

labour protection in AIC publications on the study of this problem suggests that to solve the problem of reducing accidents and injury to workers AIC by development and implementation of enterprise leading to improved safety management, which would be adapted to the peculiarities of agricultural production, based on the operational identification of primary events hazards analysis processes of formation of hazardous events-situations and the rapid adoption of emergency measures to prevent the occurrence of consequences. This is possible only when doing deep research of phenomena and processes that precede the occurrence of accidents, injuries, running and other undesirable phenomena.

The authors opened the thesis that the greatest risk of injury for machine operators create disadvantages for agricultural mobile power tools. For this reason, the granaries of agricultural enterprises leads to more severe injuries.

The existing system of monitoring the safe condition of the agricultural mobile power tools, equipment, jobs should be replaced by an improved system which provides for more in-depth examination of hazards with the analysis of possible consequences and the adoption of emergency measures to prevent their occurrence.

**Key words:** *model, process, event, danger, safety, maintenance, mobile energy mean, granary*

УДК 631.31:64

## **МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ ОПИСУ МАРШРУТУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ З УРАХУВАННЯМ ВИЯВЛЕННЯ КОМБІНАЦІЙ ВІДМОВ**

**Д. Ю. Калініченко, здобувач\***

**І. Л. Роговський, кандидат технічних наук**

**e-mail: irogovskii@gmail.com**

**Анотація.** В основі технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів за технічним станом лежить технічний контроль, за допомогою якого проводять безперервний або періодичний контроль параметрів технічного стану, що характеризують поточний фактичний стан вузлів, механізмів чи агрегатів. Прогнозування виконують при безперервному контролі

\*Науковий керівник – кандидат технічних наук І. Л. Роговський

© Д. Ю. Калініченко, І. Л. Роговський, 2017

для визначення наробітку, протягом якого збережеться працездатний стан, а при періодичному контролі – для визначення моменту часу наступного контролю.

Процес технічного контролю несправностей складається з виявлення та локалізації дефектів у системі зернозбиральних комбайнів. По мірі ускладнення технічних систем зернозбиральних комбайнів і зростання вимог до безпеки, надійності та екологічності, технічний контроль несправностей стає все більш значущою процедурою. Одним з прикладів є система технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів, де потрібна висока надійність і працездатність, низький рівень викидів, крім того, технічний контроль сприяє підвищенню ефективності ТО зернозбиральних комбайнів.

**Ключові слова:** *аналіз, система, стратегія, технічне обслуговування, зернозбиральний комбайн*

**Постановка проблеми.** Моделювання технології виконання робіт при технічному обслуговуванні агрегатів зернозбиральних комбайнів проектування технологічних процесів технічного обслуговування агрегатів зернозбиральних комбайнів пов'язано з формуванням найбільш ефективної виробничо-технічною базою, що забезпечує істотне зниження внутрішньовиробничих втрат техсервісного підприємства агропромислового комплексу [1]. При цьому зовнішні по відношенню до конкретного підприємства чинники, відповідно до мети і завдань цього дослідження, можна вважати форс-мажорними та виключити їх з подальшого аналізу [2].

**Аналіз останніх досліджень.** технологічний процес технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов  $K = \{k : k = \overline{1, K}\}$  представляє сукупність встановлення раніш типових поєднань сервісних робіт (далі – комплексів сервісних робіт – КСР) [2], цільову функцію дослідження можна представити в наступному адитивним виразом, що характеризує поточні виробничі втрати [3–8]:

$$C_{\Sigma_{ВН}} = \sum C_{\Sigma_{ПОМ}} = (C_{\Sigma_{ЗАЛ}} + C_{\Sigma_{ПРОП}} + C_{\Sigma_{РОЗ}}) N_P, \quad (1)$$

де  $C_{\Sigma_{ВН}}$  – узагальнені внутрішньо-виробничі втрати сервісного підрозділу аграрного підприємства, грн.;  $C_{\Sigma_{ПОМ}}$  – втрати аграрного виробництва, які формуються помилками розподілу техобслуговуючих агрегатів зернозбиральних комбайнів по КСР, грн.;  $C_{\Sigma_{ЗАЛ}}$  – затрати на виконання зайвих робіт при усуненні помилково виявлених дефектів, грн.;  $C_{\Sigma_{ПРОП}}$  – затрати на виконання

умовно повторних робіт при пропущенні помилково невиявлених дефектів, грн.;  $C_{\sum_{\text{роз}}}$  – втрати, що формуються помилками при розподілі агрегатів за технологічними маршрутами технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів, грн.;  $N_p$  – виробнича програма сервісного підрозділу аграрного підприємства, од./рік.

При цьому кожен з КСР являє собою деяку підмножину  $\{i\}_k$  ремонтних (розбирально-складальних) операцій, всю множину  $R = \{r: r = \overline{1, R}\}$ , яка є необхідною і достатньою, для усунення дефектів будь-якого агрегату з числа ремонтваних на даному підприємстві [9].

**Мета досліджень** узагальнити та виконати аналіз застосування математичного апарату опису маршруту технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов.

**Результати досліджень.** Складова  $C_{\sum_{\text{пом}}}$  цільової функції (1) може бути виражена функціоналом  $C_{\sum_{\text{пом}}} = f(C_{ij}, P_{ij})$ , де  $C_{ij}$  – узагальнені витрати на виконання робіт щодо виявлення та усунення і-го дефекту j-го агрегату, що підлягає технічному обслуговуванню, грн.;  $P_{ij}$  – ймовірність події, яка полягає у виникненні помилки розпізнавання і-го дефекту j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню.

При цьому ймовірність  $P_{ij}$ , враховуючи положення теорії ймовірностей, можна визначити наступним вираженням:

$$P_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij} \quad (2)$$

де  $\alpha_{ij}$  – помилка розпізнавання 1-го роду (помилкова несправність) і-го дефекту j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню на етапі діагностування;

$\beta_{ij}$  – помилка розпізнавання 2-го роду (пропуск несправності) і-го дефекту j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню на етапі діагностування.

Вводячи цілочисельні змінні, що приймають значення:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases},$$

1 – якщо і-й відсутній дефект j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню визначається як присутній;

0 – в іншому випадку (помилкова несправність),

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases},$$

1 – якщо і-й відсутній дефект j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню визначається як присутній;

0 – в іншому випадку (пропуск несправності),

Вірогідність  $P_{ij}$  можна записати в розгорнутому вигляді:

$$P_{ij} = \{1 - [\delta_{ij}(1 - \alpha_{ij}) + \eta_{ij}(1 - \beta_{ij})]\} \quad (3)$$

У загальному випадку через помилкове визначення і-го дефекту j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню, коли в дійсності такого дефекту немає (помилкова несправність –  $\alpha_{ij}$ ) виникають втрати  $C_{\sum ij^{ЗАЛ}}$ . Затрати  $C_{\sum ij^{ПРОП}}$  на умовно повторне виконання робіт формуються помилками  $\beta_{ij}$ , що виникають у разі пропуску і-го дефекту при діагностуванні j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню (пропуск несправності).

Аналіз можливих виробничих ситуацій дозволяє представити функціонал (1) в наступному вигляді:

$$C_{\sum ВН} = \sum C_{\sum ПОМ} = (C_{\sum ЗАЛ} + C_{\sum ПРОП} + C_{\sum РОЗ}) N_P.$$

Таким чином, досягнення поставленої мети – зниження внутрішньовиробничих втрат при функціонуванні працездатності системи j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню – можливо лише при вирішенні задач зниження абсолютних значень помилок на всіх етапах виробничого процесу технічного обслуговування.

Сукупність методів для інтелектуального аналізу даних об'єкта досліджень отримали назву Data Mining. Знання, що видобуваються цими методами, зазвичай представляють у вигляді моделей.

Одним з таких класів моделей є штучні нейронні мережі – це математичні моделі, що представляють собою упорядкований набір штучних нейронів, які пов'язані один з одним певним чином.

Вибір штучної нейронної мережі як математичний апарат для розв'язання задачі розпізнавання дефектів агрегатів сервісного фонду і розподілу їх по комплексам сервісних робіт j-го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню, зумовлений низкою причин.

Завдяки здатності до навчання і запам'ятовування, а також шляхом зміни адаптивних параметрів штучних нейронів з яких складається мережа, можна домогтися високого ступеня точності при вирішенні даного завдання.

Застосування штучної нейронної мережі дозволяє уникнути процесу накопичення статистичної інформації для розрахунку

ймовірностей появ дефектів (як це робить при методі організації та оптимізації технологічних процесів відновлення працездатності  $j$ -го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню, за типовими сполученням сервісних робіт) для оптимального розподілу агрегатів по комплексам техсервісних робіт.

Перевірка адекватності побудованих на основі штучної нейронної мережі моделей проводиться з використанням тестових вибірок, які формуються під час проведення експерименту над об'єктом досліджень, що гарантує високу ступінь надійності моделей та ін.

При застосуванні штучної нейронної мережі перш за все постає питання вибору архітектури мережі (числа «прихованих шарів» і кількості «штучних нейронів» в кожному з них) під конкретну задачу.

Штучний нейрон являє собою вузол штучної нейронної мережі, змодельований за спрощеним принципом функціонування біологічного нейрона. Першою роботою, яка заклала теоретичні основи створення інтелектуальних пристроїв, вважається стаття У. Мак-Каллока і В. Піттса, яка була опублікована в 1943 році.

З математичної точки зору, штучний нейрон являє собою функцію від єдиного аргументу – лінійної комбінації всіх сигналів на вході (дана функції отримала назву активаційна функція), за допомогою якої виробляється вихідний сигнал нейрона.

У загальному вигляді, математична модель штучного нейрона є зваженим сумматором і має вигляд:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + x_0 \cdot w_0 = \sum_{i=0}^n x_i \cdot w_i, \quad (5)$$

де  $S$  – зважена сума вхідних сигналів нейрона;  $x_i$  – значення на  $i$ -м вході нейрона;  $w_i$  – вага  $i$ -го синапса;  $n$  -кількість входів;  $x_0$  і  $w_0$  – відповідно значення додаткового вхідного сигналу ( $x_0 = 1$ ) і його ваги.

Вихідне значення нейрона є функцією його стану:

$$Y = f(S), \quad (6)$$

де  $f(S)$  – функція активації.

Всі сфери нейронної мережі можна умовно розділити на три групи.

Перша сфера нейронів в багатошаровій нейронної мережі називається вхідним. У ньому зазвичай не виконуються ніякі обчислювальні операції, тому що він складається з нейронів, які служать для отримання даних (сигналів) і подальшої передачі на входи прихованого шару штучної нейронної мережі ;

- приховані (проміжні) сфери є основними, тому що найчастіше складають більшу частину структури штучної нейронної

мережі. Обчислення в них відбувається за формулами (6) і (7);

- вихідна сфера – результат роботи мережі.

Вибір сигмоїда як активаційної функції визначено тим, що вона диференційована на всій осі абсцис і має дуже просту похідну. При використанні алгоритму зворотного поширення помилки, це сприяє прискоренню процесу навчання мережі.

Вихідна значення нейрона, при сигмоїдальній активаційної функції, набуває такого вигляду:

$$Y = f(S) = \frac{1}{1 + e^{-aS}} \quad (7)$$

На рис. 1 графічно схематично представлена модель штучного нейрона, де кількість вхідних сигналів позначається  $X$ . Тут множинні сигнали  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$  на відповідних входах (в сукупності позначаються вектором  $X$ ) мають свої ваги (які відображають силусиноптичний зв'язок та їх множина позначається вектором  $W$ ). Твір сигналів і відповідних ваг подається на інтегральний блок, який алгебраїчно складає входи.

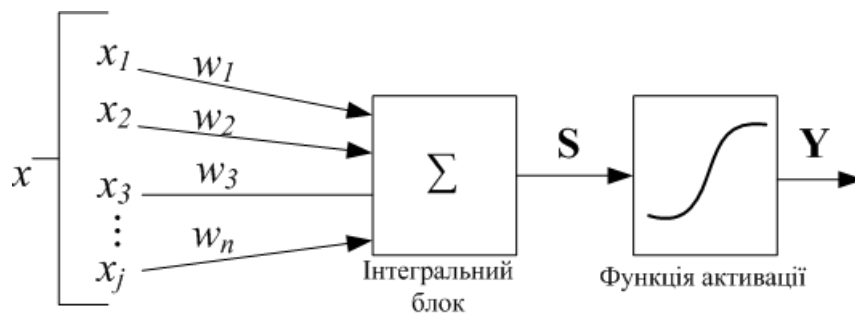


Рис. 1. Модель штучного нейрона.

В результаті підсумовування, отримане значення є аргументом активаційної функції, яка і створює вихідне значення  $Y$ .

Виходячи з теоретичних напрацювань Хехт-Нільсеном питання про оптимальну кількість прихованих шарів, а також з аналізу практичної застосовності штучної нейронної мережі для різних завдань класифікації, можна зробити висновок, що використання більше двох прихованих шарів при проектуванні мережі найчастіше недоцільно.

За формулами (2.8) і (2.9), що є наслідком з теорем Арнольда-Колмогорова-Хехт-Нільсена, можна розрахувати необхідну кількість нейронів для прихованого шару.

Спочатку відбувається оцінка необхідного числа ваг синаптичного зв'язку:

$$\frac{N_y \cdot Q}{1 + \log_2 Q} \leq N_w \leq N_y \cdot \left( \frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y,$$

де  $N_y$  – число нейронів вихідного шару;

$Q$  – кількість значень навчальної вибірки;

$N_w$  – необхідне число синаптичних ваг;

$N_x$  – число нейронів вхідного шару.

Після цього, число нейронів в прихованому шарі буде визначатися за формулою:

$$L = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (9)$$

Проте, як показує практика побудови ШНМ, при такому підході не можна стверджувати, що число нейронів в прихованому шарі було оптимально підібрано під поставлену задачу, крім того, зазвичай в результаті виходить великий розмах інтервалу, в якому лежить значення  $L$ .

Тому, наслідок з теорем Арнольда-Колмогорова-Хехт-Нільсена буде використано лише для визначення верхньої межі значення нейронів ( $R$ ) в прихованому шарі. Відкинувши нижню межу інтервалу у формулі (8), прирівнявши  $N_w$  до залишилася верхній межі і підставивши формулу (9) в (8), отримуємо:

$$R = \frac{N_y \cdot \left( \frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y}{N_x + N_y}. \quad (10)$$

Надалі,  $R$  використовується як верхня межа, до якого число нейронів буде нарощуватися, поки не досягне оптимального значення. Як показує досвід побудови моделей на основі штучної нейронної мережі, нарощування нейронів в прихованому шарі понад отриманого межі  $R$  в більшості випадків є недоцільним.

### Висновок

1. Таким чином, досягнення поставленої мети – зниження внутрішньовиробничих втрат при функціонуванні працездатності системи  $j$ -го агрегату зернозбирального комбайна, що підлягає технічному обслуговуванню – можливо лише при вирішенні задач зниження абсолютних значень помилок на всіх етапах виробничого процесу технічного обслуговування.

2. Виходячи з теоретичних напрацювань питання про оптимальну кількість прихованих шарів, а також з аналізу практичної застосовності штучної нейронної мережі для різних завдань класифікації, можна зробити висновок, що використання більше двох прихованих шарів при проектуванні мережі найчастіше недоцільно.

## Список літератури

1. [https://www.researchgate.net/publication/280303319\\_Technical\\_and\\_economic\\_performance\\_of\\_combine\\_harvester\\_in\\_farmers\\_field.html](https://www.researchgate.net/publication/280303319_Technical_and_economic_performance_of_combine_harvester_in_farmers_field.html).
2. [conf.rd.asu.lt/index.php/rd/article/download/151/34.html](http://conf.rd.asu.lt/index.php/rd/article/download/151/34.html).
3. *Роговський І. Л.* Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.
4. *Роговський І. Л.* Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.
5. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 241. С. 387–395.
6. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 400–407.
7. *Rogovskii I. L.* Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.
8. *Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.* Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 382–392.
9. *Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.* Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

## References

1. [https://www.researchgate.net/publication/280303319\\_Technical\\_and\\_economic\\_performance\\_of\\_combine\\_harvester\\_in\\_farmers\\_field.html](https://www.researchgate.net/publication/280303319_Technical_and_economic_performance_of_combine_harvester_in_farmers_field.html).
2. [conf.rd.asu.lt/index.php/rd/article/download/151/34.html](http://conf.rd.asu.lt/index.php/rd/article/download/151/34.html).
3. *Rogovskii, I. L.* (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224–232.
4. *Rogovskii, I. L.* (2015). Methodologist technological operations recovery of agricultural machines with limited resources. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2015. Vol. 212. Part 1. 314–322.
5. *Rogovskii, I. L., Melnyk, V. I.* (2016). Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 241. 387–395.
6. *Rogovskii, I. L., Melnyk, V. I.* (2016). Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life



and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2016. Vol. 251. 400–407.

7. Rogovskii, I. L. (2016). Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 254. 424–431.

8. Kalinichenko, D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 258. 382–392.

9. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 262. 353–361.

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОПИСАНИЯ МАРШРУТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ С УЧЕТОМ ВЫЯВЛЕНИЯ КОМБИНАЦИЙ ОТКАЗОВ**

***Д. Ю. Калиниченко, И. Л. Роговский***

**Аннотация.** *В основе технического обслуживания зерноуборочных комбайнов за техническим состоянием лежит технический контроль, с помощью которого проводят непрерывный или периодический контроль параметров технического состояния, характеризующих текущее фактическое состояние узлов, механизмов или агрегатов. Прогнозирование выполняют при непрерывном контроле для определения наработки, в течение которого сохранится работоспособное состояние, а при периодическом контроле – для определения момента времени следующего контроля.*

*Процесс технического контроля неисправностей состоит из обнаружения и локализации дефектов в системе зерноуборочных комбайнов. По мере усложнения технических систем зерноуборочных комбайнов и рост требований к безопасности, надежности и экологичности, технический контроль неисправностей становится все более значимой процедурой. Одним из примеров является система технического обслуживания зерноуборочных комбайнов, где требуется высокая надежность и работоспособность, низкий уровень выбросов, кроме того, технический контроль способствует повышению эффективности технического обслуживания зерноуборочных комбайнов.*

**Ключевые слова:** *анализ, система, стратегия, техническое обслуживание, зерноуборочный комбайн*

## MATHEMATICAL APPARATUS OF DESCRIPTION OF ROUTE MAINTENANCE OF COMBINE HARVESTERS IN ACCORDANCE WITH DETECTION OF COMBINATIONS OF FAILURES

*D. Yu. Kalinichenko, I. L. Rogovskii*

**Abstract.** *The basis of the technical maintenance of combine harvesters for the technical condition is technical control, through which conduct continuous or periodic monitoring of the parameters of the technical condition characterizing the actual state of units, mechanisms or agregatu. Forecasting is performed by continuous monitoring to determine the developments during which you will remain healthy state and under periodic monitoring to determine the time of the next control.*

*The process of technical control of faults consists of detection and location of defects in the system of combine harvesters. As the complexity of technical systems of combine harvesters and the growth requirements of safety, reliability and sustainability, technical fault monitoring is becoming increasingly important procedure. One example is the system of technical maintenance of combine harvesters, which require high reliability and performance, low emissions, in addition, the technical control helps to improve the effectiveness of the technical maintenance of combine harvesters.*

**Key words:** *analysis, system, strategy, technical maintenance, combine harvester*

УДК 656.1.004

## ВПЛИВ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВОГО ЗБІЖЖЯ

*О. А. Воронков, аспірант\**

*І. Л. Роговський, кандидат технічних наук*

*e-mail: irogovskii@gmail.com*

**Анотація.** *Для вирішення завдань управління необхідно застосовувати не тільки сучасні математичні моделі та методи управління, але і сучасні обчислювальні та телекомунікаційні засоби. Особливо це відноситься до того випадку, коли система управління транспортними потоками є підсистемою інтелектуальних транспортних систем перевезення зернового збіжжя. Система управління транспортними потоками*

**\*Науковий керівник – кандидат технічних наук І. Л. Роговський**

© О. А. Воронков, І. Л. Роговський, 2017