

УПРАВЛІННЯ В ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

УДК 004.272.34

DOI: 10.20998/2079-0023.2021.01.07

Ю. Л. ПРОНЧАКОВ

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗТАШУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЕНОГО ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

Ставиться та вирішується задача дослідження підприємств при розміщенні їх на нових площах. Актуальність задачі пов'язана з моральним та фізичним старінням виробничих систем, що призводить до необхідності їх модернізації та реінжинірингу. Для розвитку підприємства потрібні нові площі для розміщення сучасного технологічного обладнання. Через диверсифікацію діяльності підприємства і появи нових замовлень доцільно на нових площах розміщувати сучасні виробничі лінії з високим ступенем автоматизації. Вимоги щодо організації нових виробництв, з урахуванням концепції Industry 4.0, призвели до створення підприємств у вигляді віртуальних виробництв, які орієнтовані на створення нових інноваційних виробів. Ціллю роботи є розробка моделей раціонального розміщення віртуального виробництва на нових площах в умовах обмежених можливостей підприємства. З-за складності задачі, що вирішується, дослідження проводиться у три етапи: оптимізація розміщення на земній поверхні; формування комунікаційної інфраструктури віртуального виробництва; моделювання виробничого циклу віртуального підприємства. Раціональне розміщення віртуального виробництва проводиться з використанням як локальної, так і багатокритеріальної оптимізації. Для формування комунікаційної інфраструктури віртуального підприємства здійснюється вибір оптимальної траси прокладки магістралі. Моделювання виробничого циклу здійснюється з урахуванням часових затримок та черг при виконанні технологічних операцій. Новим науковим результатом є рішення задачі розміщення віртуальної виробничої системи на земній поверхні з урахуванням запропонованих показників та обмежень, які включають вартість оренди (придбання) земельних ділянок, а також витрати, пов'язані з проведенням земельних та будівних робіт. Використані математичні методи: цілочисельна оптимізація, імітаційне моделювання, агентне моделювання.

Ключові слова: віртуальне підприємство, оптимізація розміщення технологічних об'єктів, комунікаційна інфраструктура підприємства, імітаційне моделювання, агентне моделювання.

Ю. Л. ПРОНЧАКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ставится и решается задача исследования предприятий при размещении их на новых площадях. Актуальность задачи связана с моральным и физическим старением производственных систем, что приводит к необходимости их модернизации и реинжиниринга. Для развития предприятия требуются новые площади для размещения современного технологического оборудования. Из-за диверсификации деятельности предприятия и появления новых заказов целесообразно на новых площадях размещать современные производственные линии с высокой степенью автоматизации. Требования по организации новых производств, с учетом концепции Industry 4.0, привели к созданию предприятий в виде виртуальных производств, ориентированных на создание новых инновационных изделий. Целью работы является разработка моделей рационального размещения виртуального производства на новых площадях в условиях ограниченности возможностей предприятия. Из-за сложности решаемой задачи, исследование проводится в три этапа: оптимизация размещения на земной поверхности; формирование коммуникационной инфраструктуры виртуального производства; моделирование производственного цикла виртуального предприятия. Рациональное размещение виртуального производства проводится с использованием как локальной, так и многокритериальной оптимизации. Для формирования коммуникационной инфраструктуры виртуального предприятия осуществляется выбор оптимальной трассы прокладки магистралей. Моделирование производственного цикла осуществляется с учетом временных задержек и очередей при выполнении технологических операций. Новым научным результатом является решение задачи размещения виртуальной производственной системы на земной поверхности с учетом предложенных показателей и ограничений, которые включают стоимость аренды (приобретения) земельных участков, а также расходы, связанные с проведением земельных и строительных работ. Используются математические методы: целочисленная оптимизация, имитационное моделирование, агентное моделирование.

Ключевые слова: виртуальное предприятие, оптимизация размещения технологических объектов, коммуникационная инфраструктура предприятия, имитационное моделирование, агентное моделирование.

Yu. L. PRONCHAKOV

SIMULATION OF VIRTUAL DISTRIBUTED PRODUCTION LOCATION UNDER CONDITIONS OF LIMITED POSSIBILITIES OF ENTERPRISE DEVELOPMENT

The task to research the enterprises when locating them in the new areas is posed and solved. The relevance of the problem is related to both moral and physical aging of production systems, which leads to the need for their modernization and reengineering. For the development of the enterprise, new areas are required to accommodate modern technological equipment. Due to the diversification of the company's activities and the appearance of new

© Ю. Л. Прончаков, 2021

orders, it is advisable to place modern production lines with a high degree of automation in new areas. The requirements for the organization of new industries, taking into account the concept of Industry 4.0, have led to the creation of enterprises in the form of virtual industries focused on the creation of new innovative products. The aim of the work is to develop models for the rational location of virtual production in the new areas in conditions of limited enterprise capabilities. Due to the complexity of the problem being solved, the study is carried out in three stages: optimization of location on the earth's surface; creation of the communication infrastructure for virtual production; simulation of the virtual enterprise production cycle. The efficient location of virtual production is carried out using both local and multicriteria optimization. In order to create the communication infrastructure of the virtual enterprise the selection of the optimal route for highway laying is carried out. Simulation of the production cycle is carried out considering time delays and queues when performing technological operations. The new scientific result is the solution of the problem of virtual production system locating on the earth's surface, taking into account the proposed indicators and restrictions, which include the cost of land plots renting (acquiring), as well as the costs associated with earth and construction works. Mathematical methods were used: integer optimization, simulation modeling, agent-based modeling.

Keywords: virtual enterprise, optimization of technological objects location, communication infrastructure of the enterprise, simulation modeling, agent-based modeling.

Вступ. Віртуальна виробнича система (ВВС) повинна відповідати вимогам концепції Industry 4.0, для чого необхідно для її реалізації рішення цілого ряду проблем [1, 2]. Одна з проблем пов'язана з раціональним розміщенням нових виробничих та технологічних об'єктів, які входять до складу ВВС [3, 4]. Актуальність проблеми, що розглядається, пов'язана з необхідністю впровадження інноваційних рішень за новими технологічними процесами у вигляді технологічних об'єктів з роботизованими лініями з інтелектуальним інформаційним управлінням [5]. Найчастіше, економічно недоцільно робити модернізацію старих, морально та фізично застарілих виробничих та технологічних об'єктів [6]. Тому актуальна тема пропонованої публікації який ставиться та вирішується задача раціонального розташування об'єктів віртуальної виробничій розподіленій системи на нових площах з урахування обмежених можливостей підприємства, що розвивається.

Постановка та ціль задачі дослідження. Ціллю роботи є дослідження раціонального розташування виробничих та технологічних об'єктів віртуальної виробничої системи на нових площах виходячи з потреб розвитку підприємства, які виникають при прогнозуванні та формуванні нових портфелів замовлень [7].

При розміщенні нових виробничих та технологічних об'єктів ВВС, необхідно враховувати використання дорогого земельного ресурсу, який, у подальшому, необхідно орендувати (придбати) для проведення робіт пов'язаних з підготовкою земельних ділянок для організації виробництва. З-за складності запропонованої задачі для проведення розташування ВВС необхідно враховувати особливості земельних ділянок, складність технологічного обладнання, а також необхідність проведення інженерних робіт, пов'язаних зі створенням комунікаційної інфраструктури віртуального виробництва [8, 9].

Поставлена задача вирішується у три етапу.

1. Оптимізація розміщення виробничих та технологічних об'єктів на відокремлених площах для формування віртуальної виробничої системи.

2. Формування комунікаційних зв'язків між розміщеними виробничими та технологічними об'єктами віртуальної виробничої системи.

3. Моделювання виробничого циклу у віртуальній виробничій системі.

Оптимізація розміщення виробничих та технологічних об'єктів на відокремлених площах для формування віртуальної виробничої системи. Для вирішення задачі розміщення виробничих та технологічних об'єктів (ВТО) будемо використовувати наступні показники [10]:

– витрати на оренду (придбання) земельних ділянок для використання ВВС – Z ;

– витрати на проведення земельних та будівельних робіт, пов'язаних з підготовкою до розміщення ВТО – P ;

– витрати на розміщення та монтаж ВТО – W ;

– час витрачений на прив'язку та розміщення ВТО у новій ВВС – T ;

– ризики пов'язані з розташуванням ВВС на земельній поверхні (у тому числі екологічні) – R .

Для раціонального розміщення ВТО на земельних ділянках, скористаємося методом цілочисельного лінійного програмування з використанням булевих змінних [11]. Для вибору j -ї земельної ділянки (ЗД) для розміщення i -го ВТО булева змінна буде мати наступний вигляд:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{якщо для } i \text{ – го технологічного об'єкту} \\ & \text{обрана } j \text{ – та земельна ділянка;} \\ 0 & \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

При цьому

$$\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} = 1,$$

що значить обов'язковий вибір однієї ділянки під розміщення i -го ВТО, де m_i – кількість можливих земельних ділянок для розміщення i -го ВТО.

З урахуванням булевих змінних x_{ij} показники для вибору варіанту розміщення ВВС на земній поверхні будуть представлені у вигляді:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} z_{ij},$$

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} p_{ij},$$

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} w_{ij}, \quad (1)$$

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} t_{ij},$$

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} r_{ij},$$

де n – множина можливих ділянок для розміщення усіх ВТО, які входять до складу ВВС.

Для вирішення поставленої задачі необхідно провести оптимізацію як за окремими (локальними) показниками, так і за комплексним критерієм, до якого входять окремі показники. В якості прикладу локальної оптимізації розглянемо задачу мінімізації витрат, пов'язаних з орендою (придбанням) земельних ділянок для розміщення ВВС на земній поверхні.

Необхідно:

$$\min Z, Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} z_{ij},$$

з урахуванням вимог, пов'язаних з обмеженими можливостями підприємства, що розвивається:

$$P \leq P', P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} p_{ij},$$

$$W \leq W', W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} w_{ij},$$

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} t_{ij}, \quad (2)$$

$$R \leq R', R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} r_{ij},$$

де Z', P', W', T', R' – максимально допустимі значення показників Z, P, W, T, R .

У результаті мінімізації локальних показників отримаємо оптимальні значення у вигляді Z^*, P^*, W^*, T^*, R^* .

Для вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації у вигляді пошуку компромісного рішення за розміщення ВВС на земній поверхні з урахуванням допустимих значень усіх показників Z', P', W', T', R' , необхідно задати, з допомогою експертів (фахівців у галузі організації нових виробництв), «ваги»

(значимість) окремих показників $\alpha_Z, \alpha_P, \alpha_W, \alpha_T, \alpha_R$. При цьому:

$$\alpha_Z + \alpha_P + \alpha_W + \alpha_T + \alpha_R = 1. \quad (3)$$

Для пошуку компромісного рішення будемо використовувати найпростіше представлення комплексного показнику у вигляді згортки локальних показників (зважене адитивне представлення):

$$K = \alpha_Z \hat{Z} + \alpha_P \hat{P} + \alpha_W \hat{W} + \alpha_T \hat{T} + \alpha_R \hat{R} = 1, \quad (4)$$

де $\hat{Z}, \hat{P}, \hat{W}, \hat{T}, \hat{R}$ – пронормовані значення показників (0...1) з урахуванням проведеної оптимізації за всіма локальними показниками Z, P, W, T, R :

$$\hat{Z} = \frac{Z - Z^*}{Z' - Z^*}, \hat{P} = \frac{P - P^*}{P' - P^*}, \hat{W} = \frac{W - W^*}{W' - W^*}, \quad (5)$$

$$\hat{T} = \frac{T - T^*}{T' - T^*}, \hat{R} = \frac{R - R^*}{R' - R^*}$$

Необхідно знайти мінімальне значення комплексного показника:

$$\min K, K = \alpha_Z \hat{Z} + \alpha_P \hat{P} + \alpha_W \hat{W} + \alpha_T \hat{T} + \alpha_R \hat{R}, \quad (6)$$

з урахуванням вимог та обмежень:

$$\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} = 1,$$

для усіх $i=1 \dots n, Z \leq Z', P \leq P', W \leq W', T \leq T', R \leq R'$.

Формування комунікаційних зв'язків між розміщеними виробничими та технологічними об'єктами віртуальної виробничої системи. Для формування комунікацій між окремими ВТО необхідно враховувати витрати, пов'язані з формуванням магістральних каналів, які зв'язують ВТО у єдину структуру ВВС. Ці витрати залежать від довжин магістралі v_{ije} , які зв'язують i -й та j -й ВТО по e -й трасі прокладки. Зв'язки між i -м та j -м ВТО представимо у вигляді матриці M , у якій на перетині i -ї строки та j -го стовбця стоїть 1, або 0, що вказує на наявність зв'язку виходу i -го ВТО зі входом j -го ВТО, $i \neq j, i, j = 1 \dots n$, де n – кількість ВТО, які входять до складу ВВС.

Введемо булеву змінну u_{ije} :

$$u_{ije} = \begin{cases} 1 - \text{якщо для зв'язку } i \text{ та } j\text{-го ВТО} \\ \text{обрано } e\text{-й варіант траси,} \\ \text{який поєднує } i\text{-й та } j\text{-й вузли;} \\ 0 - \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

Тоді витрати на прокладку трас для комунікацій у вигляді магістралей, як поєднують між собою ВТО для забезпечення завдань управління та інформаційному обміну у віртуальному виробництві, будуть мати наступний вигляд:

$$Q = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \sum_{e=1}^{m_i} y_{ije} v_{ije} l_e, \quad (7)$$

де l_e – вартість прокладки 1 км траси для e -го варіанту траси прокладки.

Необхідно мінімізувати витрати Q , пов'язані з прокладкою траси для магістралей:

$$\min Q = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n y_{ije} v_{ije} l_e, \quad (8)$$

з урахуванням обмежень за строками виконання робіт, пов'язаних з організацією комунікаційних взаємодій між ВТО у ВВС:

$$S \leq S', S = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n y_{ije} s_{ije}, \quad (9)$$

де s_{ije} – час прокладки магістрального каналу по e -ій трасі прокладки, яка поєднує i -й та j -й вузол ВВС.

Після вирішення першої та другої задачі дослідження буде сформована архітектура ВВС (множина ВТО з комунікаційними зв'язками між ними), з урахування прив'язки об'єктів до земельних ділянок та можливими трасами для поєднання окремих ВТО за допомогою магістральних каналів.

Моделювання виробничого циклу у віртуальній виробничій системі. Для моделювання виробничого циклу ВВС будемо використовувати агентне імітаційне моделювання на платформі JADE [12]. Відокремимо наступні агенти у моделі:

1 – агент «генератор замовлень» ВВС;

2 – агент «технологічний маршрут», який відповідає за виконання замовлень щодо ВВС у вигляді послідовності ВТО, на яких виконуються основні технологічні операції;

3 – агент «часова затримка технологічних операцій (ТО)», який відповідає за час виконання основних технологічних операцій в окремих ВТО;

4 – агент «часова затримка транспортування вантажів (ТВ)», який відповідає за час транспортування вантажів між окремими ВТО при виконанні замовлення;

5 – агент «черга» відповідає за формування черг при обслуговуванні замовлень на окремих ВТО;

6 – агент «результати моделювання» (завантаження ВТО, простоювання ВТО, розмір черг, кількість виконаних замовлень, середній час виконання замовлення тощо);

7 – агент «монітор» відповідає за планування та реалізацію подій, пов'язаних з виконанням замовлень, керує системним часом у моделювання;

8 – агент «архітектура ВВС» відповідає за формування множини ВТО та зв'язків між ними.

На рис. 1 представлена структура агентної моделі.



Рис. 1. Структура агентної моделі

Висновки, шляхи подальших досліджень.

Запропонований підхід доцільно використовувати на початкових етапах, пов'язаних з формуванням нових виробничих та технологічних об'єктів у вигляді віртуального виробництва, коли необхідно оцінити витрати, пов'язані з орендою (придбанням) земельних ділянок і їх підготовкою шляхом проведення земельних та будівних робіт для розміщення нових виробничих об'єктів, витрати пов'язані з формуванням комунікаційних зв'язків між виробничими та технологічними об'єктами віртуального виробництва, планувати строки виконання підготовчих робіт, оцінювати можливі ризики, пов'язані з розміщенням віртуальної виробничої системи на земній поверхні.

Подальші дослідження будуть присвячені завданням моделювання управлінських дій у віртуальній виробничій системі, логістичним взаємодіям між окремими підприємствами віртуальної системи, ризикам пов'язаним з довгими логістичними ланцюжками поставальників, ризиками, які виникають з-за можливих загроз та вразливостей у розподіленому віртуальному виробництві при виконанні нових замовлень.

Список літератури

- Lindgren M., Bandhold H. *Scenario Planning The link between future and strategy*. Palgrave Macmillan UK, 2002. 180 p. DOI: <https://doi.org/10.1057/9780230511620>.
- Uskenbayeva R. K., Kurmangaliyeva B. K., Yedilkhan D. Situational Management for Process Implementation of Working Operations of the Business Process. *54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*. Hangzhou, China, 2015. P. 292–297. DOI: <https://doi.org/10.1109/SICE.2015.7285573>.
- Paulsen S., Boens J. Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management. National Institute of Standards and Technology, 2012. 21 p.
- Fedorovich O., Uruskiy O., Pronchakov Yu., Lukhanin M. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2021. № 1 (97). С. 150–157. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.1.13>.
- Xu X. et al. Transportation network redundancy: Complementary measures and computational methods. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2018. Vol. 114. P. 68–85.
- Федорович О. С. Прончаков Ю. Л. Метод формування логістичних транспортних взаємодій для нового портфелю замовлень розподіленого віртуального виробництва. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2020. № 2 (94). С. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2020.2.09>.

7. Pawluczuk Ju. K проблеме управления производственными ресурсами предприятия. *Zarządzanie: Teoria i praktyka*. 2011. No. 1(3). P. 17–26.
8. Roszak M. T. Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej. *Open Access Library*. 2014. Vol. 1 (31). 150 p.
9. Наконечний О. Аналіз умов та факторів, що впливають на ефективність функціонування системи логістики сил оборони держави. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2019. Т. 3, №. 55. С. 48–57.
10. Костина Л. П. Метод решения задачи оптимального распределения ресурсов на стохастических сетях со сложной пространственно-временной структурой. *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 1992. Вып. 3 (№ 15). С. 36–43.
11. *Исследование операций*. Т. 2. / под ред. Дж. Моудера, С Элмаграби. Москва: Мир, 1981. 677 с.
12. Кравец Р. О. Динамічна координація стратегій мультиагентних систем. *Бюлетень Національного університету «Львівська політехніка»*. 2011. № 699. С. 134–144.
- computer systems. 2021, vol. 1 (79), pp. 150–157. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.1.13>
5. Xu X. et al. Transportation network redundancy: Complementary measures and computational methods. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2018, vol. 114, pp. 68–85.
6. Fedorovich O. E., Pronchakov Yu. L. Metod formuvannya lohistrynykh transportnykh vza-yemodiy dlya novoho portfelyu zamovlen' rozpodileno-ho virtual'noho vyrobnytstva [Method of formation of logistic transport interactions for a new portfolio of orders of distributed virtual production]. *Radioelektronni i kompyuterni systemy - Radio electronic and computer systems*. 2020, no. 2, pp. 102–108
7. Pawluczuk Ju. K проблеме управления производственными ресурсами предприятия [Problemy zarzadzania zasobami produkcyjnymi przedsiebiorstwa]. *Zarządzanie: Teoria i praktyka*, 2011, no. 1 (3), pp. 17–26.
8. Roszak M. T. Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej. *Open Access Library*. 2014, vol. 1 (31). 150 p.
9. Nakonechny O. Analiz umov ta faktoriv, shcho vplyvayut' na efektyvnist' funktsionuvannya systemy lohistyky syl oborony derzhavy [Analysis of conditions and factors influencing the efficiency of the logistics system of the state defense forces]. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zvyazku. Zbirnyk naukovykh prats'*. 2019, vol. 3, no. 55, pp. 48–57.
10. Kostina L. P. Metod resheniya zadachi optimal'nogo raspredeleniya resursov na stokhasticheskikh setyakh so slozhnoy prostranstvenno-vremennoy strukturoy [Method for solving the problem of optimal resource allocation on stochastic networks with a complex space-time structure]. *Vestnik Sankt-Peterburskogo universiteta*. 1992, iss. 3, no. 15, pp. 36–43.
11. Moulder J., Elmagrabi S. ed. *Issledovaniye operatsiy. Vol. 2.* [Operations Research]. Moscow, Mir Publ., 1981. 677 p.
12. Kravets P. O. Dynamichna koordynatsiya stratehiy mul'tyahentnykh system [Dynamic coordination of multi-agent systems strategies]. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"* / 2011, no. 699, pp. 134–144.

References (transliterated)

1. Lindgren M., Bandhold H. *Scenario Planning The link between future and strategy*. Palgrave Macmillan UK, 2002. 180 p. DOI: <https://doi.org/10.1057/9780230511620>.
2. Uskenbayeva R. K., Kurmangaliyeva B. K., Yedilkhan D. Situational Management for Process Implementation of Working Operations of the Business Process. *54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Hangzhou, China, 2015, pp. 292–297. DOI: <https://doi.org/10.1109/SICE.2015.7285573>.
3. Paulsen S., Boens J. Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management. National Institute of Standards and Technology, 2012. 21 p.
4. Fedorovich O., Uruskiy O., Pronchakov Yu., Lukhanin M. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise. *Radioelektronni i kompyuterni systemy - Radio electronic and*

Надійшло (received) 29.04.2021

Відомості про автора / Сведения об авторе / About the Author

Прончаків Юрій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету програмної інженерії та бізнесу, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна, +380955773857, +380506378768, e-mail: pronchakov@gmail.com.

Прончаків Юрій Леонідович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета программной инженерии и бизнеса, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, +380955773857, +380506378768, e-mail: pronchakov@gmail.com.

Pronchakov Yurii Leonidovich, – Candidate of Technical Sciences PhD, Associate Professor, Dean of the Software Engineering and Business Faculty, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”; Kharkiv, Ukraine, +380955773857, +380506378768, e-mail: pronchakov@gmail.com.