

Розділ 7
**ІНЖЕНЕРІЯ БЕЗПЕКИ ДОВКІЛЛЯ ТА БЕЗПЕКИ
АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

УДК 631.1-331.45

**ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКУ ТРАВМУВАННЯ ПІД ЧАС ТРАКТОРНИХ РОБІТ
НА ОСНОВІ ДЕФЕКТОСКОПІЧНОГО КОНТРОЛЮ**

**Олександр Войналович¹, к. т. н., Василь Тимочко², к. т. н.,
Олег Гнатюк¹, к. т. н., Іван Городецький², к. т. н.**

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна,
e-mail: voynalov@bigmir.net*

²*Львівський національний аграрний університет,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський р-н,
Львівська обл., Україна,
e-mail: tymochko_vo@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2019.23.131>

Войналович О., Тимочко В., Гнатюк О., Городецький І. Визначення ризику травмування під час тракторних робіт на основі дефектоскопічного контролю

Наголошено на актуальності встановлення ступеня небезпеки експлуатації мобільної техніки з вичерпаним ресурсом або перевищенням гарантійним терміном експлуатації. Для оцінення залишкового ресурсу техніки пропонується застосовувати ймовірнісні методи, в основу яких покладено максимально повне врахування організаційних і технічних чинників, які описують вплив виробничого середовища на умови експлуатації машин. Розроблено комплексний метод оцінення професійного ризику за тривалої експлуатації мобільної техніки з урахуванням впливу організаційної (помилки механізаторів і керівників робіт) та технічної (наявність експлуатаційних пошкоджень деталей) груп чинників. Показано, що побудова моделей небезпечних виробничих ситуацій має враховувати багато передумов: помилкові дії працівників, відмови техніки і несприятливі зовнішні впливи виробничого довкілля.

Результати розрахунку елементів логіко-імітаційної моделі процесу перебігу травмонебезпечної ситуації дозволяють оцінити ризик травмування працівників, які експлуатують машинно-тракторні агрегати, зокрема внаслідок накопичення експлуатаційних пошкоджень у відповідальних деталях вузлів. Отримані значення, що відповідають недопустимому професійному ризику, можуть бути підставою для встановлення нормативних термінів технічного обслуговування спрацьованої мобільної техніки та заміни пошкоджених деталей.

Показано, що порівняльний аналіз розрахункових значень професійного ризику трактористів-машиністів до і після усунення технічних і організаційних недоліків дає змогу виокремити найнебезпечніші елементи виробничої діяльності механізаторів, наочно пояснити їм ризикованість виконання окремих технологічних операцій без технічних засобів захисту та з порушенням чинних вимог безпеки, що дозволить знизити виробничий травматизм.

Ключові слова: професійний ризик, небезпечна ситуація, логіко-імітаційна модель, дефектоскопічний контроль.

Voinalovych O., Tymochko V., Hnatiuk O., Horodetskyi I. Calculation of the risk of tractors operation on the basis of defectoscopic control data

The article emphasizes importance to estimate the degree of danger of mobile equipment operation with exhausted life or exceeded warranty period of operation. To estimate the residual life of the machinery, the authors of the article propose to use probabilistic methods, which are based on maximum consideration of organizational and technical factors that describe impact of production environment on the operating conditions of the machines.

The research proposes a complex method of estimation of the professional risk under long-term exploitation of mobile agricultural machinery with consideration of the influence of organizational (errors of machine operators and job managers) and technical (presence of operational damages of parts) factors. It is argued that construction of the models of hazardous production situations should take into account many prerequisites, i.e. mistakes of workers, technological failures, and unfavorable external influences of production medium.

Results of calculating of the elements of a logic-simulation model of the process of the traumatic situation secure estimating of the risk of injury for workers, who use mobile agricultural machinery, in particular due to accumulation of

operational damage in the responsible parts of the nodes. The obtained values, which correspond to unacceptable occupational risk, should serve as a basis for observance of normative terms of passing of maintenance of mobile equipment and replacement of damaged parts.

It is determined that comparative analysis of the calculated values of professional risk of tractor drivers, before and after elimination of technical and organizational defects, allows distinguishing the most dangerous elements of production activity of machine-operators, clear explaining of the risk of separate technological operations with no technical means of protection and violation of current safety requirements, which will reduce occupational injuries.

Key words: professional risk, dangerous situation, logic-simulation model, defectoscopic control.

Постановка проблеми. Незважаючи на придбання аграрними підприємствами сучасної мобільної сільськогосподарської техніки, в експлуатації досі перебувають трактори та сільськогосподарські машини застарілих моделей та після тривалих термінів роботи. Умови експлуатації сільськогосподарських агрегатів зумовлюють високі рівні термосилового й корозійного навантаження на деталі і системи машин, що призводить до виникнення експлуатаційних дефектів. Статистика дорожньо-транспортних пригод за участі тракторів і нещасних випадків у польових умовах показує, що часто причинами аварійних ситуацій є дефекти у відповідальних деталях машин і агрегатів. Тому актуальним є встановлення ступеня небезпеки експлуатації мобільної техніки, коли практично вичерпано її ресурс або гарантійний термін експлуатації перевищено в кілька разів. Для оцінення залишкового ресурсу техніки, з погляду безпеки її експлуатації, доцільно застосовувати ймовірнісні методи, в основу яких покладено максимально повне врахування організаційних і технічних чинників, які описують вплив виробничого середовища на умови експлуатації машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи, які нині рекомендують застосовувати для оцінення небезпеки експлуатації складних технічних систем, мають комплексно враховувати небезпечні (помилкові) дії операторів машин та можливі відмови окремих елементів систем [6; 11; 15; 16]. Однак здебільшого в розрахункових моделях переважають чинники, які зумовлені помилковими діями працівників, тобто є організаційними [2; 5; 7–9]. Обґрунтуванням такого підходу є статистика причин виробничого травматизму, де переважають організаційні причини [2; 19]. Через це розрахунково-логічні моделі виглядають явно спрощеними, а для зниження ймовірності нещасних випадків на виробництві пропонують, як правило, заходи контрольно-навчального характеру.

Це можна пояснити відсутністю статистичних даних щодо відмов (несправностей) для певних видів техніки та нечіткістю задавання

ймовірностей виходу з ладу окремих елементів (ланок, вузлів) чи руйнування деталей, що визначають безпечну роботу машини. На сьогодні таку статистику відмов достатньо об'єктивно встановлено для об'єктів атомної енергетики, металургії та хімічної промисловості [1; 20], зруйнування систем яких може призвести до масштабних аварій та нещасних випадків. Для мобільної сільськогосподарської техніки статистику можливих дефектів деталей систематизовано [4], але без пов'язування з динамікою розвинення дефектних станів протягом експлуатації машини.

Нині питанням надійності, довговічності та прогнозування залишкового ресурсу мобільної сільськогосподарської техніки приділяють значну увагу [3; 4; 14; 18]. Але в цих роботах не знайшли достатнього відображення проблеми захисту операторів, як однієї з основних ланок системи «людина – машина – довкілля». Тому важливим є розроблення підходів щодо оцінення ризиків для операторів та інших працівників, які експлуатують техніку з дефектними деталями, а також з урахуванням тривалості накопичування дефектів у різних деталях.

Постановка завдання. Наше завдання – розробити метод розрахунку ризику небезпечної ситуації на механізованих роботах сільського господарства з урахуванням помилок працівників (механізаторів і керівників робіт) та наявності експлуатаційних дефектів у деталях вузлів машин після тривалої їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу. У роботі для розрахунку ризику настання аварійних ситуацій за тривалої експлуатації тракторів було використано метод «дерева відмов» [10; 12; 13; 17]. Цей метод передбачає послідовне виконання таких етапів алгоритму:

- аналіз виробничого процесу з виокремленням кінцевого небезпечного наслідку, який може призвести до нещасного випадку;
- структурування моделі «дерева відмов» на основі якісного аналізу процесу;
- кількісне оцінення ризику базових подій, з яких будують «дерево відмов»;

– математичний аналіз моделі і розрахунок ризику кінцевої події.

В основу методу «дерева відмов» покладено встановлення головної (кінцевої) події, що може відбутися через небезпечну ситуацію, та умов і обставин, тобто передумов, які цю подію зумовлюють, – небезпечні (помилкові) дії працівників, несприятливі впливи виробничого середовища, довкілля та вихід з ладу елементів техніки. «Дерево відмов» будують на основі встановлення зв'язків між цими передумовами, які можуть бути умовними і безумовними. Структуру «дерева відмов» зображено на блок-схемі (рис. 1).

Метод побудови моделі «дерева відмов» дає змогу встановити не тільки ймовірність небезпечної події, а й виокремити небезпечні ланцюги проміжних подій, виявити значущість базисних (початкових) подій, розробити заходи для зниження ймовірності небезпечної події. Починають будувати «дерево відмов» зі встановлення небезпечної базової події, яку надалі з використанням логічних операторів розкладають на відповідні складові – події, які формують головну (кінцеву) подію. У цій роботі ризик настання аварійних ситуацій для розробленої моделі перебігу травмонебезпечної ситуації розраховували за допомогою комп'ютерної програми *SAPHIRE* [2] з використанням критеріїв Фусела – Весели та Бірнбаума для оцінення значущості базових подій.

Показник значущості за Бірнбаумом $B(x)$ події x визначають як похідну ймовірності небажаної події P щодо ймовірності базової події x [2]:

$$B(x) = \frac{d}{dx} P(x). \quad (1)$$

Показник значущості Фусела – Весели FV події x розраховують як відносний внесок цієї події до ймовірності настання небажаної події:

$$FV = \frac{F(x) - F(0)}{F(x)}. \quad (2)$$

Оцінюючи значущість базових подій під час дослідження логічної моделі, можна встановити пріоритетні (оптимальні) напрями впливу на їх значення, що дасть змогу знизити ймовірності настання небезпечних подій і відповідно зменшити професійний ризик.

Однією з небезпечних подій під час експлуатації машинно-тракторних агрегатів є раптове опускання навісної системи трактора, у деталях якої внаслідок тривалої експлуатації виникають і поширюються тріщини. Тому будують модель і розраховують ймовірності. Модель такої травмонебезпечної ситуації показано на рис. 2.

Окремі елементи цієї моделі з певними значеннями базових подій наведено в табл. 1, зокрема для випадків критичного накопичення тріщин у відповідальних деталях трактора (елемент J). Наявність тріщин у деталях вузлів тракторів МТЗ-80(82) з різними термінами експлуатації було оцінено методом неруйнівного контролю – за допомогою спеціалізованого вихрострумового дефектоскопа ВД-12НФМ. Дефектоскопічний контроль у ремонтних підрозділах виконували під час дефектування деталей тракторів (загалом таким методом було проконтрольовано 52 трактори, які перебували в експлуатації до 16 років з дати випуску).

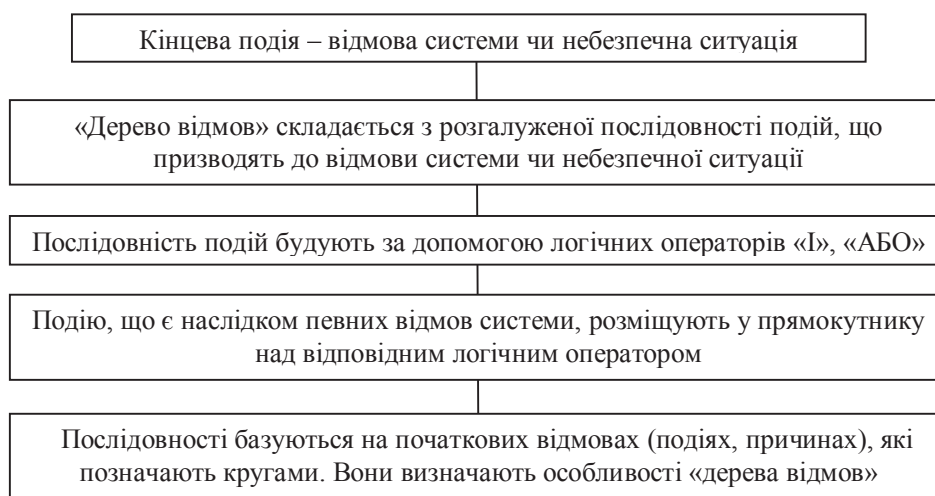


Рис. 1. Блок-схема структури «дерева відмов»

Fig. 1. Flow block of the structure of «Fault tree»

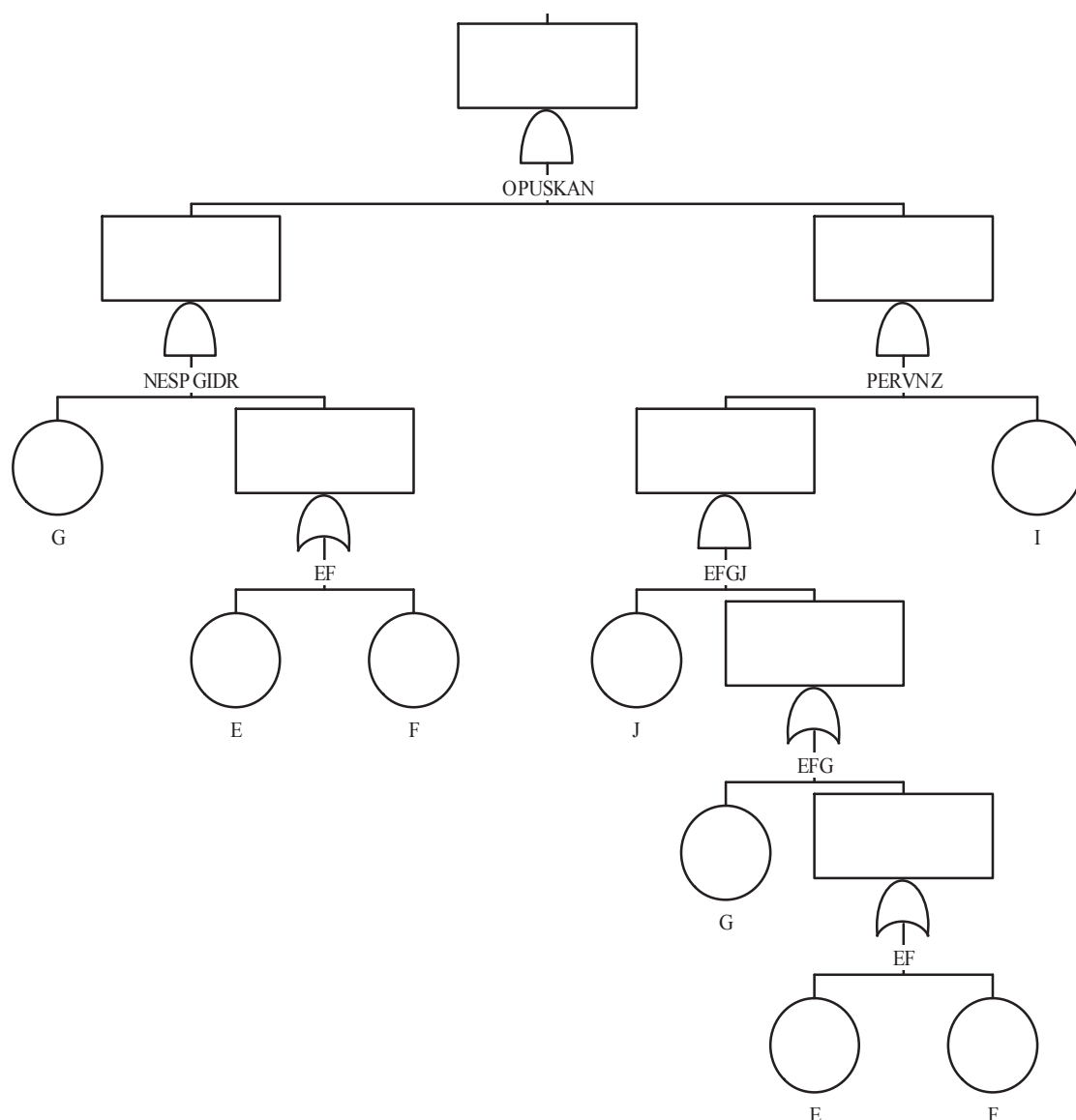


Рис. 2. Блок-схема логіко-імітаційної моделі небезпечної ситуації «раптове опускання навісного знаряддя трактора»

Fig. 2. Flow block of a logic-simulation model of a dangerous situation «sudden lowering of the tractor's attachment»

Ймовірності базових подій у розглянутій моделі небезпечної ситуації задано згідно зі статистичними показниками травматизму в аграрному виробництві України, які було усереднено за останні п'ять років (наведено у щорічних статистичних бюлетенях «Травматизм на виробництві» Державної служби праці України).

Розрахунок виконано для двох термінів експлуатації тракторів, а саме 8 та 16 років, коли відносна кількість тріщин у загальному масиві досліджених деталей трактора становила відповідно 0,2 і 0,45 [12].

Зміни показників виробничого ризику для окремих елементів моделі небезпечної ситуації показують, як зростає ризик травмування в разі проміжного та повного впливу небезпечного чинника (табл. 2).

З табл. 2 видно, що ризик травмування працівників унаслідок раптового опускання навісного знаряддя трактора збільшується у 2,25 раза після досягнення критичної щільності експлуатаційних тріщин у деталях навісної системи трактора. Це є підставою для рекомендування скорочення термінів технічного огляду тракторів зі значним напруженням і терміном експлуатації.

Таблиця 1. Опис елементів моделі небезпечної ситуації

Table 1. Description of the elements of a model of hazardous situations

Позначення елементів (подій)	Опис елементів (базових і проміжних подій)	Задана ймовірність базових подій
E	На аграрному підприємстві не створено служби охорони праці	0,15
F	На підприємстві не налагоджено ефективної роботи з охорони праці (не проводять навчань та інструктажів з питань охорони праці, не контролюють технічного стану машин та обладнання щодо їх безпечності, не визначають професійної придатності працівників тощо)	0,25
EF	Контроль з безпеки праці на підприємстві	<i>P</i>
G	Недостатній рівень кваліфікації працівників (механізаторів)	0,15
EFG	Порушення нормативних термінів проходження технічного огляду та обслуговування тракторів	<i>P</i>
J	Наявність експлуатаційних тріщин у деталях вузла	0,2/0,45
EFGJ	Експлуатація трактора з несправною навісною системою	<i>P</i>
I	Необхідність виконання технологічних операцій та оглядів для усунення недоліків у роботі навісної системи чи інші причини, які змушують працівника (механізатора) перебувати у небезпечній зоні опускання навісного наряддя трактора	0,25
PERVNZ	Перебування працівника в небезпечній зоні опускання навісного знаряддя	<i>P</i>
OPUSKAN	Раптове опускання навісного знаряддя	<i>P</i>

Таблиця 2. Показники ризику для моделі небезпечної ситуації «раптове опускання навісного знаряддя трактора»

Table 2. Risk indices for the model of a dangerous situation of «sudden lowering of the tractor's attachment»

Небезпечний чинник (дія, подія, ситуація)	Умовна характеристика небезпечного чинника – відносна кількість тріщин у загальній кількості досліджених деталей трактора	Розрахований показник ризику <i>P</i>	Зміна показника ризику за наявності небезпеки, разів
<i>J</i> (наявність тріщин у деталях вузла)	0,2	$2,998 \cdot 10^{-3}$	–
	0,45	$6,739 \cdot 10^{-3}$	2,25

Висновки

1. Запропоновано комплексний метод оцінювання ризику за тривалої експлуатації мобільної техніки з урахуванням впливу організаційного (помилки механізаторів і недоліки у роботі керівників робіт) та технічного (наявність експлуатаційних пошкоджень деталей) чинників. Показано, що метод «дерева відмов» дає змогу кількісно аналізувати ймовірності виникнення травмонебезпечних ситуацій під час використання машинно-тракторних агрегатів на механізованих процесах в АПК через декомпозицію подій, що впливають на створення небезпечної ситуації.

2. Результати розрахунку елементів моделі травмонебезпечної ситуації дають змогу оцінити ризик травмування працівників під час роботи машинно-тракторних агрегатів, їх обслуговування, зокрема внаслідок накопичення

експлуатаційних дефектів у відповідальних деталях вузлів тракторів.

3. Отримані значення розрахункового ризику можуть бути підставою для встановлення термінів проходження технічного обслуговування мобільної техніки та заміни пошкоджених деталей.

Бібліографічний список

1. Аверин Г. В., Москалец В. М. Анализ опасностей аммиачных компрессорных установок методом построения «дерева отказов». *Екологічна безпека*. 2008. № 3-4. С. 9–16.
2. Авраменко Н. Л., Березовецький А. П., Городецький І. М., Тимочко В. О. та ін. Безпека трудових відносин в умовах реформування економіки України: кол. монографія / за наук. ред. доц. В. І. Федорчук-Мороз. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2019. 192 с.

3. Аулін В. В., Каліч В. М., Гриньків А. В., Голуб Д. В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. Вип. 45(2). С. 28–36.
4. Аулін В. В., Кузик О. В. Динамічне матеріалознавство зон тертя деталей сільськогосподарської техніки. *Вісник Житомирського національного аграрно-екологічного університету*. 2014. Вип. 2 (45), т. 4, ч. 2. С. 102–110.
5. Бегун В. В. Задача определения текущего риска объекта повышенной опасности. *Математичні машини і системи*. 2011. № 1. С. 120–126.
6. Вычужанин В. В., Рудниченко Н. Д. Оценки структурного и функционального рисков сложных технических систем. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т. 1, № 2 (67). С. 18–22.
7. Городецький І., Березовецький А., Городецька Н. та ін. Використання методик аналізу небезпек процесів для удосконалення управління охороною праці. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 5–8.
8. Городецький І. М., Мазур І. Б., Городецька Н. Г., Березовецький А. П. Вплив обставин на формування небезпечних ситуацій аграрного виробництва. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 162–166.
9. Єсипенко А. С., Сліпачук О. А., Оберемок Г. О. Небезпечні дії працівників як причина нещасних випадків на виробництві. *Проблеми охорони праці в Україні*. Київ: ННДІПБОП, 2013. Вип. 25. С. 46–58.
10. Копей Б. В., Мартинець О. Р. Використання «дерева відмов» як методу структурного аналізу штангової насосної установки. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2013. № 2(47). С. 62–71.
11. Москвина Е. А., Извеков Ю. А., Гугина Е. М., Шеметова В. В. Модельный анализ характеристик ущерба сложных технических систем металлургического предприятия. *Современные наукоемкие технологии*. 2019. № 3-2. С. 217–221.
12. Полянський О. С., Войналович О. В., Мотрич М. М. Оцінення небезпеки експлуатації сільськогосподарських агрегатів за даними дефектоскопії деталей. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, 2018. Вип. 190. С. 185–192.
13. Ришков В. Г., Кожемякін Г. Б., Манідіна Є. А. Використання «дерева подій» для аналізу травматизму та аварій на металургійних підприємствах. *Металургія: наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2015. Вип. 1 (33). С. 100–104.
14. Скобцов И. Г. Оценка вероятности безотказной работы системы ROPS лесозаготовительных машин с позиций механики разрушения. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2015. № 4 (149). С. 89–94.
15. Таїрова Т. М. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму: монографія. Київ: Основи, 2014. 201 с.
16. Тимочко В. О., Городецький І. М., Березовецький А. П. Оцінка ризику під час роботи на металообробних верстатах токарної групи. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С. 22–29.
17. Халіль В. В., Глива В. А. Аудит ризиків безпеки на робочому місці. *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. Вип. 2/3(28). С. 12–17.
18. Popovych P. V., Lyashuk O. L., Murovanyi I. S. et al. The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 50, issue 3. P. 39–46.
19. Skorupka D. Method of planning construction projects taking into account risk factors. *Operation Research and Decision*. 2009. Vol. 19, No. 3. P. 119–128.
20. Voort M. M. van der, Klein A. J. J., Maaijer M. de et al. A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard. *Loss Prev. Process Ind.* 2007. No. 4-6. P. 375–386.

Стаття надійшла 01.10.2019