. Consolidated financial statements and consolidated report of the NBU Department (2020). Retrieved from [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/NBU\\_2020\\_consolidated\\_fsu.pdf?v=4](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/NBU_2020_consolidated_fsu.pdf?v=4) [In Ukrainian].
8. Alotaibi N.M. (2018). Agent-based big data classification. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. Vol. 10, No. 4., 258-264.
9. Official site of Project Bonsai (2022). Retrieved from: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/project-bonsai/>
10. Official site of AnyLogic (2022). Retrieved from: <https://www.anylogic.ru/features/timeline/> [In Russian].
11. Official site of Microsoft (2022). Retrieved from: <https://blogs.microsoft.com/ai-for-business/anylogic-project-bonsai/>