

УДК 681.513

И.П. ХАВИНА, Г.И. МОЛЧАНОВ**МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОАЛИЦИЕЙ РОБОТОВ**

Запропоновано рішення задачі оптимального розподілу завантаження коаліції мобільних роботів для забезпечення технологічного процесу виготовлення виробів методами лезової обробки. Рішення отримано на основі мультиагентної системи з децентралізованим управлінням за допомогою переговорів агентів системи через різні алгоритми комбінаторних аукціонів.

Ключові слова: оптимальний розподіл завантаження роботів, мультиагентна система, комбінаторний аукціон, технологічний процес лезової обробки.

Предложено решение задачи оптимального распределения загрузки коалиции мобильных роботов для обеспечения технологического процесса изготовления изделий методами лезвийной обработки. Решение получено на основе мультиагентной системы с децентрализованным управлением с помощью переговоров агентов системы через различные алгоритмы комбинаторных аукционов.

Ключевые слова: оптимальное распределение загрузки роботов, мультиагентная система, комбинаторный аукцион, технологический процесс лезвийной обработки.

A solution of the optimal distribution of load coalition mobile robots for manufacturing products of the process edge cutting processing methods. The decision taken is based on multi-agent systems with decentralized management through negotiation system agents through various algorithms for combinatorial auctions.

Keywords: optimal distribution of load robots, multi-agent systems, combinatorial auction, a technological process of cutting.

Введение. Современное машиностроительное предприятие, базирующееся на механической обработке материалов, представляет собой сложную многокомпонентную систему, содержащую большое количество связей, значительный объем материальных ресурсов и потоков информации. При этом, как правило, такое предприятие является корпорацией – объединением нескольких распределенных предприятий, что требует наличия корпоративной системы управления для оперативного решения задач управления. В то же время современной мировой тенденцией является ориентация предприятий машиностроения на безлюдные технологии. В работе рассмотрена часть производственной системы, которая обеспечивает движение материалов для реализации автоматического производственного технологического процесса (ТП) – система управления коллективом интеллектуальных мобильных транспортных роботов [1, 2].

Анализ последних исследований и литературы. Существует ряд подходов к созданию систем управления коллективом роботов: автоматные модели, роевые, "пчелиные" и "муравьиные" алгоритмы, эволюционные методы и др. [1, 3]. Современным направлением для реализации таких сложных распределенных систем управления в режиме реального времени является применение методов искусственного интеллекта в виде мультиагентных систем (МАС), характеризующихся гибкостью, поскольку, динамично реагируют на изменение среды, постоянно улучшая решения в реальном времени [4]. При мультиагентном подходе возможна реализация децентрализованного управления интеллектуальными роботами, когда каждый агент-робот самостоятельно принимает и реализует решения.

МАС строится как объединение агентов, основанных на знаниях. При этом мультиагентная система считается объектом вида

$$MAC = (A_j, E_j, R_k, ORG_l, ACT_m, COM_n, EV_p),$$

где A_j , $j = \{1, \dots, J\}$ – множество агентов, способных функционировать в некоторых средах E_i , $i = \{1, \dots, I\}$, находящихся в определенных отношениях R_l , $l = \{1, \dots, L\}$, друг с другом. Агенты могут формировать некоторые коалиции ORG_k , $k = \{1, \dots, K\}$ и обладают некоторым набором индивидуальных и совместных действий (стратегий поведения) ACT_m , $m = \{1, \dots, M\}$, включая коммуникативные действия COM_n , $n = \{1, \dots, N\}$, а также эволюционировать EV_p , $p = \{1, \dots, P\}$ [5].

Для создания МАС за каждым объектом и компонентой, участвующих в процессе производства, закрепляется свой программный агент. Например, МАС управления движением мобильных транспортных роботов может состоять из: множества агентов заказов – $A_{зак}$, которые принимают заявки на выполнение изделий; множества агентов изделий – $A_{изд}$, содержащих базу знаний операционных ТП изготовления изделий; множества агентов оборудования – $A_{оборуд}$ которые контролируют состояние оборудования и посылают заявки множеству агентов транспортных роботов – $A_{тр}$; множеству агентов складов – $A_{скл}$, которые формируют собственные базы знаний и предоставляют информацию другим агентам о наличии и параметрах заготовок, приспособлений и инструментов на складах и их параметры. Каждый из агентов множества $A_{тр}$ отвечает за управление своим транспортным роботом. Про этом, законы управления зависят от марки робота, его загруженности, скорости перемещения, наличия манипуляторов и т.д.

Первым в системе управления начинают работу агенты заказов, которые формирует заявки на изготовление изделий агентам изделий. Затем агенты из-

деля, исходя из базового ТП формируют запросы к агентам оборудования о возможности выполнения ими заданной операции. Если операция возможна, агенты оборудования формируют запрос к агентам транспортных роботов на доставку необходимых заготовок или инструментов. После выполнения операции посылается сообщение агенту соответствующего изделия об окончании операции и о принятии решения о дальнейшем транспортировании заготовки на склад, или на выполнение следующей операции ТП.

Очевидно, что ТП производства изделий зависит от координации работы коллектива транспортных роботов при выполнении всех заявок в минимальное время, и решение такой задачи в условиях распределенного производства изделий в режиме реального времени является актуальным.

Целью работы является создание системы управления коалицией мобильных транспортных роботов в режиме реального времени для цеха механообработки для обеспечения оптимального по времени ТП изготовления изделий.

Результаты исследований. Оптимальное функционирование агентов-роботов в условиях децентрализованного управления достигается за счет переговоров, которые ведутся по заранее определенным протоколам. Одним из видов протокола являются аукционы, которые показали свою эффективность при координации коллективного поведения агентов, и могут быть успешно применены при управлении процессом распределенного решения множеством агентов одной общей задачи [6-11].

В последнее время за рубежом уделяют много внимание изучению путей решения проблем распределения заданий при децентрализованной структуре управления [4, 6-12]. Этот подход, основанный на локальной оценке действий агентов с помощью целевых функций, позволяет преодолеть ограничения и недостатки централизованного решения. Т.е. решение задачи распределения наборов заданий возможно, но вычислительные затраты высоки и время их решения не достаточно для их применения в условиях реального производственного процесса, где агенты могут не обладать достаточным объемом памяти.

Для решения задачи оптимального управления коалицией роботов в работе [13] предложено использование алгоритмов аукционов, где каждый агент взаимодействует со всеми агентами и сам определяет ставки и победителя. Данная работа является продолжением работы [13].

Коллектив из транспортных роботов, свободных в данный момент времени, составляет временную коалицию. Пусть за рабочую смену $t_{см}$ агенты-роботы участвуют в работе K коалиций.

Тогда целевая функция оптимального управления транспортными роботами, работающими в коалиции в течении смены, имеет вид

$$\Phi_{тр}(U_{тр}) = \sum_{k=1}^K \Phi_k \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где Φ_k – критерий качества работы k -й ситуационной

коалиции агентов роботов, представляющий собой суммарное время выполнения заявок N_k

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{N_k} t_{ik} \Rightarrow \min, \quad k = 1, \dots, K, \quad (2)$$

где N_k – количество заказов, выполняемых k -й коалицией; t_{ik} – время выполнения i -го заказа в k -й коалиции определяющегося соотношением

$$t_{ik} = \min_j(t_{ijk}), \quad j = 1, \dots, J_k, \quad i = 1, \dots, N_k, \quad (3)$$

где j – номер агента в k -й коалиции; t_{ijk} – время выполнения j -м агентом k -й коалиции i -го заказа; J_k – число агентов в k -й коалиции, а операция определения минимума учитывает только множество агентов $\{A_{тр1}, A_{тр2}, \dots, A_{трJ_k}\}$ не занятых на выполнении других заявок.

Выполнение критерия эффективности управления (1) обеспечивается последовательным выполнением ситуационных критериев эффективности (2) за счет условия (3) на всех этапах управления.

Решение задачи оптимального управления (1) – (3), реализуемое в режиме реального времени путем поэтапных аукционов внутри ситуационных коалиций агентов-роботов, требует формирования таких целевых функций агентов, которые обеспечивают наиболее эффективное решение задачи (2) для каждой ситуационной коалиции.

С другой стороны, целевые функции агентов должны стимулировать участие свободных в текущий момент времени агентов во всех формирующихся ситуационных коалициях и на всех этапах аукционов по распределению текущих заявок.

В качестве компонент целевых функций агентов транспортных роботов предложено использовать две составляющие. Первая составляющая стимулирует участие агента транспортного робота на всех этапах аукциона по распределению заявок внутри коалиции во всех доступных ему коалициях. Эта компонента представляет собой нормированное среднее значение относительного времени на транспортную операцию j -го агента при работе в k -й коалиции

$$U_j^1 = \frac{1}{N_{kj}} \left[\sum_{i=1}^{N_{kj}} (t_{ijk_{раб}} / t_{ijk_{max}}) - 1 \right] \Rightarrow \min, \quad j = 1, \dots, J_k, \quad (4)$$

где N_{kj} – количество заявок, которое может выполнить j -й робот в k -й коалиции; $t_{ijk_{раб}}$ – время j -го робота на i -ю заявку, определяемое как $t_{ijk_{раб}} = t_{ijk_0} + t_{ijk_{дост}}$, где t_{ijk_0} – время перемещения транспортного робота от текущего места до места складирования по i -й заявке; $t_{ijk_{дост}}$ – время перемещения j -го транспортного робота от места складирования к месту i -й доставки; $t_{ijk_{max}}$ – максимальное время из набора $t_{ijk_{раб}}$.

Вторая составляющая целевой функции агента-робота максимально стимулирует его участие во всех ситуационных коалициях K_j , где K_j – количество коалиций в которых участвовал j -й агент-робот и представляет собой нормированное время простоя j -го транспортного робота за время рабочей смены

$$U_j^2 = 1 - \frac{1}{t_{см}} \sum_{k=1}^{K_j} t_{ik\text{раб}} \Rightarrow \min, \quad j = 1, \dots, N_{тр}, \quad (5)$$

где $t_{см}$ – продолжительность рабочей смены; $N_{тр}$ – количество транспортных роботов системы.

Критерии (4) и (5) должны выполняться при ограничении на суммарное время работы j -агента транспортного робота

$$\sum_{k=1}^{K_j} \sum_{i=1}^{N_{jk}} t_{ik\text{раб}} + t_{j\text{проф}} \leq t_{см}, \quad (6)$$

где $t_{j\text{проф}}$ – время, затраченное на профилактику j -го робота.

Задача оптимального управления транспортными роботами (1) – (3) реализуется через решение многокритериальной задачи оптимизации работы транспортных роботов (4) – (6) путем формирования ситу-

ационных коалиций роботов и проведения этими коалициями аукционов [12] в режиме реального времени.

Для решения поставленной задачи оптимального управления (1) – (3) за счет коалиционной оптимальной координации работы агентов-роботов, реализуемой путем решения задачи оптимизации (4) – (6) создана модифицированная модель аукциона, которая состоит из конечного числа последовательных раундов.

Стремление к выполнению критериев задачи (4) и (5) требует от каждого агента-робота участия во всех ситуационных коалициях и во всех раундах аукциона, при условии, что робот свободен.

Для демонстрации механизма аукциона представим задачу в виде направленного графа для одной коалиции из трех транспортных роботов (рис. 1).

Рассматривается частный случай, где количество заявок $N = 3$ и количество агентов $J_k = 3$. Время выполнения заявок $t_{jn}, n = 1, \dots, N$ каждым j -м транспортным роботом задано согласно рис. 1,

$$\begin{aligned} t_{11} &= 20, t_{12} = 12, t_{13} = 6, \\ t_{21} &= 21, t_{22} = 10, t_{23} = 11, \\ t_{31} &= 10, t_{32} = 11, t_{33} = 8. \end{aligned}$$

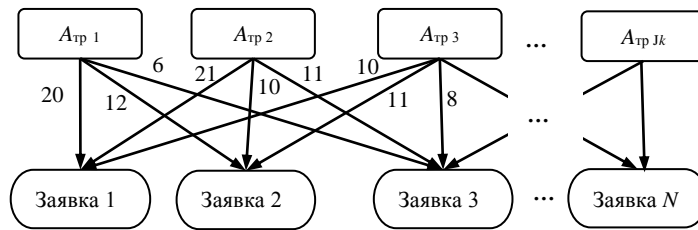


Рис. 1 – Направленный граф

Взаимодействие j -го агента транспортного робота со средой в течении каждого текущего такта характеризуется функцией оценки (ставки) P_j , на основе которого он и принимает решение о своих последующих действиях, рассчитывается как разница времен выполнения агентом двух заявок с минимальным временем $t_{\min_1}, t_{\min_2}, t_{\min_1} \leq t_{\min_2}$
 $P_j = (t_{j\min_2} - t_{j\min_1}) + \varepsilon$, где ε – премия за доставку (в данной задаче постоянная величина $\varepsilon = 1$).

В дальнейшем ставка определяет величину накапливаемой итоговой функции оценки деятельности каждого агента, участвующего в раунде, и на основе ставок агент принимает решение о своих последующих действиях. Чем ставка выше, тем меньше времени агент-робот затратит на выполнение заявки, и самая большая ставка будет соответствовать самой выгодной заявке раунда.

Смысл такого расчета ставки основан на вычислении значения известного в теории игр под названием “сожаления” и в данном случае определяет размер потерь, которые понесет вся коалиция агентов, если

агент не станет победителем. Такой подход позволяет оценить размер возможного проигрыша для каждого раунда и получить оптимальное (квазиоптимальное) решение.

В первом раунде аукциона (рис. 2) получаем:

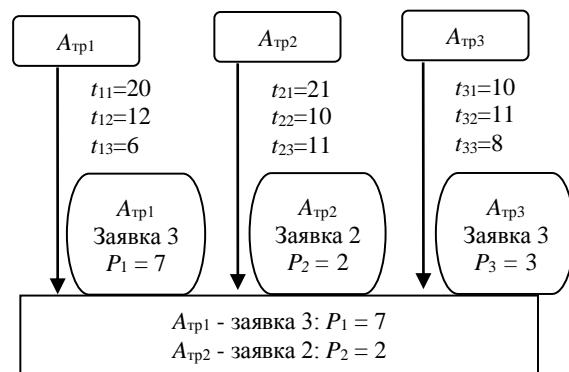


Рис. 2 – Первый раунд аукциона для агента $A_{тр1}$ заявка 3 и временем t_{13} дает ставку $P_1 = 12 - 6 + 1 = 7$; для $A_{тр2}$ заявка 2 и временем t_{22} дает ставку $P_2 = 11 - 10 + 1 = 2$; для $A_{тр3}$ заявка 3 и временем t_{33} дает ставку $P_3 = 10 - 8 + 1 = 3$.

На выполнение заявки 3 претендуют сразу два агента 1 и 2, но ставка 1-го больше, поэтому заявку выигрывает первый агент. На заявку 2 претендует только агент $A_{тр2}$, поэтому он ее получает.

Вследствие того, что не все заявки распределены, начинается следующий, второй раунд (рис. 3). Для двух распределенных заявок в следующем раунде повышается значение времени их заявок на величину их ставок:

для $A_{тр1}$: заявка 2 $t_{12} = 12 + 2 = 14$;
 для $A_{тр2}$: заявка 3 $t_{23} = 11 + 7 = 18$;
 для $A_{тр3}$: заявка 2 $t_{32} = 11 + 2 = 13$ и
 заявка 3 $t_{33} = 8 + 7 = 15$.

Для нераспределенной заявки 1 время не изменяется.

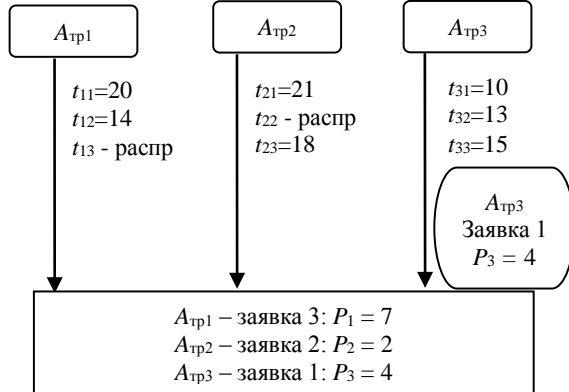


Рис. 3 – Второй раунд аукциона

После расчетов второго раунда имеем:
 для $A_{тр1}$ заявка 3, ставка $P_1 = 7$ остается;
 для $A_{тр2}$ заявка 2, ставка $P_2 = 2$ остается;
 для $A_{тр3}$ заявка 1, ставка

$P_3 = 13 - 10 + 1 = 4$ назначается.

Аукцион завершается, т.к. все заявки завершены. Итоговое время заявок для примера составит

$$\Phi_{тр} = 6 + 10 + 10 = 26.$$

При задаче с большей размерностью решение представляет собой квазиоптимальное решение.

Для компьютерного моделирования задач высокой размерности с помощью языка Java и библиотеки Jade был реализован алгоритм аукциона и создана имитационная мультиагентная система оптимального управления коалицией агентов транспортных роботов.

Тестирование созданной системы управления проводилось с помощью двух методов. Первый метод решения реализует жадный алгоритм, когда первой выполняется заявка с наилучшим показателем, второй – заявка со следующим по порядку за наилучшим показателем и т.д. Второй метод решения реализует приведенный выше многоаундовый аукцион.

На рис. 4 показаны зависимости времени, затраченного на получение оптимального решения от размерности задачи (числа заявок и количества агентов-роботов). Видно, что при сравнительно малой размерности задачи ($N_{тр} = 100$, $N = 100$) для двух рассматриваемых методов время решения поставленной задачи практически одинаково.

При повышении размерности задачи до $N_{тр} = 400$ и $N = 300$ время решения задачи на основе

жадного алгоритма непрерывно увеличивается по отношению к времени решения задачи на основе многоаундового аукциона. Для высокой размерности задачи это отношение достигает значительной величины (до 3,5 - 4 раз).

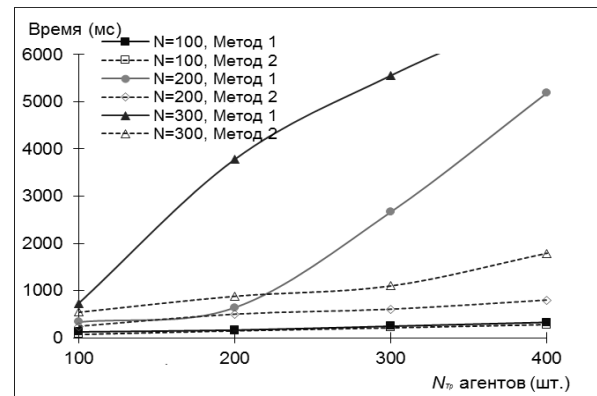


Рис. 4 – Результаты экспериментов

Полученные результаты показывают достаточно высокую эффективность применения предлагаемого подхода для систем оптимального управления технологическими процессами механообработки в режиме реального времени.

Выводы. Таким образом, впервые предложено решение задачи оптимального управления мобильными транспортными роботами для обеспечения технологического процесса изготовления изделий методами механообработки, основанное на мультиагентной системе децентрализованного типа, где оптимальное решение достигается с помощью переговоров агентов на основе аукциона. Предложенный метод управления группой транспортных роботов, обеспечивает достаточную для этого класса задач скорость решения.

В работе в качестве примера была взята задача о распределении заданий для группы роботов, которые выполнив задание опять входят в состав коалиции и вновь принимают участие в аукционе, что позволяет утверждать о применимости данного подхода к построению систем управления предприятием в реальном времени.

Дальнейшая работа будет направлена на усовершенствование алгоритмов аукциона с целью повышения скорости сходимости и точности решения.

Список литературы

1. Machining: fundamental and recent advanced / Editors I. Davim, J. Paulo. – London: Springer, – 2008. – 364 p.
2. Весткемпер Э. Введение в организацию производства / Э. Весткемпер, М. Декер, Л. Ендуби, и др. Под ред. А.И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 376 с.
3. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография / А.В. Богуслаев, Ал.А. Олейник и др. Под ред. Д.В. Павленко, С.А. Субботина. – Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2009. – 468 с.
4. Shoham Y. Multiagent systems: Algorithmic, Game-theoretic and logical foundations. / Y. Shoham, K. Leyton-Brown. – Stanford University, University of British Columbia, 2009. – 513 с.
5. Тарасов В.Б. От мультиагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. – М.: Едиториал УРСС, 2002 – 352 с.
6. Vorobeychik Y. A game theoretic bidding agent for the ad auction game // Association for the Advancement of Artificial Intelligence,

- 2010, – pp. 6-12.
7. Amir O., Sharon G., Stern R. Multi-agent path finding as a Combinatorial auction // *Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2015. – pp. 2003-2009.
 8. Cetnarowicz K. Multi-agent system for flexible manufacturing systems management // *2-nd International Workshop of Central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems*, Krakow, 2001, – pp. 51-60.
 9. Land A. PAUSE: A computationally tractable combinatorial auction // A. Land, S. Powell, R. Steinberg // MIT Press – 2006 – pp. 139-157.
 10. Mendoza B., Vidal J.M. Bidding Algorithms for a Distributed Combinatorial Auction // B. Mendoza, Vidal J.M. - *Proc. 6-th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Honolulu, Hawaii, May 2007, pp. 102-110.
 11. Fujishima Y. Taming the computational complexity of combinatorial auctions: Optimal and approximate approaches. In *Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 548-553. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999.
 12. Etienne M.B. Implementing a Multi-agent system in Python with an auction-Based agreement approach / M.B. Etienne, S. Vester, J. Villadsen. – *Department of Informatics and Mathematical Modeling, Technical University of Denmark*. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://steenvester.com/pdf/promas11.pdf> (15.02.2017).
 13. Khavina I. Multiagent system for the optimal control of a combination of transport robots in manufacturing technological process // *International Conference Telecommunications and Computer Science, TCSET'2016*, 23-26 February, 2016, Slavske in Lviv region, 5 p.
- Bibliography (transliterated)**
1. Machining: fundamental and recent advanced. Editors I. Davim, J. Paulo. London, Springer, Publ., 2008. 364 p.
 2. Vestkemper Je. Vvedenie v organizaciju proizvodstva [Introduction to production organization] Je. Vestkemper, M. Dekker, L. Endoubi, i dr. Pod red. A.I. Grabchenko. Har'kov, NTU «HPI». Publ., 2008. 376 p.
 3. Progressivnye tehnologii modelirovaniya, optimizatsii i intellektual'noj avtomatizatsii jetapov zhiznennogo cikla aviacionnyh dvigatelej: Monografija [Progressive technologies of modeling, optimization and intelligent automation of the life cycle stages of aircraft engines: Monograph] / A.V. Boguslaev, Al.A. Olejnik i dr. Pod red. D.V. Pavlenko, S.A. Subbotina. Zaporozh'e: OAO "Motor Sich". Publ., 2009. 468 p.
 4. Shoham Y. Multiagent systems: Algorithmic, Game-theoretic and logical foundations. / Y. Shoham Y., K. Leyton-Brown. *Stanford University, University of British Columbia*. Publ., 2009. 513 p.
 5. Tarasov V.B. Ot multiagetnyh sistem k intellektual'nyh organizatsijam: filosofija, psihologija, informatika [From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, informatics] / V.B. Tarasov. Moskva. Editorial URSS. Publ., 2002. 352 p.
 6. Vorobeychik Y. A game theoretic bidding agent for the ad auction game. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, 2010, – pp. 6-12.
 7. Amir O., Sharon G., Stern R. Multi-agent path finding as a Combinatorial auction. *Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2015, – pp. 2003-2009.
 8. Cetnarowicz K. Multi-agent system for flexible manufacturing systems management. *2-nd International Workshop of Central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems*, Krakow, 2001, – pp. 51-60.
 9. Land A. PAUSE: A computationally tractable combinatorial auction // A. Land, S. Powell, R. Steinberg. MIT Press.– 2006, – pp. 139-157.
 10. Mendoza V. Bidding Algorithms for a Distributed Combinatorial Auction. B. Mendoza, Vidal J.M. - *Proc. 6-th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Honolulu, Hawaii, May 2007, pp. 102-110.
 11. Fujishima Y. Taming the computational complexity of combinatorial auctions: Optimal and approximate approaches. In *Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 548-553. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999.
 12. Etienne M.B. Implementing a Multi-agent system in Python with an auction-Based agreement approach. M.B. Etienne, S. Vester, J. Villadsen. – *Department of Informatics and Mathematical Modeling, Technical University of Denmark*. Available at: <http://steenvester.com/pdf/promas11.pdf> (15.02.2017).
 13. Khavina I. Multiagent system for the optimal control of a combination of transport robots in manufacturing technological process. *International Conference Telecommunications and Computer Science*

Поступила (received) 15.02.2017

Мультиагентна система оптимального управління коаліцією роботів / І.П. Хавіна, Г.І. Молчанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 5–9. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-004X.

Мультиагентная система оптимального управления коалицией роботов / И.П. Хавина, Г.И. Молчанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 5–9. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-004X.

Multi-agent systems optimal control coalition robots / I. Khavina, G. Molchanov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 17 (1239). – P5–9. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-004X.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Хавіна Інна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Вычислительная техника и программирование»; тел.: (057)-707-61-65; e-mail: inna.khavina25@gmail.com;

Хавіна Інна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Обчислювальна техніка та програмування»; тел.: (057)-707-61-65; e-mail: inna.khavina25@gmail.com;

Khavina Inna Petrivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of "Computer equipment and programming"; tel.: (057)-707-61-65; e-mail: inna.khavina25@gmail.com;

Молчанов Георгій Ігоревич – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший преподаватель кафедри «Вычислительная техника и программирование»; тел.: (057)-707-61-65; e-mail: xone@ukr.net;

Молчанов Георгій Ігоревич – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри «Обчислювальна техніка та програмування»; тел.: (057)-707-61-65; e-mail: xone@ukr.net;

Molchanov Heorhii Ihorovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Lecturer at the Department of "Computer equipment and programming"; tel.: (057)-707-61-65; e-mail: xone@ukr.net.