

DIGITAL PROCESSING VIBRATION SIGNALS OF DIESEL ENGINES AND MODEL VIRTUAL DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

O. V. Nadtochiy, L. L. Titova

Abstract. *The methodology of building virtual instruments and based on current requirements that they imposed. Developed virtual instrument for input generation, simulation and digital processing of acoustic signals in the vibration diagnostics of diesel engines. The developed system is standardized and can be used to extend and use in other industries.*

One of the trends in the development of mobile diagnostic systems to assess the state of the internal combustion engine is the efficiency of collection and accuracy of the information, as well as reducing the cost of hardware and software. The problem of application of methods of vibration analysis is the lack of quite simple to use and maintain systems of analysis of vibroacoustic signals. Proposed in the paper input system and analog signal processing is designed for measurement and digital processing of acoustic signals in the vibration diagnostics.

The technology of virtual instrument is a method that has already proven itself to designing and building instrumentation systems. This unique approach promises great opportunities for engineers, who need a single tool environment for the design, testing and implementation of turnkey solutions.

Suggested in paper virtual instrument input and digital processing of measurement information for the system of vibration diagnostics vibration diagnostics of the internal combustion engine also can be used in other fields of scientific and production activities.

Keywords: *vibration spectrum, spectral analysis, Fourier transformation, virtual instrument*

УДК 631.3:614.8

ОЦІНЕННЯ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ ТРАКТОРИСТІВ- МАШИНІСТІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

О. В. Войналович, О. А. Гнатюк, кандидати технічних наук
e-mail: voynalov@bigmir.net

Анотація. *Оцінено професійний ризик трактористів-машиністів під час ремонтування та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки з урахуванням ступеню впливу небезпечних виробничих чинників за критеріями Фусела-Весели та Бірнбаума.*

© О. В. Войналович, О. А. Гнатюк, 2016

Аналіз мінімальних перерізів травмонебезпечної ситуації дозволяє визначити найбільш ймовірні шляхи розвитку процесів її перебігу за участі базових подій: E, G, H, L, O та F, G, H, L, O з частотою $6,837 \cdot 10^{-5}$ кожний і загальним сумарним значенням 38,4 %.

Покращення працезохоронної діяльності на сільськогосподарських підприємствах на 50% від наявного рівня дозволить знизити ймовірність настання головної події-наслідку з теперішнього $P = 3,56 \cdot 10^{-4}$ до $P = 1,78 \cdot 10^{-4}$, а отже зменшити професійний ризик трактористів-машиністів вдвічі.

Кількісні дослідження небезпечних та шкідливих виробничих чинників, визначення ступеня їх впливу на процеси зародження, формування і настання травмонебезпечних ситуацій та їх наслідків, що трапляються під час експлуатації сільськогосподарської техніки, дозволяють розробляти ефективні профілактичні заходи запобігання нещасним випадкам, виходячи з об'єктивного стану виробництва, рівня науково-технічного прогресу та економічних можливостей підприємства.

Ключові слова: *небезпечні виробничі чинники, професійний ризик, мінімальні перерізи небезпечних подій, критерії Фусела-Весели та Бірнбаума*

Поставлення проблеми. Аналіз статистичних даних щодо стану виробничого травматизму в агропромисловому комплексі України (АПК) показує, що зазначена галузь є однією з найбільш травмонебезпечних серед галузей національної економіки. Зокрема, за 2011–2015 рр. понад 500 працівників АПК отримали травми зі смертельними наслідками, що становить понад 20% від загальної кількості смертельно травмованих за цей період працівників в усіх галузях економіки України. Водночас, в одній з головних підгалузей АПК – сільськогосподарському виробництві, травми не сумісні з життям за цей період отримали майже 300 працівників, що становить близько 60% від усіх травмованих з летальними наслідками працівників аграрної галузі.

Однією з найбільш травмонебезпечних професій в аграрному виробництві є професія тракториста-машиніста (механізатора). Це пов'язано з тим, що на технологічних процесах задіяно різноманітні мобільні технічні засоби виробництва (трактори, комбайни, самохідні сільськогосподарські машини тощо), які є джерелами підвищеної небезпеки. Саме під час експлуатації сільськогосподарської техніки виникає велика кількість травмонебезпечних ситуацій, наслідком чого є аварії та випадки травмування механізаторів. Зокрема, протягом 2011–2015 рр. під час виконання робіт у полі та інших агротехнологічних операцій загинуло 74 механізатори, що становить четверту частину від загальної кількості усіх смертельно травмованих працівників, зайнятих в сільськогосподарському виробництві.

Серед випадків травмування механізаторів можна виокремити травми, отримані ними під час ремонтування та технічного обслуговування (ТО) сільськогосподарської техніки із застосуванням різноманітного технологічного обладнання, зокрема домкратів, кріплень та інших пристроїв. Так, за зазначений період часу в ремонтних майстернях сільськогосподарських підприємств та в польових умовах внаслідок падіння деталей, механізмів та корпусів машин було смертельно травмовано 12 трактористів-машиністів та водіїв вантажних автомобілів.

Тому, актуальним нині є розроблення та впровадження дієвих та ефективних профілактичних заходів щодо запобігання виробничому травматизму серед механізаторів АПК. Для цього необхідно дослідити механізми утворення травмонебезпечних ситуацій та настання нещасних випадків, використовуючи методи ймовірнісного структурно-логічного моделювання, а саме дослідити кількісний вплив первинних небезпечних подій на процеси зародження, формування та настання травмонебезпечних ситуацій та їх наслідків. Це дозволить розробляти та своєчасно впроваджувати відповідні профілактичні заходи щодо запобігання нещасних випадків на виробництві.

Аналіз останніх досліджень. Наукові дослідження як вітчизняних, так і зарубіжних фахівців свідчать, що проблема виробничого травматизму трактористів-машиністів АПК є нині достатньо гострою. Водночас, шляхи її вирішення є доволі різними і залежать від належності дослідника до тієї чи іншої наукової школи. Зокрема, у багатьох роботах зосереджено увагу на аналізі стану виробничого травматизму та його причин, однак без достатніх досліджень впливу небезпечних виробничих чинників на ймовірність настання нещасних випадків [1–5]. Лише деякі напрацювання свідчать про спробу їх авторів дослідити ймовірності настання небажаних наслідків (аварій, травм тощо) під час експлуатації сільськогосподарської техніки залежно від ступеня впливу первинних (базових) подій на процеси перебігу травмонебезпечних ситуацій [6, 7], хоча ґрунтовні дослідження у цьому напрямку вже існують в атомній енергетиці [8] та інших галузях економіки [9, 10].

Мета досліджень. Метою дослідження є визначення ступеня впливу первинних (базових) подій на процеси зародження, формування і настання травмонебезпечних ситуацій та їх наслідків під час ремонтування та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки.

Результати досліджень. Дослідження причин нещасних випадків, що трапилися з механізаторами під час експлуатації сільськогосподарської техніки, показує, що зародження, формування і розвиток вказаних негативних явищ характеризується логічним

поєднанням або перетином випадкових подій у просторі та часі, від набору і комбінації яких залежить характер розвитку травмонебезпечних ситуацій, що виникають з різною частотою на різних стадіях аварійного чи катастрофічного процесів [11]. В основі формування зазначеної комбінації випадкових подій та їх наслідків лежить причинно-наслідковий логічний зв'язок, що полягає у перетині та (або) об'єднанні первинних (базових) подій. Для вивчення цього зв'язку, встановлення якісних та кількісних характеристик процесів перебігу травмонебезпечних ситуацій використовують структурно-логічні методи моделювання, зокрема метод «дерева відмов».

Під час дослідження «дерева відмов» з'ясовують комбінації відмов машин та обладнання, помилок працівників та природних впливів, що призводять до настання небажаної події-наслідку. Тому цей метод активно застосовують для аналізу можливих причин виникнення аварійних і травмонебезпечних ситуацій та розрахунку їх ймовірностей [12–14].

У даній роботі було проаналізовано одну з типових травмонебезпечних ситуацій, що трапляються на механізованих роботах в АПК, – травмування трактористів-машиністів внаслідок падіння на них деталей, механізмів та корпусів машин під час ремонтування чи ТО сільськогосподарської техніки (рис. 1).

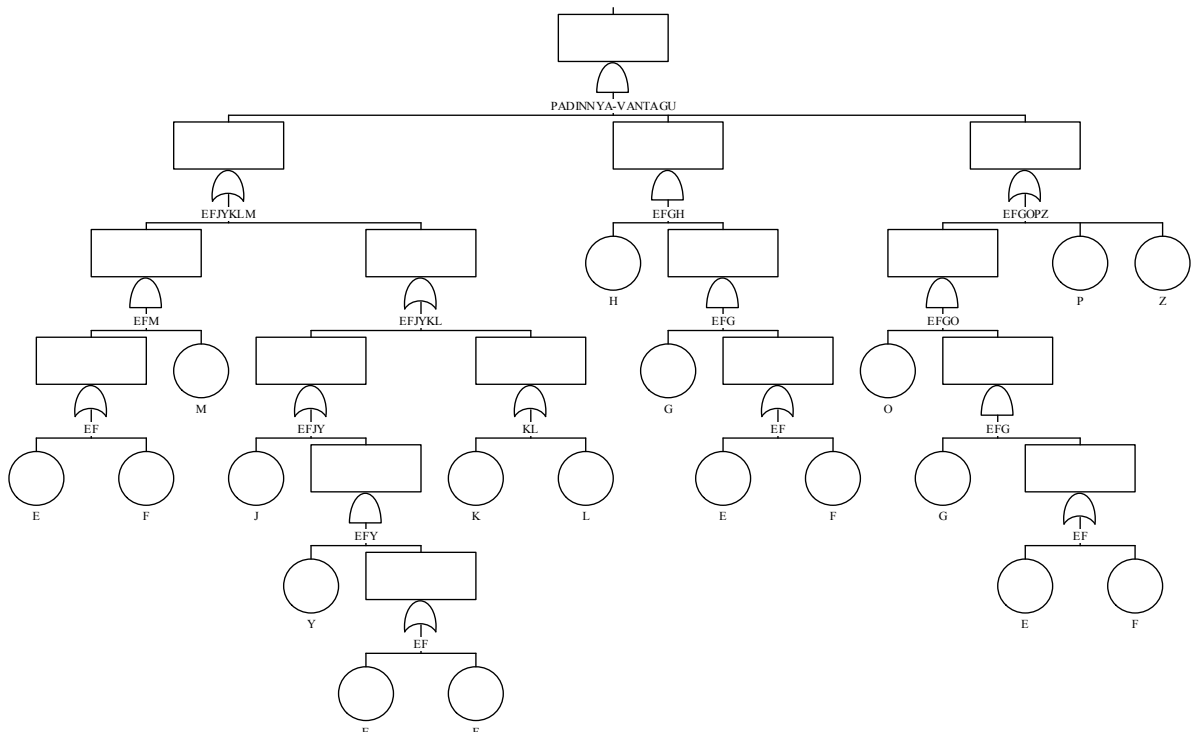


Рис. 1. Логіко-імітаційна модель процесу перебігу травмонебезпечної ситуації: «Травмування трактористів-машиністів внаслідок падіння на них деталей, механізмів та корпусів машин під час ремонтування чи ТО сільськогосподарської техніки».

Для аналітичного дослідження зазначеної логіко-імітаційної моделі процесу перебігу травмонебезпечної ситуації та оцінення ризику травмування механізаторів внаслідок падіння на них деталей, механізмів та корпусів машин під час ремонтування чи ТО сільськогосподарської техніки, було застосовано комп'ютерну програму *SAPHIRE* [15].

Настання зазначеної травмонебезпечної ситуації передбачає збіг у просторі та часі різних груп небезпечних та шкідливих виробничих чинників, що мають технічну та людську природу.

До технічної групи небезпечних виробничих чинників належать: несправність домкратів, кріплень, зокрема внаслідок їх фізичного зношення і наявності експлуатаційних дефектів, застосування нестандартних захоплювачів та підставок тощо.

До групи небезпечних та шкідливих виробничих чинників, що пов'язані з людиною, належать: зниження концентрації уваги або сповільнення реакції організму механізатора на подразники виробничого довкілля під час виконання ремонтних робіт чи ТО сільськогосподарських машин та тракторів, внаслідок чого механізатор може потрапити до небезпечної зони, ненадійне закріплення деталей, механізмів та агрегатів загалом, що може призвести до їх самовільного руху і падіння.

У даній моделі настання небажаної події – головної події-наслідку залежить від наявності трьох груп небезпечних та шкідливих виробничих чинників: перебування механізатора у небезпечній зоні (*EFGH*) за зниженої концентрації уваги чи сповільненої реакції на подразники виробничого довкілля (*EFJYKLM*) та неконтрольованого, самовільного руху машини, агрегату, деталі тощо з наступним їх падінням (*EFGOPZ*) (див. рис. 1).

У свою чергу, кожна з цих груп формується шляхом поєднання та (або) перетину таких підгруп небезпечних подій (чинників): застосування нестандартних захоплювачів та підставок (*EFO*); раптовий вихід з ладу домкрата (*Z*); обривання тросів, захоплювачів, кріплень внаслідок наявності прихованих дефектів (*P*); незадовільний стан контролю з охорони праці на підприємстві (*EF*); залучення до роботи працівників з низьким рівнем професійної підготовки, зокрема з питань охорони праці (*EFG*); зниження концентрації уваги чи сповільнення реакції організму механізатора на подразники виробничого довкілля (*EFJYKLM*) через психофізіологічну втому (*EFJYKL*) або внаслідок перебування на робочому місці у стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння (*EFM*) тощо. Аналогічно, кожна з наведених підгруп є результатом комбінації наступних первинних подій (чинників): фактична відсутність служби охорони праці на підприємстві (*E*); незадовільна діяльність служби охорони праці – не проводять належним чином

навчання та відповідні інструктажі з питань охорони праці, не контролюють технічний стан машин та обладнання з позиції їх безпеки, не відстежують професійну придатність та стан здоров'я працівників у разі прийняття на роботу тощо (F); відсутність професійно підготовлених трудових ресурсів на ринку праці, здатних працювати на машинно-тракторних агрегатах (МТА), а отже низька кваліфікація задіяних на механізованих роботах працівників (G); незадовільний матеріально-технічний стан підприємства (O); не проведення профілактичного медичного огляду, усунення несправностей чи інші причини, які змушують механізатора перебувати у небезпечній зоні (H); нестача придатних за станом здоров'я до виконання відповідних робіт працівників (Y); ненормований робочий день механізатора (J); стресові ситуації, емоційні перенапруження (K); перевищення гранично допустимого рівня шуму МТА, що призводить до втоми (L); низький рівень трудової дисципліни та культури праці механізатора – вживання алкогольних напоїв чи наркотичних речовин під час роботи (M) тощо.

1. Смысловое значение элементов логико-имитационной модели перебігу травмобезпечної ситуації: «Травмування трактористів-машиністів внаслідок падіння на них деталей, механізмів та корпусів машин під час ремонтування та ТО сільськогосподарської техніки»

Найменування елементів (базових подій)	Короткий опис елементів (базових подій)	Кількісне значення елементів (базових подій)
1	2	3
E	Фактична відсутність служби охорони праці на підприємстві	0,3064
F	Незадовільна діяльність служби охорони праці (не проводять навчання та відповідні інструктажі з питань охорони праці, не контролюють технічний стан машин та обладнання з позиції їх безпечності, не контролюють професійну придатність працівників та стан їхнього здоров'я під час приймання на роботу тощо)	0,3064
G	Нестача кваліфікованих, професійно підготовлених працівників на ринку праці	0,185
H	Необхідність проведення профілактичного огляду, усунення несправностей чи інші причини, які змушують механізатора перебувати у небезпечній зоні	0,0786
Y	Нестача придатних за станом здоров'я до виконання відповідних робіт працівників	0,021
J	Ненормований робочий день механізатора	0,0125

Продовження табл. 1

1	2	3
K	Стресові ситуації, емоційні перенапруження	0,0241
L	Перевищення гранично допустимого рівня шуму МТА	0,0682
M	Низький рівень трудової дисципліни та культури праці механізатора (вживання алкоголю, психотропних чи наркотичних речовин під час роботи)	0,0228
O	Незадовільний матеріально-технічний стан підприємства	0,225
P	Обривання тросів, захоплювачів, кріплень, внаслідок наявності прихованих дефектів	0,0147
Z	Раптовий вихід з ладу домкрата	0,0294
TRAVM-MECHAN	Падіння на механізатора вантажу (машини, агрегати чи їх корпуси, деталі тощо) та його травмування	$3,56 \cdot 10^{-4}$

2. Таблиця значень мінімальних перерізів небезпечних подій

Family-> TEST Fault Tree-> TRAVM-MECHAN
Mincut Upper Bound -> 3.56E-004 This Partition -> 3.56E-004

No.	Total	% Cut	Set	Frequency	Cut Sets
1	19.2	19.2	6.837E-005	6.837E-005	E, G, H, L, O
2	38.4	19.2	6.837E-005	6.837E-005	F, G, H, L, O
3	45.2	6.8	2.416E-005	2.416E-005	E, G, H, K, O
4	52.0	6.8	2.416E-005	2.416E-005	F, G, H, K, O
5	58.4	6.4	2.286E-005	2.286E-005	E, G, H, M, O
6	64.8	6.4	2.286E-005	2.286E-005	F, G, H, M, O
7	70.7	5.9	2.105E-005	2.105E-005	E, G, H, O, Y
8	76.6	5.9	2.105E-005	2.105E-005	F, G, H, O, Y
9	80.2	3.5	1.253E-005	1.253E-005	E, G, H, J, O
10	83.7	3.5	1.253E-005	1.253E-005	F, G, H, J, O
11	86.2	2.5	8.933E-006	8.933E-006	E, G, H, L, Z
12	88.7	2.5	8.933E-006	8.933E-006	F, G, H, L, Z
13	90.0	1.3	4.467E-006	4.467E-006	E, G, H, L, P
14	91.2	1.3	4.467E-006	4.467E-006	F, G, H, L, P
15	92.1	0.9	3.157E-006	3.157E-006	E, G, H, K, Z
16	93.0	0.9	3.157E-006	3.157E-006	F, G, H, K, Z
17	93.8	0.8	2.987E-006	2.987E-006	E, G, H, M, Z
18	94.7	0.8	2.987E-006	2.987E-006	F, G, H, M, Z
19	95.5	0.8	2.751E-006	2.751E-006	E, G, H, Y, Z
20	96.2	0.8	2.751E-006	2.751E-006	F, G, H, Y, Z
21	96.7	0.5	1.637E-006	1.637E-006	E, G, H, J, Z
22	97.2	0.5	1.637E-006	1.637E-006	F, G, H, J, Z
23	97.6	0.5	1.578E-006	1.578E-006	E, G, H, K, P
24	98.1	0.5	1.578E-006	1.578E-006	F, G, H, K, P
25	98.5	0.4	1.493E-006	1.493E-006	E, G, H, M, P
26	98.9	0.4	1.493E-006	1.493E-006	F, G, H, M, P
27	99.3	0.4	1.375E-006	1.375E-006	E, G, H, P, Y
28	99.7	0.4	1.375E-006	1.375E-006	F, G, H, P, Y
29	99.9	0.2	8.187E-007	8.187E-007	E, G, H, J, P
30	100.0	0.2	8.187E-007	8.187E-007	F, G, H, J, P

За наявності частини з названих небезпечних та шкідливих виробничих чинників, у разі поєднання їх у просторі та часі може сформуватися і настати травмонебезпечна ситуація з усіма

можливими негативними наслідками (отримання механізатором травм різного ступеню важкості). Кількісні значення ймовірностей базових (первинних) подій зазначеної логічної моделі перебігу травмонебезпечної ситуації було розраховано на основі статистичних даних про причини виробничого травматизму в АПК України [16]. Сміслові позначення цих подій представлено у табл. 1. Результати генерації мінімальних перерізів зазначеної травмонебезпечної ситуації дають підстави стверджувати, що існують два найбільш ймовірних шляхи розвитку процесу її перебігу з тридцяти можливих за участі базових подій: *E, G, H, L, O* та *F, G, H, L, O* з частотою $6,837 \cdot 10^{-5}$ кожний і загальним сумарним значенням 38,4 % (табл. 2). Аналізуючи дані розрахунку відносної значущості базових подій за критерієм Фусела-Весели можна зазначити, що в усіх тридцяти варіантах розвитку процесу перебігу травмонебезпечної ситуації беруть участь події *G* та *H*, які є найбільш значущими серед усіх інших подій (табл. 3).

3. Таблиця значень відносної значущості первинних (базових) подій за критерієм Фусела-Весели

Sorted by Fussell-Vesely Importance

Event Name	Num. of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importance	Risk Reduction	Risk Increase Ratio
G	30	1.850E-001	1.000E+000	-----	5.402E+000
H	30	7.860E-002	1.000E+000	-----	1.270E+001
O	10	2.250E-001	8.361E-001	6.101E+000	3.878E+000
F	15	3.064E-001	5.000E-001	2.000E+000	2.131E+000
E	15	3.064E-001	5.000E-001	2.000E+000	2.131E+000
L	6	6.820E-002	4.589E-001	1.848E+000	7.265E+000
K	6	2.410E-002	1.622E-001	1.194E+000	7.561E+000
M	6	2.280E-002	1.534E-001	1.181E+000	7.570E+000
Y	6	2.100E-002	1.413E-001	1.165E+000	7.582E+000
Z	10	2.940E-002	1.092E-001	1.123E+000	4.604E+000
J	6	1.250E-002	8.410E-002	1.092E+000	7.639E+000
P	10	1.470E-002	5.462E-002	1.058E+000	4.659E+000

4. Таблиця значень абсолютної значущості первинних (базових) подій за критерієм Бірнбаума

Sorted by Birnbaum Importance Measure

Event Name	Num. of Occ.	Probability of Failure	Birnbaum Importance Measure	Risk Reduction Difference	Risk Increase Difference
H	30	7.860E-002	4.524E-003	3.563E-004	4.168E-003
L	6	6.820E-002	2.396E-003	1.635E-004	2.232E-003
K	6	2.410E-002	2.395E-003	5.777E-005	2.338E-003
M	6	2.280E-002	2.395E-003	5.465E-005	2.341E-003
Y	6	2.100E-002	2.395E-003	5.034E-005	2.345E-003
J	6	1.250E-002	2.395E-003	2.996E-005	2.365E-003
G	30	1.850E-001	1.924E-003	3.563E-004	1.568E-003
O	10	2.250E-001	1.323E-003	2.979E-004	1.025E-003
Z	10	2.940E-002	1.323E-003	3.892E-005	1.284E-003
P	10	1.470E-002	1.323E-003	1.946E-005	1.303E-003
F	15	3.064E-001	5.812E-004	1.781E-004	4.031E-004
E	15	3.064E-001	5.812E-004	1.781E-004	4.031E-004

Аналізуючи дані розрахунку абсолютної значущості базових подій за критерієм Бірнбаума можна також зазначити, що в усіх тридцяти варіантах розвитку процесу перебігу травмонебезпечної ситуації беруть участь події G та H , водночас значущість події G є меншою за значущість подій L , K , M , Y та J (табл. 4).

Ймовірність настання головної події-наслідку *Travm-Mechan* у вигляді травмування трактористів-машиністів внаслідок падіння на них деталей, механізмів та корпусів машин під час ремонтування чи ТО сільськогосподарської техніки за заданих значеннях первинних (базових) подій становитиме $P_{TRAVM-MECHAN} = 3,56 \cdot 10^{-4}$.

Зазначені результати проведених досліджень дають змогу зосередити увагу на найбільш небезпечних та несприятливих первинних (базових) подіях для розроблення ефективних профілактичних заходів щодо запобігання нещасним випадкам. Водночас, походження та характер зазначених подій зумовлює певні обмеження у плануванні працезохоронних заходів.

Зокрема, на подію H впливати складно, оскільки ця подія характеризує об'єктивний стан виробничого процесу, а саме – необхідність проведення профілактичного огляду, усунення несправностей чи інші причини, які змушують механізатора перебувати у небезпечній зоні, усунення якої є практично неможливим. Також й на події G та O вплив обмежений, оскільки брак кваліфікованих, професійно підготовлених працівників на ринку праці та незадовільний матеріально-технічний стан сільськогосподарських підприємств є реаліями сьогодення.

Тому, насамперед, потрібно спрямувати зусилля щодо зменшення ймовірності початкових значень інших системоутворювальних первинних (базових) подій, зокрема подій F та E , що полягає у наявності фахівців з охорони праці на підприємстві та належне і ефективне виконання ними своїх обов'язків. Виконані у рамках застосованої моделі розрахунки показують, що у разі покращення працезохоронної діяльності на сільськогосподарських підприємствах на 50% від наявного рівня, тобто у разі зниження ймовірності первинних (базових) подій F та E вдвічі, ймовірність настання головної небажаної події-наслідку буде дорівнювати $P_{TRAVM-MECHAN} = 1,78 \cdot 10^{-4}$.

Висновки

1. Аналіз мінімальних перерізів травмонебезпечної ситуації дозволяє визначити найбільш ймовірні шляхи розвитку процесів її перебігу за участі базових подій: E , G , H , L , O та F , G , H , L , O з частотою $6,837 \cdot 10^{-5}$ кожний і загальним сумарним значенням 38,4 %.

2. Покращення працезохоронної діяльності на сільськогосподарських підприємствах на 50% від наявного рівня дозволить знизити ймовірність настання головної події-наслідку з

теперішнього $P = 3,56 \cdot 10^{-4}$ до $P = 1,78 \cdot 10^{-4}$, а отже зменшити професійний ризик трактористів-машиністів вдвічі.

3. Кількісні дослідження небезпечних та шкідливих виробничих чинників, визначення ступеня їх впливу на процеси зародження, формування і настання травмонебезпечних ситуацій та їх наслідків, що трапляються під час експлуатації сільськогосподарської техніки, дозволяють розробляти ефективні профілактичні заходи запобігання нещасним випадкам, виходячи з об'єктивного стану виробництва, рівня науково-технічного прогресу та економічних можливостей підприємства.

Список літератури

1. *Загородних А.* Факторы, определяющие производственный травматизм на транспортных средствах в сельском хозяйстве / *А. Загородних, С. Копылов* // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2011. – № 2. – С. 57–62.
2. *Радионов Н.* Состояние промышленной безопасности в Украине. Акценты в работе надзора / *Н. Радионов* // Промислова безпека. – 2013. – № 11. – С. 14–18.
3. *Комар А. С.* Аналіз стану охорони праці в агропромисловому комплексі України / *А. С. Комар* // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 2. – Т. 3. – С. 75–80.
4. *Рогач Ю. П.* Напрями зниження професійного ризику в АПК / *Ю. П. Рогач, А. С. Комар* // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 2. – Т. 2. – С. 156–162.
5. *Лапин А.* Травматизм со смертельным и тяжелым исходом в крестьянских (фермерских) хозяйствах, его причины и предупреждение / *А. Лапин, Н. Студенникова, В. Орлов* // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – 2008. – № 4. – С. 23–28.
6. *Гнатюк О. А.* Моделювання впливу небезпечних виробничих чинників на показники безпеки машинно-тракторних агрегатів в умовах агропромислового виробництва імовірнісними методами / *О. А. Гнатюк, В. В. Бегун* // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 81–96.
7. *Войналович О. В.* Охрана праці на транспортних роботах у сільському господарстві / *О. В. Войналович, О. А. Гнатюк* // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Х., 2012. – Вып. 59. – С. 108–112.
8. *Швыряев Ю. В.* Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения / *Ю. В. Швыряев*. – М.: ИАЭ им. И. В. Курчатова, 1992. – 266 с.
9. *Гражданкин А. И.* Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / *А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов, А. С. Печеркин* // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 5. – С. 33–36.
10. *Гражданкин А. И.* Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов / *А. И. Гражданкин* // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 2. – С. 6–10.

11. Гнатюк О. А. Оцінка професійного ризику механізаторів при роботі на мобільних машинно-тракторних агрегатах / О. А. Гнатюк // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2005. – Вип. 41. – С. 494–498.
12. Белов П. Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности / П. Г. Белов. – К.: КМУГА, 1997. – 426 с.
13. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
14. Антонов Г. Н. О новых подходах к построению логико-вероятностных моделей безопасности структурно-сложных систем / Г. Н. Антонов, А. С. Можаяев // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: ВИНТИ, 1999. – Вып. 9. – С. 14–27.
15. Імовірнісний аналіз безпеки атомних станцій (ІАБ) / В. В. Бєзун, О. В. Горбунов, І. М. Кащенко. – К., 2000. – 568 с.
16. Статистичний бюлетень «Травматизм на виробництві» [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

References

1. Zahorodnykh, A., Kopilov S. (2011). Faktori, opredelyayushchye proyzvodstvenniy travmatyzm na transportnykh sredstvakh v sel'skom khozyaystve [Determinants of occupational injuries in vehicles in agriculture]. *Agricultural engineering: maintenance and repair*, 2, 57–62.
2. Radyonov, N. (2013). Sostoyanye promishlennoy bezopasnosty v Ukrayne. Aktsenti v rabote nadzora [The state of industrial safety in Ukraine. The emphasis in the work of supervision]. *Industrial safety*, 11, 14–18.
3. Komar, A. S. (2012). Analiz stanu okhorony pratsi v ahropromyslovomu kompleksi Ukrayiny [Analysis of state of labour protection in the agricultural sector of Ukraine]. *Naukovyy visnyk TDATU, Melitopol'*: TDATU, Vyp. 2, T. 3, 75–80.
4. Rohach, Yu. P., Komar A. S. (2012). Napryamy znyzhennya profesiynoho ryzyku v APK [Direction of reducing occupational risk in agriculture]. *Naukovyy visnyk TDATU, Melitopol'*: TDATU, Vyp. 2, T. 2, 156–162.
5. Lapyn, A., Studennykova, N., Orlov, V. (2008). Travmatyzm so smertel'nim y tyazhelim yskhodom v krest'yanskykh (fermerskykh) khozyaystvakh, eho prychny y preduprezhdenye [Injuries with fatal and severe outcomes in the peasant (farm), its causes and prevention]. *Health and safety in agriculture*, 4, 23–28.
6. Hnatyuk, O. A., Byehun, V. V. (2012). Modelyuvannya vplyvu nebezpechnykh vyrobnychykh chynnykiv na pokaznyky bezpeky mashynno-traktornykh ahrehativ v umovakh ahropromyslovoho vyrobnytstva imovirnisnyimi metodamy [Modeling the impact of hazardous production factors on the safety performance of tractors in terms of agricultural production with probabilistic methods]. *Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine, Doslidnyts'ke*, Vyp. 16 (30), kn. 2, 81–96.
7. Voynalovych, O. V., Hnatyuk, O. A. (2012). Okhorona pratsi na transportnykh robotakh u sil's'komu hospodarstvi [Occupational safety in transport works in agriculture]. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University, Kh.*, Vip. 59, 108–112.
8. Shviryayev, Yu. V. (1992). Veroyatnostniy analiz bezopasnosty atomnykh stantsyy. Metodyka vipolnenyya [Probabilistic analysis of safety of nuclear stations. Methods of execution]. М.: YAE ym. Y. V. Kurchatova, 266.
9. Hrazhdankyn, A. Y., Lysanov, M. V., Pecherkyn, A. S. (2001). Yspol'zovanye veroyatnostnykh otsenok pry analyze bezopasnosty opasnykh proyzvodstvennykh

- объектов [The use of probabilistic evaluations in the safety analysis of hazardous production facilities]. Labour Safety in industry, 5, 33–36.
10. Hrazhdankyn, A. Y. (2001). Ekspertnaya sistema otsenky tekhnogennoho ryska opasnykh proizvodstvennykh obektov [Expert system of estimation of technogenic risk of hazardous production facilities]. Life Safety, 2, 6–10.
11. Hnatyuk, O. A. (2005). Otsinka profesiynoho ryzyku mekhanizatoriv pry roboti na mobil'nykh mashynno-traktornykh ahrehatakh [Evaluation of occupational exposure of operators when working on mobile tractor units]. Bulletin of HNTUSH im. Peter Vasilenko, Kh.: KhNTUS·H, Vyp. 41, 494–498.
12. Belov, P. H. (1997). Teoretycheskye osnovy systemnoy ynzheneryy bezopasnosti [Theoretical foundations of systems engineering security]. K.: KМУНА, 426.
13. Ryabynyn, Y. A. (2000). Nadezhnost' y bezopasnost' strukturno-slozhnykh system [Reliability and safety of structurally complex systems]. SPb.: Polytekhnyka, 248.
14. Antonov, H. N., Mozhaev, A. S. (1999). O novykh podkhodakh k postroyenyu lohyko-veroyatnostnykh modeley bezopasnosti strukturno-slozhnykh system [New approaches to the construction of logico-probabilistic security models of structurally complex systems]. Problemi bezopasnosti pry chrezvichaynykh sytuatsyyakh, M.: VYNYTY, Vip. 9, 14–27.
15. Byehun, V. V., Horbunov, O. V., Kashchenko, I. M. (2000). Imovirnisnyy analiz bezpeky atomnykh stantsiy [Probabilistic safety analysis of nuclear power plants]. K., 568.
16. Statystychnyy byuleten' «Травматызм на виробnytstvi» [Elektronnyy resurs] [Statistical Bulletin "occupational injuries" : electronic resource] (2016). / Derzhavna sluzhba statystyky Ukrayiny. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ТРАКТОРИСТОВ-МАШИНИСТОВ ВО ВРЕМЯ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

А. В. Войналович, А. А. Гнатюк

Аннотация. *Оценен профессиональный риск трактористов-машинистов во время ремонта и технического обслуживания сельскохозяйственной техники с учетом степени влияния опасных производственных факторов по критериям Фусела-Веселы и Бирнбаума.*

Анализ минимальных сечений травмоопасной ситуации позволяет определить наиболее вероятные пути развития процессов ее протекания при участии базовых событий: E, G, H, L, O и F, G, H, L, O с частотой $6,837 \cdot 10^{-5}$ каждый и общим суммарным значением 38,4 %.

Улучшению трудоохранной деятельности на сельскохозяйственных предприятиях на 50% от существующего уровня позволит снизить вероятность наступления главного события-следствия из настоящего $\Gamma = 3,56 \cdot 10^{-4}$ до $P = 1,78 \cdot 10^{-4}$, а следовательно уменьшить профессиональный риск трактористов-машинистов вдвое.

Количественные исследования опасных и вредных производственных факторов, определение степени их влияния на

процессы зарождения, формирования и наступления травмоопасных ситуаций и их последствий, которые встречаются во время эксплуатации сельскохозяйственной техники, позволяют разрабатывать эффективные профилактические меры предотвращения несчастных случаев, исходя из объективного состояния производства, уровня научно-технического прогресса и экономических возможностей предприятия.

Ключевые слова: опасные производственные факторы, профессиональный риск, минимальные сечения опасных событий, критерии Фусела-Веселы и Бирнбаума

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE OF TRACTOR DRIVERS DURING REPAIR AND MAINTENANCE OF AGRICULTURAL MACHINERY

O. V. Voynalovich, O. A. Hnatiuk

Abstract. *Appreciated by professional the risk of tractor drivers during the repair and maintenance of agricultural machinery, taking into account the degree of influence of dangerous production factors according to the criteria Fusel-Fun and Birnbaum.*

Analysis of the minimal cross-sections a traumatic situation allows you to determine the most probable path of development of processes of disease, with the participation of the basic events: E, G, H, L, O, and F, G, H, L, O frequency $6,837 \cdot 10^{-5}$ each and the total value of 38.4 %.

Improving labour protection standards activities in agricultural enterprises by 50% from existing level will reduce the probability of occurrence of the main event-the investigation of present $D = 3,56 \cdot 10^{-4}$ to $P = 1,78 \cdot 10^{-4}$, and hence to reduce risk of tractor drivers twice.

Quantitative research is dangerous and harmful factors, determine the degree of their influence on the processes of origin, formation and occurrence of traumatic situations and their consequences, which occur during operation of agricultural machinery, allow us to develop effective preventive measures to prevent accidents based on objective condition of production, the level of scientific and technological progress and economic capacity of the enterprise.

Keywords: *occupational hazards, professional risk, minimum cross-section of dangerous events, criterions Fussell-Vesely and Birnbaum*