

МУЛЬТИАГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОСЛІДОВНИХ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ЯПОНСЬКИХ АУКЦІОНІВ

Досліджуються особливості моделювання аукціонів з точки зору імітаційного (мультиагентного) моделювання. Наводиться характеристика аукціонів як об'єкта моделювання. Виконується постановка задачі та пропонується метод побудови механізму проведення послідовних багатоелементних японських аукціонів, який забезпечує використання агентами домінуючих стратегій та дозволяє побудувати оптимальний аукціон. Експериментально підтверджується ефективність запропонованого метода.

Ключові слова: моделювання, японський аукціон, дизайн механізму, агент, домінуючі стратегії.

Вступ

Однією з актуальних проблем, що активно досліджується у світі, є моделювання аукціонів. Актуальність цього напрямку досліджень є наслідком сучасних загальносвітових тенденцій. По-перше, з розвитком Інтернет-технологій з'явилися та поширилися різноманітні on-line аукціони (е-аукціони – наприклад, eBay.com, tcwc.com, iauction.com, klik-klok.com). По-друге, теорія аукціонів, як розділ теорії ігор, на сьогоднішній день дала поштовх багатьом напрямкам фундаментальних досліджень: від досліджень з розробки методів цінового формування в різних галузях господарства (з урахуванням конкуренції та монополізації ринків) до досліджень, орієнтованих на нецінові проблеми розподілу, які в тому числі включають і так звані «війни на виснаження», дослідження механізмів моделювання яких на сьогодні є вкрай важливим і для України.

Зріст інтересу до цих проблем також підтверджується множиною виданих за останні роки книг (наприклад, [1–7]), та присудженням Нобелівської премії з економіки у 1996 та 2007 рр. за результати саме з галузі теорії аукціонів. Зазначимо, що в економіці теорія ігор вивчає функціонування економічних систем за умов «недосконалого ринку» й ігрові моделі аукціонів, зокрема, є прикладами успішного використання ігрового підходу в економіці.

На сьогоднішній день у світі існує два домінуючих підходи щодо використання мультиагентного підходу для

моделювання аукціонів: моделювання е-аукціонів та моделювання переговорів у мультиагентних системах на основі аукціонів. Якщо при моделюванні е-аукціонів [8], як правило, моделюється лише механізм аукціону зі сторони аукціоніста (тобто дії покупців не моделюються, а реєструються як зовнішні дії), то при моделюванні переговорів на основі аукціонів [9, 10], в рамках яких агенти конкурують за ресурси або послуги, відбувається моделювання всіх учасників аукціону. Водночас, незважаючи на існуючі досягнення, за межами досліджень, на наш погляд, залишається розгляд мультиагентного моделювання аукціонів з точки зору імітаційного моделювання динамічних систем. Пропонуванню одного з можливих підходів до такого моделювання аукціонів і присвячено дану статтю.

1. Загальна характеристика аукціонів як об'єкта моделювання

1.1. Загальні відомості про аукціони та їх сутність. Аукціон (від латинського *auctio* – продаж з публічного торгу) – це спосіб продажу деяких товарів за цінами, що встановлюються покупцями за результатами торгів. Аукціон – це процедура, за результатами якої приймається рішення про те, кому передати лот і скільки переможець має заплатити. Учасники повідомляють про свою готовність платити і указане рішення приймається виключно на основі отриманих сигналів.

Всі товари попередньо ділять на лоти (стандартні за кількістю та іншим озна-

кам партії товарів). Лотом може бути і одиничний товар. Кожний лот має свій номер (ідентифікатор), під яким він представлений на торгах.

Продавець в аукціонах може встановити *резервну* і *початкову* ціни. Резервна ціна характеризує цінність товару для продавця. Початкова ціна – це ціна, з якої починається торг. Якщо резервна ціна оголошується перед початком аукціону, вона стає початковою ціною. Якщо торги проводяться з початкової ціни і заключна ціна (ціна продажу) становить значення, менше за резервну ціну, лот знімається з продажу. Організатор аукціону встановлює також крок торгів. Величину кроку торгів доцільно ув'язувати з початковою ціною, оскільки при початковій ціні, близької до вартості об'єкта, та великим кроком торгів аукціон може виграти учасник з не самою високою оцінкою об'єкта.

Розрізняють два основних критерії якості аукціонної процедури – ефективність та оптимальність. Аукціон називають *ефективним*, якщо об'єкт достається учаснику з найвищою оцінкою. Аукціон є *оптимальним*, якщо він максимізує очікуваний прибуток продавця.

1.2. Типи аукціонів. Обґрунтування вибору досліджуваного типу аукціону. На сьогоднішній день відомі чотири основних типи аукціонів:

- *англійський аукціон* (відкритий аукціон з підвищенням ціни). Цей тип аукціону здійснюється в реальному масштабі часу за безпосередньою участю гравців (усний аукціон) або інтерактивно у віддаленому доступі (за електронними торгами). При цьому аукціоніст виходить з низької початкової ціни за лот (деякий товар) та поступово підвищує ціну, в процесі чого претенденти, не спроможні оплатити товар за поточною ціною торгів, вибивають, поки єдиний претендент не залишиться, який і виграє (придбає аукціонний товар) за остаточною ціною;

- *голландський аукціон* (відкритий аукціон зі зниженням ціни). Цей тип аукціону також здійснюється в реальному масштабі часу, але, на відміну від англійського аукціону, аукціоніст починає з ви-

сокої початкової ціни за лот та поступово знижує її до тих пір, доки деякий претендент не буде згоден оплатити ціну лота за поточною ціною торгів. Ця ціна і є остаточною ціною торгів. Назва даного типу аукціону походить від аукціонів, що проводяться в Голландії при оптовій торгівлі квітами;

- *закритий аукціон першої ціни*. При цьому типі аукціону кожний з претендентів одночасно подає аукціоністу «запечатану пропозицію» з вказівкою пропонованої ціни за лот. В свою чергу, аукціоніст, одночасно відкриваючи наявні пропозиції, визначає покупця, яким виявляється той, хто запропонував найвищу ціну. Ця ціна і є остаточною ціною торгів;

- *закритий аукціон другої ціни* (аукціон Вікрі). Цей тип аукціону подібний до аукціону першої ціни і переможцем торгів також вважається той покупець, який запропонував найвищу ціну за лот, але переможець платить ціну, яка є другою найвищою ціною зі всіх пропозицій, що надійшли. Даний тип аукціону названий у честь його автора, Нобелівського лауреата Вільяма Вікрі.

Традиційно [1] при теоретичному дослідженні аукціонів розглядають різновид англійського аукціону, який називається *японським аукціоном*, та полягає у тому, що ціна за лот підвищується безперервно з постійним ціновим кроком торгів, і претенденти, які не спроможні оплатити лот за поточною ціною, вибувають остаточно. Кожний з претендентів приймає участь у торгах з початку торгів, жодний інший потенційний учасник не може увійти до торгів у процесі їх проведення; жодний претендент не може різко підвищити ціну шляхом пропонування «підвищеної ставки». Далі в наших дослідженнях ми будемо розглядати саме *японський аукціон*.

Для кожного з названих типів аукціону можуть існувати різні аспекти розгляду, пов'язані з особливостями проведення аукціону. За цією ознакою аукціони можна розподілити на одноелементні (single-unit) та багатоеlementні (multi-unit), де під одноелементними розуміються аукціони, на яких на протязі досліджуваного

проміжку часу торгується один неподільний лот (single indivisible unit); відповідно під багатоелементними – аукціони, на яких на протязі досліджуваного проміжку часу торгується багато неподільних лотів. Зазначимо [1], що на сьогоднішній день переважна більшість досліджень присвячена одноелементним та багатоелементним аукціонам для випадку, коли кожний покупець претендує лише на один лот з багатьох пропонувананих.

Для багатоелементного аукціону має значення організація процесу торгівлі. Відповідно до цього існують одночасні (simultaneous) та послідовні (sequential) багатоелементні аукціони, розбіжність між якими впливає з їх назв: якщо одночасні аукціони передбачають одночасний незалежний продаж m лотів на різних аукціонах, то послідовні аукціони передбачають продаж m лотів на аукціонах, які проводяться послідовно в часі (тобто послідовно проводиться m аукціонів).

1.3. Визначення основних властивостей досліджуваних аукціонів як різновиду ігор. Визначимо властивості ігор, які ми будемо розглядати, виходячи з класифікації ігор. Як відомо [11], ігри класифікуються наступним чином:

- за кількістю гравців: ігри 1; 2; n гравців;
- за кількістю стратегій: скінченні та нескінченні ігри. Якщо у гравців скінченна кількість стратегій, то така гра є скінченною, в іншому випадку – нескінченною;
- за характером взаємовідносин між гравцями: кооперативні та некооперативні ігри. В кооперативній грі гравці можуть заключати угоди з метою збільшення своїх вигащів, в некооперативній – ні;
- за кількістю ходів: одноходові та багатоходові. Багатоходові поділяються на:
 - позиційні, коли декілька гравців послідовно виконують ходи і вигащ гравців залежить від стратегії вибору ходів (наприклад, шашки, шахи);
 - стохастичні, коли в грі є ходи, які виконуються випадковим чином та існує ймовірність повернення на попередні

позиції;

– диференційні, коли ходи виконуються безперервно і поведінка гравців описується диференційними рівняннями.

- за інформованістю гравців: ігри з досконалою та недосконалою інформацією. У грі з досконалою інформацією на кожному кроці гравцям відомо, які ходи були зроблені раніше (наприклад, шашки, шахи). У грі з недосконалою інформацією гравці можуть не знати, в якій позиції вони знаходяться (що відповідає, наприклад, стохастичним іграм). До ігор з недосконалою інформацією зводяться ігри з неповною інформацією (також відомі як байєсовські ігри). На відміну від ігор з недосконалою інформацією, де неповна інформованість гравців виникає у процесі гри, в іграх з неповною інформацією неповна інформованість деяких гравців виникає ще до початку гри, як наслідок асиметричної інформованості гравців (наприклад, на аукціоні покупець знає про якість товару менше, ніж продавець).

Отже, ігри, на основі яких ми будемо досліджувати проблеми моделювання аукціонів, мають наступні властивості: за кількістю гравців – n гравців; за кількістю стратегій – скінченні стратегії; за характером взаємовідносин між гравцями – некооперативні ігри; за кількістю ходів – багатоходові позиційні; за інформованістю гравців – ігри з досконалою та неповною інформацією (гравцям відомі попередні ходи, але невідомі майбутні ходи ані свої, ані чужі; жодний з гравців не має інформації про гроші, наявні в інших гравців, та про розподіл їх уподобань щодо товарів, які продаються на аукціоні).

При моделюванні аукціонів також вирішується задача *дизайну механізму* («mechanism design») аукціону [7, 11, 12]. Дизайн механізму – це розділ теорії ігор, в якому вивчаються конфліктні ситуації з вираженою стратегічною поведінкою всіх гравців, щодо яких необхідно визначити правила прийняття рішень та здійснення платежів таким чином, щоби рівноважним став такий наслідок, в якому досягає свого максимуму деяка функція соціального вибору. Традиційно в основі дизайну механізму лежить *принцип правдивості*

(truthfulness), який дозволяє обмежитись пошуком тільки такого механізму, який спонукає всіх гравців чесно повідомляти свої типи.

Сутність задачі дизайну механізму полягає у наступному: необхідно побудувати механізм, в якому той чи інший рівноважний стан системи буде оптимальним відносно тієї чи іншої мети. В загальному випадку у якості мети виступає *функція соціального вибору*, під якою розуміється функція $f : T_1 \times \dots \times T_n \rightarrow O$, яка обирає той чи інший бажаний результат $f(t)$ при даних типах $t = (t_1, \dots, t_n)$ гравців. Тобто функція соціального вибору – це те, що необхідно отримати від механізму, який розробляється. Але при цьому кожний гравець буде намагатися використовувати *домінуючі* стратегії (тобто максимізувати власний прибуток), і ці зворотні задачі необхідно узгодити. Саме на рішення цієї задачі і націлене поняття дизайну механізму.

1.4. Деякі узагальнення. На основі викладеного можна зробити наступні висновки щодо об'єкта моделювання:

1. Як об'єкт моделювання доцільно вибрати *послідовні багатоелементні японські аукціони*, в яких кожний покупець може претендувати на k лотів, де $1 \leq k \leq m$; m – загальна кількість лотів (дорівнює кількості аукціонів, що відбудуться).

2. Обраний тип аукціону з точки зору теорії ігор належить до класу *некооперативних динамічних ігор з досконалою та неповною інформацією*.

3. Будемо вважати *принцип правдивості недіючим*, оскільки в реальній дійсності гравці не надають жодної інформації щодо свого типу. З цього випливає задача розробки *дизайну механізму* аукціону та *домінуючих стратегій* для гравців (агентів), узгоджуваних з механізмом аукціону.

4. При формалізації типу гравця будемо виходити з припущення, що тип відповідає відношенню гравця до ризику. Відомо [12], що гравці (агенти) можуть мати три стани, що описують їх відношення до ризику:

- *обережний* (risk-averse), коли

агент готовий заплатити за лот суму, строго меншу за ту, яку він запланував заплатити;

- *нейтральний до ризику* (risk-neutral), коли агент готовий заплатити за лот саме заплановану суму;

- *ризикований* (risk-loving) або *не нейтральний до ризику*, коли агент готовий заплатити за лот суму, що перевищує заплановану суму.

Для цілей моделювання будемо вважати, що тип агента описується двома станами щодо його відношення до ризику: {нейтральний до ризику, ризикований}.

2. Постановка задачі моделювання японського аукціону

В пропонованій постановці будемо виходити з припущення, що розглядаються гравці (далі – агенти) одного типу (*нейтральні до ризику*). Будемо також вважати, що резервна та початкова ціни на будь-який лот збігаються.

Задамо множини, які описують основні вхідні параметри проведення послідовного багатоелементного японського аукціону (далі – аукціону):

$N = \{1, \dots, n\}$ – кінцева множина агентів, що приймають участь в аукціоні;

$L = \{1, \dots, l\}$ – кінцева множина лотів, які торгуються на аукціоні;

$K_i \subseteq L$ – кінцева множина лотів, у торгах щодо придбання яких приймає участь i -ий агент. Можливо, що $K_i \cap K_n \neq \emptyset$, де $i, n \in N$, $i \neq n$;

R_i – ресурс (в загальному випадку в грошовому еквіваленті), наявний у i -го агента для придбання лотів множини K_i ;

$V_i = \{(k_i^1, v_i^1), \dots, (k_i^j, v_i^j)\}$ – кінцева множина пар, у кожній з яких подано пріоритет (суб'єктивна зважена оцінка цінності лота) v_i^j i -го агента щодо придбання відповідного j -го лота $k_i^j \in K_i$,

$0 < v_i^j \leq 1$, $\sum_{j=1}^k v_i^j = 1$, $k = \text{card}(K_i)$, $i \in N$;

$U = \{(p_1, c_1), \dots, (p_m, c_m)\}$ – кінцева

множина пар, в кожній з яких подано початкову ціну p_j та крок торгів c_j щодо продажу відповідного j -го лота множини L (де кожному елементу множини U може бути зіставлений чітко визначений елемент множини L), $card(U) = card(L)$.

Під максимальним значенням ресурсу, виділеного i -им агентом на придбання j -го лота, будемо розуміти параметр $R_i^j = R_i * v_i^j$.

Вважатимемо, що жодному агенту невідомі пріоритети та ресурси інших агентів та подальші дії як свої, так і інших агентів, але йому відомі власні пріоритети і ресурси та попередні дії як свої, так і інших агентів. Кожний агент також володіє інформацією про початкові (поточні) ціни на лоти та про учасників торгів і перелік лотів, що мають торгуватися на аукціоні.

Виходячи з названих умов необхідно визначити домінуючі стратегії агентів та винайти дизайн механізму аукціонних торгів. Як показано в п. 1.3, побудова механізму має узгоджуватись з використовуваними агентами домінуючими стратегіями, в рамках яких кожний з агентів буде намагатися максимізувати власний прибуток. До того ж механізм має дозволити формувати оптимальний аукціон.

Для побудови механізму будемо також виходити з наступних передумов:

1. Кожний i -ий агент, зареєстрований як учасник торгів за j -ий лот, має прийняти в торгах фактичну участь та намагатися зробити свою останню пропозицію в момент часу t проведення аукціону, коли виконується одна з двох умов: $z_j(t) - c_j \leq R_i^j < z_j(t_1)$ або $z_j(t_e) \leq R_i^j$ (якщо $z_j(t_e) \geq R_{-i}^j$), де $z_j(t)$ – значення ціни за j -ий лот в момент часу t проведення аукціону; $z_j(t_1)$ – значення ціни за j -ий лот у момент часу t_1 , в який була подана наступна пропозиція після пропозиції, що надійшла в момент часу t ; $z_j(t_e)$ – значення ціни за j -ий лот у момент часу t_e завершення торгів (ціна, яку платить

переможець); c_j – крок торгів за j -ий лот; R_{-i}^j – максимальне значення ресурсу, виділене на придбання j -го лоту будь-яким не i -им агентом, що приймає участь в аукціоні.

2. Агенти, які мають більші ресурси на лот, вступають у аукціон пізніше, ніж інші агенти.

Перша передумова зумовлює необхідність автоматичного формування домінуючих стратегій агентів у рамках використовуваного механізму проведення аукціону. Друга передумова узагальнює практичний досвід проведення аукціонів [6] та впливає на визначення порядку участі агентів в аукціонних торгах.

Зауважимо, що прибуток переможця (i -го агента) в придбанні j -го лота визначатиметься як $R_i^j - z_j(t_e)$, а прибуток продавця – як $z_j(t_e) - p_j$, де p_j – резервна (у нас, як показано вище, вона збігається з початковою) ціна за j -ий лот.

Як наслідок, при побудові механізму необхідно вирішити наступну задачу оптимізації (при цьому мають виконуватись вищезазначені передумови 1, 2):

$$\begin{aligned} R_i^j - z_j(t_e) &\rightarrow \max, \\ z_j(t_e) - p_j &\rightarrow \max. \end{aligned} \quad (1)$$

Слід зауважити, що переможець зацікавлений у мінімізації $z_j(t_e)$, а продавець, навпаки – в максимізації $z_j(t_e)$. Тобто побудований механізм має забезпечувати врівноваження між цими суперечними намірами учасників аукціону.

3. Метод побудови механізму проведення аукціону

Виходячи з наведеної постановки задачі розроблено метод побудови механізму проведення аукціону, який ґрунтується на наступних поняттях: *мотивація* агента, *коефіцієнт впевненості* агента і *коефіцієнт пасивності участі* агента в аукціоні.

Будемо називати *мотивацією* i -го агента щодо придбання j -го лота пара-

метр M_i^j , що є часткою пріоритету агента щодо j -го лота за відношенням до інших пріоритетів агента:

$$M_i^j = \frac{v_i^j}{1 - v_i^j}.$$

Цей параметр може тлумачитися як суб'єктивний рівень зацікавленості i -го агента в придбанні j -го лота і є незмінним на всьому протязі торгів за j -ий лот. Якщо $v_i^j = 1$ (тобто коли $\text{card}(K_i) = 1$), M_i^j присвоюється значення 1.0.

Під коефіцієнтом впевненості i -го агента щодо придбання j -го лота в момент часу t будемо розуміти параметр $kv_i^j(t)$, який визначається наступним чином:

$$kv_i^j(t) = \frac{R_i^j - z_j(t)}{R_i^j},$$

де $z_j(t)$ – значення ціни за j -ий лот у момент часу t проведення аукціону. Коефіцієнт впевненості може тлумачитися як міра спокою i -го агента у момент часу t щодо можливості придбання j -го лота (зі зростом t параметр $kv_i^j(t)$ зменшується; $0 < kv_i^j(t) < 1$). У випадку, коли $kv_i^j(t) \leq 0$, участь i -го агента в подальшому аукціоні щодо придбання j -го лота неможлива (у зв'язку з закінченням ресурсу i -го агента).

Під коефіцієнтом пасивності участі i -го агента у торгах за j -ий лот у момент часу t будемо розуміти параметр $kp_i^j(t)$, який визначається як $kp_i^j(t) = M_i^j * kv_i^j(t)$. Коефіцієнт пасивності участі i -го агента може тлумачитися як ступінь його активності щодо придбання j -го лота в момент часу t проведення аукціону; $0 < kp_i^j(t) < 1$. Чим менший цей коефіцієнт, тим вища активність i -го агента в аукціоні і тим сильніше його намагання зробити ставку в момент часу t проведення аукціону.

Метод побудови механізму проведення аукціону ґрунтується на визначенні коефіцієнтів пасивності участі для кожного агента, який не вибув з аукціону в кожен момент виконання ставок за лот та порівнянні значень двох найменших коефіцієнтів. Якщо агент, що має найменший коефіцієнт з порівнянних, останнім робив ставку, то обирається інший агент з наступним найменшим коефіцієнтом, який і робить ставку за лот. В іншому випадку для виконання ставки обирається агент з найменшим коефіцієнтом.

4. Імітаційне моделювання послідовного багатоелементного японського аукціону

Запропонований метод побудови механізму моделювання аукціону реалізовано в прототипі мультиагентної системи (МАС) «Аукціонь». Для реалізації використано мову логічного програмування PDC Visual Prolog з міркувань необхідності вести і обробляти БД аукціону (Prolog є реляційною мовою) та можливості засобами мови описувати логіку поведінки агентів.

Засобами МАС «Аукціонь» забезпечується як процес формування і перегляду даних про агентів та про пропонувані лоти, так і власно виконання моделювання аукціону (див. рисунок) на створених та збережених даних.

Розглянемо результати мультиагентного моделювання послідовного багатоелементного японського аукціону (див. таблицю), виконаного засобами МАС «Аукціонь» на прикладі вхідних даних, наведених далі, та покажемо, що в рамках запропонованого механізму забезпечується підтримка домінуючих стратегій агентами та вирішується задача оптимізації (1).

Вхідні дані аукціону:

Дані про лоти:

Лот 1: початкова ціна – 100; крок торгів – 10; учасники: Агент 1, Агент 2, Агент 3, Агент 4, Агент 6.

Лот 2: початкова ціна – 200; крок торгів – 20; учасники: Агент 2, Агент 3, Агент 5.

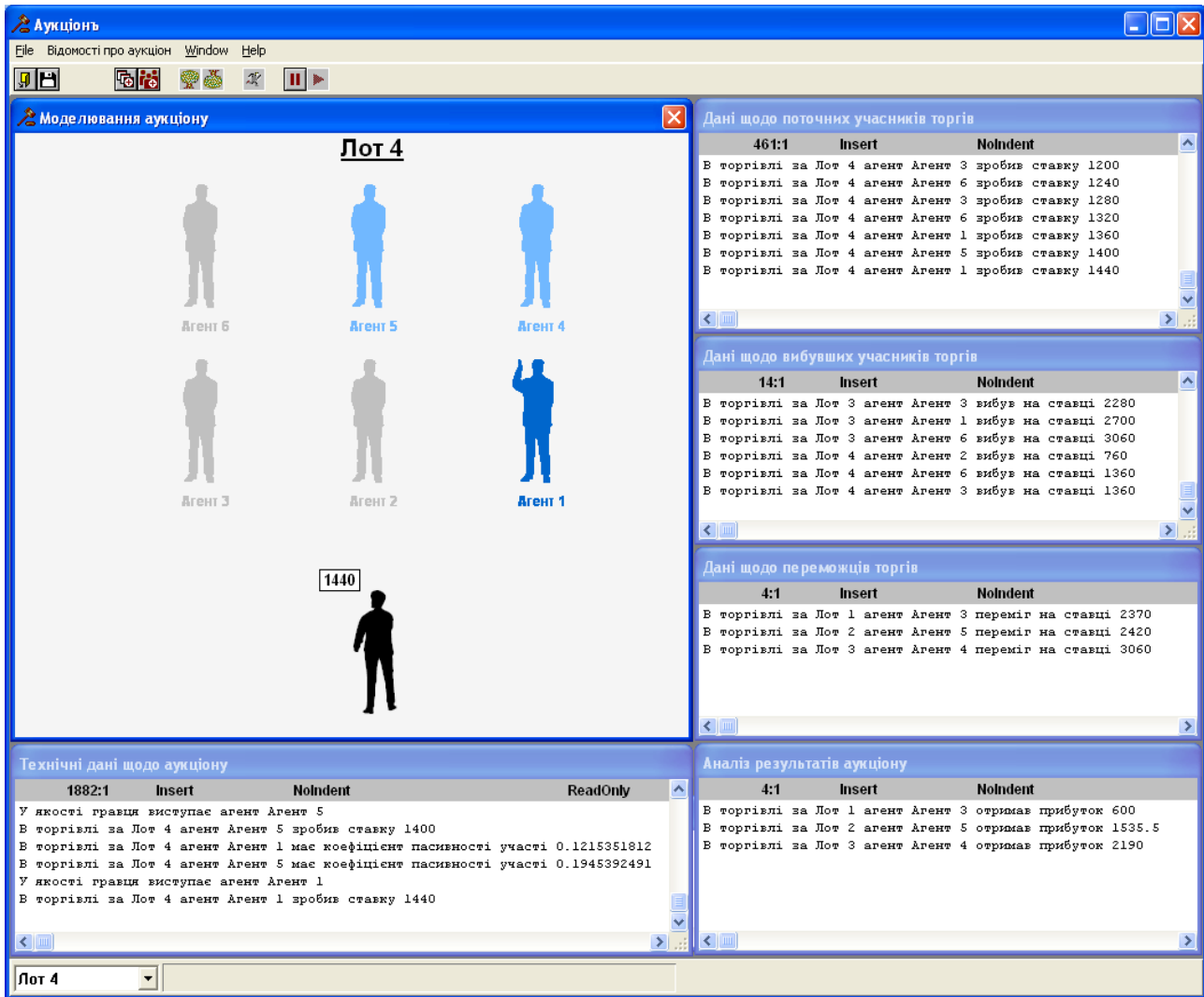


Рисунок. Інтерфейс процесу мультиагентного моделювання японського аукціону

Лот 3: початкова ціна – 300; крок торгів – 30; учасники: Агент 1, Агент 3, Агент 4, Агент 5, Агент 6.

Лот 4: початкова ціна – 400; крок торгів – 40; учасники: Агент 1, Агент 2, Агент 3, Агент 4, Агент 5, Агент 6.

Дані про агентів:

Агент 1: Ресурс – 6700; розподіл пріоритетів: Лот 1 – 0.3, Лот 3 – 0.4, Лот 4 – 0.3.

Агент 2: Ресурс – 3000; розподіл пріоритетів: Лот 1 – 0.4, Лот 2 – 0.35, Лот 4 – 0.25.

Агент 3: Ресурс – 9000; розподіл пріоритетів: Лот 1 – 0.33, Лот 2 – 0.27, Лот 3 – 0.25, Лот 4 – 0.15.

Агент 4: Ресурс – 10500; розподіл пріоритетів: Лот 1 – 0.15, Лот 3 – 0.5, Лот 4 – 0.35.

Агент 5: Ресурс – 8790; розподіл пріоритетів: Лот 2 – 0.45, Лот 3 – 0.25, Лот 4 – 0.3.

Агент 6: Ресурс – 6770; розподіл пріоритетів: Лот 1 – 0.35, Лот 3 – 0.45, Лот 4 – 0.2.

З таблиці випливає, що стратегії агентів, забезпечувані запропонованим механізмом проведення аукціону, є домінуючими, оскільки вони дозволяють максимізувати прибуток (для переможця) або надавати максимально можливу (або близьку до неї) пропозицію (для агентів, що вибули з аукціону). Крім того, запропонований механізм дозволяє реалізувати оптимальний аукціон, оскільки він максимізує прибуток продавця. Так, у всіх випадках переможець (i -ий агент) придбав лот за найнижчою можливою ціною (більшою за попередню ціну за j -ий лот лише на значення одного кроку торгів), а продавець продав лот за максимально можливою ціною, яка відповідає вимозі передумови 1 (див. п. 2): $z_j(t_e) \leq R_i^j$, де $z_j(t_e) \geq R_{-i}^j$. Очевидно також, що запропонований механізм задовольняє умовам (1).

Таблиця. Результати моделювання послідовного багатоелементного японського аукціону

Агенти Дані по лоту		Агент 1	Агент 2	Агент 3	Агент 4	Агент 5	Агент 6
		Лот 1	Максимальна кількість ресурсів на лот	2010	1200	2970	1575
Максимальна ставка, зроблена агентом	2010		1190	2370	1560	–	2360
Порядок вибуття агентів з торгів	3		1	5	2	–	4
Отриманий прибуток	–		–	600	–	–	–
Лот 2	Максимальна кількість ресурсів на лот	–	1050	2430	–	3955.5	–
	Максимальна ставка, зроблена агентом	–	1020	2400	–	2420	–
	Порядок вибуття агентів з торгів	–	1	2	–	3	–
	Отриманий прибуток	–	–	–	–	1535.5	–
Лот 3	Максимальна кількість ресурсів на лот	2680	–	2250	5250	2197.5	3046.5
	Максимальна ставка, зроблена агентом	2640	–	2250	3060	2160	3030
	Порядок вибуття агентів з торгів	3	–	2	5	1	4
	Отриманий прибуток	–	–	–	2190	–	–
Лот 4	Максимальна кількість ресурсів на лот	2010	750	1350	3675	2637	1354
	Максимальна ставка, зроблена агентом	2000	680	1280	2640	2600	1320
	Порядок вибуття з торгів	4	1	2	6	5	3
	Отриманий прибуток	–	–	–	1035	–	–

Висновки

В статті як приклад некооперативних динамічних ігор з досконалою та неповною інформацією розглянуто послідовні багатоелементні японські аукціони, для яких поставлено та вирішено задачу побудови механізму проведення аукціонів, який узгоджує у собі використання агентами їх домінуючих стратегій та дозволяє сформувавши оптимальний аукціон. Розроблені методи реалізовано в прототипі МАС «Аукціонь». Виходячи з аналізу сучасного стану досліджень теорії аукціонів можна стверджувати, що запропонований підхід до мультиагентного моделювання аукціонів є новим,

а розроблений метод побудови механізму проведення аукціонів створює передумови для подальших досліджень у напрямку розробки методів незалежного формування агентами домінуючих стратегій у рамках такого механізму, що в перспективі дозволить формулювати та вирішувати задачі моделювання одночасних багатоелементних аукціонів як основи для моделювання війн на виснаження для загального випадку.

1. *Klemperer P.* Auctions: Theory and Practice. – Princeton University Press, 2004. – 239 p.

2. *Krishna V.* Auction Theory. – Elsevier Inc., 2010. – 323 p.
3. *Lusk J.L., Shogren J.F.* Experimental Auctions. Methods and Applications in Economic and Marketing Research. – Cambridge University Press, 2007. – 304 p.
4. *Menezes F.M., Monteiro P.K.* An Introduction to Auction Theory. – Oxford University Press, 2008. – 184 p.
5. *Milgrom P.* Putting Auction Theory to Work. – Cambridge University Press, 2004. – 368 p.
6. *Mochón A., Sáez Y.* Understanding Auctions. – Springer, 2015. – 148 p.
7. *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations/ Shoham Y., Leyton-Brown K.* – Cambridge University Press, 2008. – 532 p.
8. *Jureta I., Kolp M., Faulkner S.* Multi-Agent Patterns for Deploying Online Auctions // Selected readings on electronic commerce technologies: contemporary applications / Edited by Hu W.-Ch. – IGI Global, 2009. – P. 130–146.
9. *Filzmoser M.* Simulation of Automated Negotiation. – Springer-Verlag, 2010. – 248 p.
10. *Sierra C., Noriega P.* Agent-Mediated Interaction. From Auctions to Negotiation and Argumentation // Foundations and Applications of Multi-Agent Systems (UKMAS Workshops 1996–2000 Selected Papers). – Springer-Verlag, 2002. – P. 27–48.
11. *Писарук Н.Н.* Введение в теорию игр. – Минск: БГУ, 2015. – 256 с.
12. *Николенко С.И.* Теория экономических механизмов. – М.: БИНОМ, 2009. – 207 с.
6. *Mochón A., Sáez Y.* Understanding Auctions. – Springer, 2015. – 148 p.
7. *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations/ Shoham Y., Leyton-Brown K.* – Cambridge University Press, 2008. – 532 p.
8. *Jureta I., Kolp M., Faulkner S.* Multi-Agent Patterns for Deploying Online Auctions // Selected readings on electronic commerce technologies: contemporary applications / Edited by Hu W.-Ch. – IGI Global, 2009. – P. 130–146.
9. *Filzmoser M.* Simulation of Automated Negotiation. – Springer-Verlag, 2010. – 248 p.
10. *Sierra C., Noriega P.* Agent-Mediated Interaction. From Auctions to Negotiation and Argumentation // Foundations and Applications of Multi-Agent Systems (UKMAS Workshops 1996–2000 Selected Papers). – Springer-Verlag, 2002. – P. 27–48.
11. *Pisарук N.N.* Introduction to Game Theory. – Minsk: BGU, 2015. – 256 p. (in Russian).
12. *Nikolenko S.I.* Theory of Economical Mechanisms. – Moscow: BINOM, 2009. – 207 p. (in Russian).

Одержано 11.01.2016

References

1. *Klemperer P.* Auctions: Theory and Practice. – Princeton University Press, 2004. – 239 p.
2. *Krishna V.* Auction Theory. – Elsevier Inc., 2010. – 323 p.
3. *Lusk J.L., Shogren J.F.* Experimental Auctions. Methods and Applications in Economic and Marketing Research. – Cambridge University Press, 2007. – 304 p.
4. *Menezes F.M., Monteiro P.K.* An Introduction to Auction Theory. – Oxford University Press, 2008. – 184 p.
5. *Milgrom P.* Putting Auction Theory to Work. – Cambridge University Press, 2004. – 368 p.

Про автора:

Яловець Андрій Леонідович,
доктор технічних наук,
заступник директора інституту.
Кількість наукових публікацій в
українських виданнях – 100.
Кількість наукових публікацій в іноземних
виданнях – 5.
<http://orcid.org/0000-0001-6542-3483>

Місце роботи автора:

Інститут програмних систем
НАН України.
03187, Київ-187,
проспект Академіка Глушкова, 40.

Тел.: (044) 526 15 38.
E-mail: yal@isofts.kiev.ua