

УДК 656.212.6

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.172.2017.116617>

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ПРИ ВИКОНАННІ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ

Кандидати техн. наук С. М. Продащук, Г. В. Шаповал, асист. Г. Є. Богомазова, студ. М. В. Продащук

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

Кандидаты техн. наук С. Н. Продащук, А. В. Шаповал, ассист. А. Е. Богомазова, студ. Н. В. Продащук

## THE STUDY OF THE DISTRIBUTION OF THE LOADING AND UNLOADING RESOURCES WHEN PERFORMING CARGO OPERATIONS

Phd. tehn. S. M. Prodashchuk, G. V. Shapoval, as. G. E. Bogomazova, stud. M. V. Prodashchuk

*Значну частину обігу вантажні вагони перебувають під виконанням вантажних операцій. Це найбільш трудомісткі, складні та дорогі роботи, на ефективність яких суттєво впливає технологія роботи. Для зменшення витрат, що виникають під час здійснення вантажних операцій, запропонована модель оптимального розподілу навантажувально-розвантажувальних ресурсів, застосування якої дозволить визначити найбільш раціональну технологію роботи шляхом скорочення експлуатаційних витрат.*

**Ключові слова:** вантажні операції, вантажні фронти, технологія роботи, раціональний розподіл.

*Значительную часть оборота грузовые вагоны находятся под выполнением грузовых операций. Это наиболее трудоемкие, сложные и дорогостоящие работы, на эффективность которых существенно влияет технология работы. Для уменьшения затрат на выполнение грузовых операций предложена модель оптимального распределения погрузочно-разгрузочных ресурсов, которая позволит определить наиболее рациональную технологию работы грузового фронта за счет сокращения эксплуатационных расходов.*

**Ключевые слова:** грузовые операции, грузовые фронты, технология работы, рациональное распределение.

*The analysis carried out in the work showed that a significant part of their turnover time freight cars are under the performance of cargo operations. These operations are the most laborious, complex and have a high cost. Time for performing loading, unloading, reloading*

*resources that are used for this purpose. In addition, during the operation of cargo operations, the technology of the cargo front operation is affected. Efficiency of cargo operations depends on the distribution of loading and unloading resources by type of work performed and types of cargo that are processed. To reduce the costs that arise when carrying out freight operations on the freight fronts of the station and the access road, a model is proposed to determine the optimal distribution of loading and unloading resources. The use of the proposed model will allow to determine the most optimal technology of the freight front operation by reducing operating costs at a rational level of loading and unloading resources. Simulation of the work of a cargo front for the conditions of a freight station using combinatorial analysis methods is carried out.*

**Keywords:** cargo operations, cargo fronts, technology, rational distribution.

**Вступ.** В сучасних умовах реформування залізничного транспорту при несприятливому економічному становищі в країні, збитковості пасажирських перевезень, зменшенні обсягу перевезень вантажів питання ефективності та раціоналізації використання виробничих і трудових ресурсів, максимальної економії та скорочення витрат на залізничному транспорті набувають актуальності [1]. На сьогодні понад 70 % вантажів перевозяться за низькими тарифами [2]. Тому одним з основних джерел доходу залізниці є вантажна та комерційна діяльність. На залізничному, як і на інших видах транспорту, ці роботи найбільш трудомісткі, важкі та мають велику вартість. За даними Укрзалізниці, в теперішній час на мережі залізниць нараховується 1521 станція, з яких 1100 станцій відкриті для виконання вантажних операцій, тобто 76,3 %. Вантажні операції виконують сортувальні, дільничні, вантажні станції та майже 60 % проміжних станцій.

Але недостатній розвиток прогресивних технологій виконання вантажних операцій, нераціональний розподіл вантажних ресурсів по вантажних фронтах викликають суттєву потребу в трудових і матеріальних ресурсах, що значно зменшує дохідність залізниць. Тому невідкладного вирішення потребують питання технічного переоснащення та модернізації об'єктів вантажного господарства, раціонального розподілу існуючих ресурсів та удосконалення

технології роботи з урахуванням взаємодії усіх ланок виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання удосконалення технології роботи тісно пов'язані з оптимізацією технічного оснащення станцій.

Питаннями організації вантажної та комерційної роботи, комплексної механізації і автоматизації навантажувально-розвантажувальних робіт, надійності роботи навантажувально-розвантажувальних машин, моделювання технології роботи на основі прогнозування займалися Ломотько Д. В. [3], Бутько Т. В. [4], Сміхов А. О. [5, 6], Котенко А. М. [7] та багато інших вчених. В роботах [8, 9] розглянуті питання побудови математичних моделей прогнозування кількісних та якісних показників вантажної роботи, обслуговування транспортних заявок, керування запасами, розподілу вантажних пристроїв по вантажних фронтах та побудови оптимізаційних динамічних моделей. В моделях не враховані витрати, що пов'язані із затримкою документів і вантажу на шляху прямування. Автори в дослідженні [10] стверджують, що головним напрямом щодо покращення ефективності функціонування залізниць України є оптимальний розподіл вагонопотоків по дільницях і напрямках мережі. При цьому не врахована переробна спроможність вантажних фронтів. Організація роботи залізничного транспорту з промисловими підприємствами для скорочення непродуктивних простоїв під вантажними операціями розглядається в

[11]. Необхідною складовою для ефективного виконання вантажних операцій є достовірне прогнозування та, на його основі, якісне планування вантажних робіт. У галузі вдосконалення оперативного планування навантаження-вивантаження працювали вчені [12, 13]. Для планування роботи вантажного транспорту в [14] пропонується алгоритм нечіткої регресії з точним передбаченням і пристосованістю системи до реальної ситуації. Автори стверджують, що алгоритм нечіткої регресії є більш ефективним, ніж нейронна мережа при великомасштабному плануванні та прогнозуванні. До останнього часу не ставилось питання про оптимальний розподіл технічних засобів між окремими вантажними фронтами. Тому виникає необхідність перегляду існуючих технологій роботи, розробки нових методів розрахунку технологічних параметрів та моделей роботи станцій та вантажних районів.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою дослідження є вирішення прикладної задачі підвищення ефективності функціонування вантажного фронту станції шляхом удосконалення технології роботи навантажувально-розвантажувальних ресурсів при виконанні вантажних операцій шляхом їх раціонального розподілу.

Сформована мета потребує розв'язання таких завдань:

– формалізація технології роботи вантажного фронту станції при виконанні вантажних операцій різними типами навантажувально-розвантажувальних ресурсів;

– надання оцінки ефективності запропонованої технології роботи при раціональному розподілі навантажувально-розвантажувальних ресурсів.

**Основна частина дослідження.** При застосуванні на вантажних фронтах декількох видів пересувних навантажувально-розвантажувальних ресурсів (НРР), за допомогою яких переробляються різні види навалочних вантажів, наприклад, тракторні

та ківшові навантажувачі різних типів, екскаватори різних типів, грейфери, однакшові навантажувачі та ін., які в однаковій мірі можливо використовувати при переробці гравію, вугілля, щебеню, піску та інших навалочних вантажів, необхідно визначення ефективної технології роботи при раціональному розподілі існуючих НРР з метою мінімізації експлуатаційних витрат. Різні види ресурсів мають різну вартість і продуктивність при переробці різних видів вантажів.

При відомому обсязі  $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_m$  ( $i=1, 2, \dots, b$ ) позначимо кількість НРР кожного типу  $M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_n$  ( $i=1, 2, \dots, M^{\max}$ ). Необхідно знайти такі  $Q_{ik}$  і  $M_{ik}$ , при яких функціонал  $R^w$  набуває мінімуму

$$R^w(M_{ik}, Q_{ik}) = \min \sum_{k=1}^{M^{\max}} \sum_{i=1}^b R_{ik}, \quad (1)$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} M_i^{\min} \leq M_i \leq M_i^{\max} \\ T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max} \\ T_{доцт} = T_{см} \end{cases} \quad (2)$$

де  $b$  – кількість видів вантажу на вантажному фронті;

$M_{ik}$  – кількість НРР  $k$ -го типу для роботи з вантажем  $i$ -го виду, шт;

$Q_{ik}$  – обсяг вантажу  $i$ -го виду, що перевантажено  $k$ -м типом НРР, т;

$T_{см}$  – статутний термін доставки, доб.

Вираз критерію оптимізації для переробки  $i$ -го вантажу  $k$ -м типом машин, тобто модель розподілу НРР для переробки різних видів вантажів при недетермінованому надходженні транспортних засобів до вантажного фронту

$$R_{ik} = V_{рем}^{HPM} + V_{пр}^a + V_{оч}^{H(ε)} + V_{обсл}^{HPM} + V_{оч}^{HPM} + V_{ел(n)}^{HPM} + V_{затр}^{док} + V_{затр}^{вант}. \quad (3)$$

Витрати, пов'язані з амортизацією і ремонтом НРР з урахуванням коефіцієнта ефективності капіталовкладень

$$V_{рем}^{HPM} = K_{ik} M_{ik} (s_k + e_k), \quad (4)$$

де  $K_{ik}$  – вартість одного НРР  $k$ -го типу, грн;

$s_k$  – частка амортизаційних відрахувань на НРР  $k$ -го типу;

$e_k$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень на НРР  $k$ -го типу.

Витрати, пов'язані з простоем автотранспортних засобів при навантаженні або вивантаженні НРР  $k$ -го типу  $i$ -го вантажу

$$V_{оч}^{H(ε)} = N_a t_{aik} C_a, \quad (5)$$

де  $N_a$  – кількість автомобілів, що надходять до вантажного фронту за час його роботи, шт;

$t_{aik}$  – час виконання вантажних операцій НРР  $k$ -го типу з  $i$ -м вантажем, год;

$C_a$  – вартість години простою автомобілю, грн.

Витрати через очікування автотранспортом виконання вантажних операцій

$$V_{оч}^{H(ε)} = N_a t_{owa} C_a, \quad (6)$$

$$t_{owa} = \frac{\frac{1}{2} Q_{ik} t_a (1 + v_a^2)}{TP_{ik} M_{ik} (1 - \frac{Q_{ik}}{TP_{ik} M_{ik}})}, \quad (7)$$

$$t_{kow} = \frac{\frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T} \right) t_a (1 + v_a^2) Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T}, \quad (11)$$

де  $t_{kow}$  – час очікування НРР  $k$ -го типу початку вантажних операцій, год;

$C_{prk}$  – вартість години простою НРР  $k$ -го типу, грн.

де  $t_{owa}$  – час очікування автотранспортом виконання вантажних операцій, год;

$t_a$  – час простою автотранспорту, год;

$v_a$  – коефіцієнт варіації надходження автомобілів до вантажного фронту;

$T$  – час роботи вантажного фронту, год;

$P_{ik}$  – продуктивність НРР  $k$ -го типу при переробці  $i$ -го вантажу, т/год.

$$V_{оч}^{H(ε)} = \frac{\frac{1}{2} N_a Q_{ik} t_a (1 + v_a^2) C_a}{TP_{ik} M_{ik} (1 - \frac{Q_{ik}}{TP_{ik} M_{ik}})}. \quad (8)$$

Витрати на утримання працівників, що обслуговують НРР  $k$ -го типу,

$$V_{обсл}^{HPM} = \frac{Q_{ik} M_{ik} C_{kw}}{k_o P_{ik}}, \quad (9)$$

де  $C_{kw}$  – заробітна платня працівників, що обслуговують НРР  $k$ -го типу, грн;

$k_o$  – коефіцієнт використання робочого часу НРР  $k$ -го типу.

Витрати, пов'язані з очікуванням НРР  $k$ -го типу виконання вантажних операцій, обумовлені випадковим підходом автомобілів до вантажного фронту,

$$V_{оч}^{HPM} = M_{ik} t_{kow} C_{prk}, \quad (10)$$

$$V_{оч}^{HPM} = \frac{\frac{1}{2} M_{ik} \left( 1 - \frac{Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T} \right) t_a (1 + v_a^2) Q_{ik} M_{ik} P_{ik} C_{prk}}{T}. \quad (12)$$

Витрати на електроенергію або паливо для НРР

$$V_{ел(n)}^{HPM} = \frac{Q_{ik} M_{ik} (C_{ke} + C_{kt})}{P_{ik}}, \quad (13)$$

де  $C_{ke}$  – вартість електроенергії для переробки  $i$ -го вантажу  $k$ -м типом НРР, грн;

$C_{kt}$  – вартість палива для переробки  $i$ -го вантажу  $k$ -м типом НРР, грн.

Витрати, пов'язані з затримкою оформлення перевізних документів на вантажі, що прибули або відправляються,

$$V_{затп}^{док} = N_d C_d (t_{stc} + t_{dd}), \quad (14)$$

де  $N_d$  – кількість затриманих документів, шт;

$C_d$  – вартість години затримки документа, грн;

$t_{stc}$  – тривалість затримки документів в станційному технологічному центрі, год;

$t_{dd}$  – тривалість затримки документів при їх доставці, год.

Витрати, пов'язані із затримкою вантажу на шляху прямування,

$$V_{затп}^{вант} = Q_i C_{Q_i} (t_{prm} + t_a + t_{stc} + t_{dd}), \quad (15)$$

де  $C_{Q_i}$  – вартість затримки тонни  $i$ -го вантажу, грн;

$t_a$  – час затримки автотранспорту при очікуванні НРР, год;

$t_{prm}$  – час затримки НРР при очікуванні автотранспорту, год.

Цільова функція в явному вигляді

$$R^w = \sum_{k=1}^{M^{\max}} \sum_{i=1}^b \left[ K_{ik} M_{ik} (s_k + e_k) + N_a t_{aik} C_a + \frac{\frac{1}{2} N_a Q_{ik} t_a (1 + v_a^2) C_a}{T M_{ik} P_{ik} \left( 1 - \frac{Q_{ik}}{T M_{ik} P_{ik}} \right)} + \frac{Q_{ik} M_{ik} C_{kw}}{k_o P_{ik}} + \frac{Q_{ik} M_{ik} (C_{ke} + C_{kt})}{P_{ik}} + N_d C_d (t_{stc} + t_{dd}) + \frac{\frac{1}{2} (M_{ik} \left( 1 - \frac{Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T} \right) t_a (1 + v_a^2) Q_{ik} M_{ik} P_{ik} C_{prk}}{T}}{T} + Q_{ik} C_{Q_i} (t_{prm} + t_a + t_{stc} + t_{dd}) \right] \rightarrow \min. \quad (16)$$

Проведено моделювання роботи для вихідних умов станції К за таких умов: на вантажний фронт станцій за добу надходить  $Q_1$  т вугілля,  $Q_2$  т щебеню та  $Q_3$  т піску; вантажі вивантажуються з вагонів за допомогою підвищеної колії, а до автомобілів – за допомогою ківшових навантажувачів: типу Д547 – 3 шт. та

типу Д483 – 2 шт.; продуктивність навантажувачів: на навантаженні вугілля Д547(ТО-7) –  $q_{11}$  т/год, Д483 –  $q_{21}$  т/год; на навантаженні щебеню Д547(ТО-7) –  $q_{12}$  т/год, Д483 –  $q_{22}$  т/год; на навантаженні піску Д547(ТО-7) –  $q_{13}$  т/год, Д483 –  $q_{23}$  т/год,  $x_{11}$  – кількість навантажувачів Д547, що використовуються при

навантаженні вугілля;  $x_{12}$  – кількість навантажувачів того ж типу, що використовуються при навантаженні щебеню;  $x_{13}$  – піску;  $x_{22}$  – кількість навантажувачів Д483, що використову-

ються при навантаженні вугілля;  $x_{22}$  – кількість навантажувачів того ж типу, що використовуються при навантаженні щебеню;  $x_{23}$  – піску.

Система обмежень

$$\begin{cases} 0 \leq x_{11} \leq x_1; 0 \leq x_{12} \leq x_1; 0 \leq x_{13} \leq x_1; \\ 0 \leq x_{21} \leq x_2; 0 \leq x_{22} \leq x_2; 0 \leq x_{23} \leq x_2 \\ 0 \leq x_{31} \leq x_3; 0 \leq x_{32} \leq x_3; 0 \leq x_{33} \leq x_3; \\ T(x_{11}Q_{cm11} + x_{21}Q_{cm21}) \geq Q_1; \\ T(x_{12}Q_{cm12} + x_{22}Q_{cm22}) \geq Q_2; \\ T(x_{13}Q_{cm13} + x_{23}Q_{cm23}) \geq Q_3, \end{cases} \quad (17)$$

де  $Q_{cm}$  – виробнича норма вироблення НРР, т/год.

Після моделювання роботи для вихідних умов станції К отримано залежність витрат від обраної технології

роботи (рисунок). Результати дослідження цільової функції свідчать про наявність мінімуму, що дозволяє визначити таку кількість обслуговуючих пристроїв та їх розподіл, який буде відповідати раціональній технології роботи.

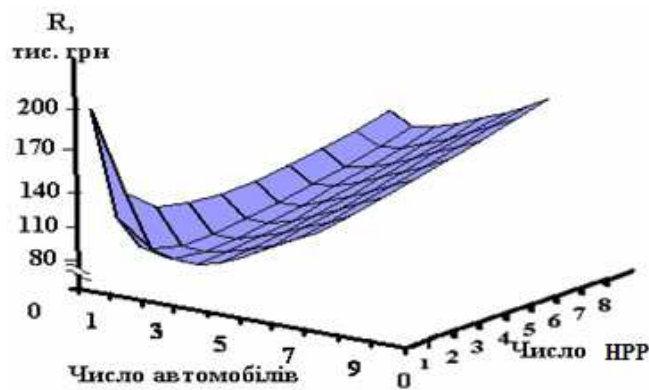


Рис. Дослідження цільової функції ефективного функціонування вантажного фронту

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Запропонована модель дозволяє за допомогою методів комбінаторного аналізу отримати такі значення змінних  $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, N_a$ , при яких функціонал (16) набуває мінімального значення, що і буде оптимальним

розподілом навантажувально-розвантажувальних ресурсів при переробці різних вантажів на вантажному фронті. Виявлено можливість економії експлуатаційних витрат завдяки удосконаленню технології на 5,3 % у порівнянні з існуючою технологією.

*Список використаних джерел*

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Схвалена розпорядженням Кабінету міністрів України від 20 жовтня 2010 р. N 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> – Загол. з екрану.
2. Продащук, С. М. Нова концепція тарифної політики для внутрішніх залізничних вантажних перевезень [Текст] / С. М. Продащук, Г. Є. Богомазова, Р. А. Пурій // Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – Вип. 164. – С. 160-168.
3. Ломотько, Д. В. Удосконалення підходів до оптимізації режимів роботи вантажних фронтів в умовах завезення-вивозу вантажів [Текст] / Д. В. Ломотько, Д. О. Голоколосов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 23. – С. 78-83.
4. Butko T. et al. Improvement of technology for management of freight rolling stock on railway transport [Text] / T. Butko, S. Prodaschuk, G. Bogomazova, M. Prodaschuk, R. Purii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Т. 3. – № 3 (87). – С. 4-11
5. Смехов, А. А. Математические модели процессов грузовой работы [Текст] / А. А. Смехов. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.
6. Смехов, А. А. Применение математических методов для расчета оптимальных параметров грузовых фронтов [Текст] / А. А. Смехов // Труды МИИТа. – М.: МИИТ, 1968. – Вып. 286. – С. 5-60.
7. Котенко, А. Н. Совершенствование технологий погрузочно-разгрузочных операций [Текст] / А. Н. Котенко // Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 7. – С. 27-30.
8. Берестов, І. В. Підвищення ефективності взаємодії станції примикання та під'їзних колій [Текст] / І. В. Берестов, Г. В. Шаповал, Н. В. Мерзлякова // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-т залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 68-73.
9. Бауліна, Г. С. Формування оптимізаційної моделі роботи вантажного фронту [Текст] / Г. С. Бауліна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДУЗТ, 2013. – № 5. – С. 44-46.
10. Лаврухин, А. В. Усовершенствование регулирования парка грузовых вагонов разных собственников [Текст] / А. В. Лаврухин, А. Е. Богомазова // Логистическое управление грузо- и вагонопотоками: Труды специалистов УкрГАЗТ. – Германия: Palmarium Academic Publishing, 2014. – С. 83-95.
11. Удосконалення технології оперативного планування вантажної роботи при взаємодії власників рухомого складу із залізницею [Текст] / О. В. Лаврухин, В. С. Блиндюк, Г. Є. Богомазова [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 12-17.
12. Butko, T. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms [Text] / T. Butko, V. Prokhorov, D. Chekhunov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 3 (85). – P. 55–61.
13. Tornquist, J. Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon [Text] / J. Tornquist // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – Vol. 41, Issue 3, March 2007. – P. 249-266.
14. Najaf, P., & Famili, S. (2013). Application of an Intelligent Fuzzy Regression Algorithm in Road Freight Transportation Modelling [Text] / P. Najaf, S. Famili // Promet – Traffic&Transportation, 2013. – № 25 (4). – P. 311-322.

---

Продащук Світлана Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.:(057)730-10-26. E-mail: sp7728@ukr.net.

---

Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-26. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Богомазова Ганна Євгенівна, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85. E-mail: annabogomazova1234@gmail.com.

Продашук Микола Вікторович, студент кафедри теоретичної і прикладної інформатики факультету математики і інформатики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Тел.: (095) 449-71-18. E-mail: pn9920@ukr.net.

Prodashchuk Svitlana, Associate Professor, Doctor of Science (Rh.D), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-26. E-mail: sp7728@ukr.net.

Shapoval Ganna, Associate Professor, Doctor of Science (Rh.D), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-26. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Bogomazova Ganna, assistant of Chair of manage freight and commercial work, Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85 E-mail: annabogomazova1234@gmail.com.

Prodashchuk Mikola, student at the department of Theoretical and applied Informatics, faculty of Mathematics and Computer Sciences, Kharkiv national University named after V. N. Karazin. Tel.: (095) 449-71-18. E-mail: pn9920@ukr.net.

Стаття прийнята 09.10.2017 р.