

УДК 631.3:614.8

ЗАСТОСУВАННЯ ІМОВІРНІСНИХ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЗАХОДІВ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИПАДКІВ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ

Гнатюк О.А

Міністерство аграрної політики та продовольства України

Бєзун В.В

Національний технічний університет України

Білько Т.О

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Проведено порівняльний аналіз щодо визначення ефективності профілактичних заходів з попередження випадків виробничого травматизму в агропромисловому комплексі України на основі імовірнісних методів моделювання за допомогою комп'ютерної програми SAPHIRE

A comparative analysis is conducted in relation to determination of efficiency of prophylactic measures on warning of cases of production traumatism in the agroindustrial complex of Ukraine on the basis of probabilistic methods of design by the computer program SAPHIRE

Постановка проблеми

Покращення стану безпеки праці в агропромисловому комплексі України, який існує сьогодні, потребує вжиття ефективних і дієвих заходів як з боку відповідних державних органів, так і з боку служб охорони праці сільськогосподарських підприємств. Однак, перманентна економічна криза, в якій перебувають більшість сільськогосподарських підприємств, призвела до браку відповідних обігових коштів на заходи з охорони праці, що негативно позначилося на загальному рівні виробничого травматизму в аграрній галузі, особливо при використанні різноманітної сільськогосподарської техніки в процесі виробництва. У зв'язку з цим, актуальним постає питання щодо вибору пріоритетності спрямування зусиль та заходів з попередження та запобігання виробничим травмам в умовах обмеженості матеріально-технічних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз останніх досліджень, спрямованих на подолання проблеми виробничого травматизму в агропромисловому комплексі України дає підстави стверджувати, що питання визначення ефективності профілактичних заходів з попередження випадків виробничого травматизму, особливо в умовах обмеженості фінансових ресурсів, є фактично недослідженим. Ті публікації, які існують на сьогоднішній день, лише фрагментарно висвітлюють це питання, концентруючи свою увагу, в основному, чи то на загальному аналізі травматизму в АПК України [1, 2], чи то на виявленні окремих причин травмонезбезпечних ситуацій, не шукаючи кількісний їх вимір [3, 4]. Лише поодинокі публікації свідчать про спробу їх авторів дослідити кількісні зміни імовірності потрапляння

у травмонебезпечну ситуацію та отримання виробничої травми до та після вжиття відповідних заходів, направлених на покращення стану безпеки праці [5], хоча ґрунтовні дослідження та напрацювання у цьому напрямку вже існують в атомній енергетиці [6] та хімічній промисловості [7].

Мета досліджень

Метою дослідження є аналіз кількісних змін імовірності настання небажаної події до та після вжиття тих чи інших профілактичних заходів з охорони праці та визначення альтернативних шляхів щодо попередження і запобігання виробничого травматизму в агропромисловому комплексі України на прикладі моделювання конкретної травмонебезпечної ситуації.

Результати досліджень

Аналіз причин нещасних випадків з точки зору логіки їх зародження та настання показує, що у їх становленні беруть участь комплекс випадкових подій, від набору і комбінації яких залежить характер розвитку тієї чи іншої травмонебезпечної ситуації. В основі формування зазначеної комбінації випадкових подій лежить логічний зв'язок, що полягає у перетині та (або) об'єднанні первинних (базових) подій. Для виявлення та аналізу цього зв'язку використовують різноманітні методи моделювання, найбільше поширення серед яких набули логіко-графічні методи дослідження випадкових подій, зокрема метод «дерева відмов».

При аналізі «дерева відмов» з'ясовуються комбінації відмов (відказів) машин та обладнання, помилок персоналу та природних впливів, що призводять до настання небажаної події-наслідку. Тому цей метод активно використовується для аналізу можливих причин виникнення аварійних чи травмонебезпечних ситуацій та розрахунку їх ймовірностей [8, 9].

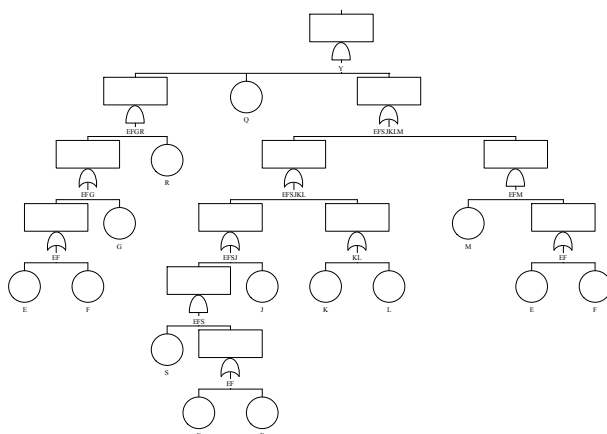


Рис. 1. Логічна модель розрахунку імовірності настання небажаної події (перекидання трактора, комбайна чи іншої самохідної сільськогосподарської машини при роботі на схилах)

Для прикладу було обрано одну з типових травмонебезпечних ситуацій, що трапляються в агропромисловому комплексі України при експлуатації тракторів та іншої

самохідної сільськогосподарської техніки – перекидання машинно-тракторних агрегатів при роботі на схилах, кут нахилу яких відносно горизонтальної поверхні землі перевищує гранично допустимий рівень, логічну модель якої зображено на рис. 1.

Вказані випадки не є поодинокими, оскільки значна територія сільськогосподарських угідь нашої держави має складний рельєф, що тільки підвищує імовірність перекидання машинно-тракторних агрегатів. Особливо це є актуальним при виконанні агротехнологічних операцій у гірській місцевості та на височинах, які займають сумарно більше 20 відсотків території України. До того ж ні трактори, ні інша самохідна сільськогосподарська техніка не обладнанні спеціальними технічними пристроями, які б сигналізували небезпечність кута їх нахилу відносно горизонтальної поверхні землі, що призводить до збільшення ризику настання небажаної події.

Для аналітичного дослідження зазначеної логічної моделі та оцінення ризику перекидання машинно-тракторних агрегатів при роботі на схилах, кут нахилу яких відносно горизонтальної поверхні землі перевищує гранично допустимий рівень, було застосовано комп'ютерну програму *SAPHIRE* [6].

У даній моделі настання небажаної події – головної події-наслідку залежить від наявності трьох груп небезпечних виробничих чинників: виконання робіт чи переміщення по крутому схилу, кут нахилу якого відносно горизонтальної поверхні землі перевищує гранично допустимий рівень (*EFGR*); відсутність технічного пристрою, який фіксував би цей кут та сигналізував механізаторові про його значення (*Q*); професійні, психофізіологічні та інші особливості механізатора, що впливають на утворення та перебіг травмонебезпечної ситуації (*EFSJKLM*) (див. рис. 1).

В свою чергу, кожна з цих груп формується шляхом поєднання та (або) перетину таких підгруп подій: незадовільний стан контролю з охорони праці на підприємстві (*EF*); залучення до роботи працівників з низьким рівнем професійної підготовки (у тому числі й з питань охорони праці) (*EFG*); залучення до роботи працівників з медичними протипоказаннями щодо виконуваної ними роботи; фізична втома механізатора (*EFS*); психічна втома механізатора (*KL*); перебування механізатора на робочому місці в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння (*EFM*) тощо.

Подібним чином, кожна з наведених підгруп є результатом комбінації наступних первинних (базових) подій: фактична відсутність служби охорони праці на підприємстві (*E*); незадовільна діяльність служби охорони праці (не проводяться належним чином навчання та відповідні інструктажі з питань охорони праці, не здійснюється контроль за технічним станом машин та обладнання з позиції їх безпеки, не здійснюється контроль за професійною придатністю та станом здоров'я потенційних працівників при прийнятті на роботу тощо) (*F*); відсутність професійно підготовлених трудових ресурсів на ринку праці, здатних працювати на МТА (низька кваліфікація працівників) (*G*); наявність крутих схилів, переміщення по яких машинно-тракторних агрегатів є небезпечним з точки зору можливості їх перекидання (*R*); відсутність фізично здорових трудових ресурсів на ринку праці, придатних для роботи на МТА (медичні протипоказання щодо виконуваної роботи) (*S*); ненормований робочий день механізатора (*J*); стресові ситуації (емоційні перенапруження) механізатора (*K*); перевищення граничнодопустимого рівня шуму МТА (*L*); низький рівень трудової дисципліни та культури праці механізатора (вживання алкогольних напоїв чи наркотичних речовин під час роботи) (*M*).

Кількісні значення ймовірностей базових (первинних) подій зазначеної логічної моделі перебігу небезпечної ситуації розраховано на основі статистичних даних про причини виробничого травматизму в АПК України [10]. Сміслові позначення цих подій представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Кількісні значення імовірності базових (первинних) подій логічної моделі перебігу небезпечної ситуації: «Перекидання машинно-тракторних агрегатів при роботі на схилах»

Найменування елементів в (базових подій)	Коротке описання елементів (базових подій)	Кількісне значення елементів (базових подій), P
E	Фактична відсутність служби охорони праці на підприємстві	0,25
F	Незадовільна діяльність служби охорони праці (не проводяться належним чином навчання та відповідні інструктажі з питань охорони праці, не здійснюється контроль за технічним станом машин та обладнання з позиції їх безпечності, не здійснюється контроль за професійною придатністю та станом здоров'я потенційних працівників при прийомі на роботу тощо)	0,5
EF	Незадовільний стан контролю з охорони праці на підприємстві	
G	Відсутність професійно підготовлених трудових ресурсів на ринку праці, здатних працювати на МТА (низька кваліфікація працівників)	0,3
EFG	Залучення до роботи працівників з низьким рівнем професійної підготовки (у тому числі й з питань охорони праці)	
R	Наявність крутих схилів, переміщення по яких машинно-тракторних агрегатів є небезпечним з точки зору можливості їх перекидання	0,2
EFGR	Переміщення машинно-тракторного агрегату по крутому схилу, кут нахилу якого відносно горизонтальної поверхні землі перевищує гранично допустимий рівень	
S	Відсутність фізично здорових трудових ресурсів на ринку праці, придатних для роботи на МТА (медичні протипоказання щодо виконуваної роботи)	0,2
EFS	Залучення до роботи працівників з медичними протипоказаннями щодо виконуваної ними роботи	
J	Ненормований робочий день механізатора	0,15
EFSJ	Фізична втома механізатора	
K	Стресові ситуації (емоційні перенапруження) механізатора	0,1

Продовження Таблиці 1		
L	Перевищення граничнодопустимого рівня шуму МГА	0,15
KL	Психічна втома механізатора	
EFSJKL	Психофізіологічна втома механізатора	
M	Низький рівень трудової дисципліни та культури праці механізатора (вживання алкогольних напоїв чи наркотичних речовин під час роботи)	0,1
EFM	Перебування механізатора на робочому місці в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння	
EFSJKL M	Зниження концентрації уваги чи сповільнення реакції організму механізатора на подразнення виробничого середовища	
Q	Відсутність в конструкції машинно-тракторного агрегату спеціального технічного пристрою для фіксації та сигналізації кута його нахилу відносно горизонтальної поверхні землі	1,0
Головна подія-наслідок – Y	Перекидання машинно-тракторного агрегату (трактора, комбайна чи іншої самохідної сільськогосподарської машини) при роботі на схилах	

В ході дослідження зазначеної логічної моделі перебігу травмонебезпечної ситуації (рис. 1), було отримано мінімальні перерізи, визначено відносні значимості елементів моделі за критерієм Фусела-Весели та абсолютні значимості елементів моделі за критерієм Бірнбаума, результати яких представлено у табл. 2-4 відповідно.

Таблиця 2

Результати знаходження мінімальних перерізів та їх значень

Cut, №	Total, %	Cut Set, %	Frequency	Cut Sets
1	16.4	16.4	2.000E-002	F, Q, R, S
2	28.8	12.3	1.500E-002	F, J, Q, R
3	41.1	12.3	1.500E-002	F, L, Q, R
4	49.3	8.2	1.000E-002	E, Q, R, S
5	57.6	8.2	1.000E-002	F, K, Q, R
6	65.8	8.2	1.000E-002	F, M, Q, R
7	73.2	7.4	9.000E-003	G, J, Q, R
8	80.6	7.4	9.000E-003	G, L, Q, R
9	86.7	6.2	7.500E-003	E, J, Q, R
10	92.9	6.2	7.500E-003	E, L, Q, R
11	97.8	4.9	6.000E-003	G, K, Q, R
12	100.0	4.1	5.000E-003	E, K, Q, R
13	100.0	4.1	5.000E-003	E, M, Q, R

Таблиця 3

Результати визначення відносної значимості елементів моделі за критерієм Фуссела-Весели

Event name	Name of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importans
Q	13	1.000E+000	1.000E+000
R	13	2.000E-001	1.000E+000
F	5	5.000E-001	5.274E-001
E	5	2.500E-001	2.581E-001
L	3	1.500E-001	2.323E-001
J	3	1.500E-001	2.323E-001
S	2	2.000E-001	2.217E-001
G	3	3.000E-001	1.760E-001
K	3	1.000E-001	1.538E-001
M	2	1.000E-001	1.095E-001

Таблиця 4

Результати визначення абсолютної значимості елементів моделі за критерієм Бірнбаума

Event name	Name of Occ.	Probability of Failure	Birnbaum Importans Measure
R	13	2.000E-001	4.856E-001
J	3	1.500E-001	1.780E-001
L	3	1.500E-001	1.780E-001
K	3	1.000E-001	1.761E-001
S	2	2.000E-001	1.313E-001
M	2	1.000E-001	1.293E-001
F	5	5.000E-001	1.249E-001
Q	13	1.000E+000	1.217E-001
E	5	2.500E-001	1.205E-001
G	3	3.000E-001	7.011E-002

Знаходження мінімальних перерізів (сполучення подій, що призводять до ризику), набір яких не може бути скорочений без гарантії настання небажаної події-наслідку показує, що найбільш імовірним варіантом проходження трамонебезпечної ситуації є варіант за участю подій *F, Q, R, S*, який становить 16,4 відсотки. Далі розмістилися варіанти подій *F, J, Q, R* та *F, L, Q, R* з імовірністю 12,3 відсотки кожний (див. табл. 2).

Сама імовірність настання головної події-наслідку *Y* у вигляді перекидання трактора, комбайна чи іншої самохідної сільськогосподарської машини при роботі на схилах за заданих значеннях первинних (базових) подій буде дорівнювати $P_Y = 1,217 \cdot 10^{-1}$.

З аналізу відносної значущості базових подій за критерієм Фусела-Весели впливає, що найбільшу значущість і вплив на головну подію-наслідок Y справляють події Q та R . На 3 місці розмістилася відповідно подія F (див. табл. 3).

З аналізу абсолютної значущості базових подій за критерієм Бірнбаума впливає, що найбільшу значущість і вплив на головну подію-наслідок Y справляє також подія R . На 2 та 3 місцях розмістилися відповідно події J та L (див. табл. 4).

На подію R ми впливати не можемо, оскільки ця подія характеризує об'єктивний стан виробничого доквілля, а саме наявність крутих схилів, вирівнювання яких є практично неможливим та економічно недоцільним.

Тому, в першу чергу, нам слід спрямувати свої зусилля щодо зменшення імовірності початкових значень інших системоутворюючих базових подій, зокрема подій Q , F , J та L .

У випадку, якщо б нам вдалося встановити принаймні на 50 відсотках сільськогосподарських машин креноміри-сигналізатори кута нахилу агрегату відносно горизонтальної поверхні землі, тобто знизити імовірність первинної (базової) події Q вдвічі, то імовірність настання головної небажаної події-наслідку дорівнювала б $P_Y=6,264*10^{-2}$.

З іншого боку, при збереженні існуючої несприятливої ситуації, пов'язаної з відсутністю у конструкціях машинно-тракторних агрегатів креномірів-сигналізаторів, проте при кардинальному усуненні недоліків організаційного характеру в діяльності служб охорони праці, що полягають у відсутності належної роботи із створення безпечних і нешкідливих умов праці, незабезпеченості відповідного контролю за професійним рівнем працівників при прийнятті їх на роботу та в процесі роботи, за проведенням періодичних медичних оглядів та технічним станом машин і механізмів тощо з сьогоднішніх $P_E=0,25$ та $P_F=0,5$ до $P=0,1$ кожний, то імовірність настання головної небажаної події-наслідку становила б $P_Y=5,081*10^{-2}$.

При зниженні ймовірностей базових подій J та L з сьогоднішніх $P=0,15$ до $P=0,05$ кожна та збереженні початкових значень ймовірностей всіх інших базових подій логічної моделі, імовірність настання головної небажаної події-наслідку становила б $P_Y=8,372*10^{-2}$.

Висновки

Таким чином, застосування імовірнісних методів моделювання та проведення на їх основі розрахунків настання аварій і травм дає можливість рекомендувати керівникам сільськогосподарських підприємств та відповідним службам охорони праці приймати найбільш оптимальні рішення щодо зниження рівня ризику виникнення травмонезбезпечних ситуацій (в даному випадку – перекидання трактора, комбайна чи іншої самохідної сільськогосподарської машини при роботі на схилах) шляхом вибору організаційних чи суто технічних заходів, або тих та інших у їх сукупності, виходячи з ресурсних можливостей конкретного підприємства та стратегії бачення ним вирішення цієї проблеми.

Література

1. Дегтяренко Г., Левченко В. Агрпромиловий комплекс – травмонезбезпечна галузь виробництва // Охорона праці. – № 8, 1999. – С.32-33.
2. Войналович О.В., Подобед І.М. Аналіз причин травмування працівників на механізованих процесах у рослинництві // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2006. – Вип. 45. – С. 138-143.

3. Лехман С.Д. Ідентифікація потенційних небезпек при прогнозуванні аварій і травм на виробництвах АПК // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2007. – С. 350-357.
4. Лехман С.Д. Дослідження причин утворення потенційних небезпек при роботі машинно-тракторного агрегату // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2009. – Вип. 93. – С. 457-463.
5. Гнатюк О.А. Порівняльний аналіз професійного ризику механізаторів АПК за методом «дерева відмов» // Міжвідомчий тематичний науковий збірник: «Механізація та електрифікація сільського господарства». – Глеваха, 2007. – Вип. 91. – С. 276-284.
6. Імовірнісний аналіз безпеки атомних станцій (ІАБ): Навч. посібник / В.В. Бєзун, О.В. Горбунов, І.М. Кащенко та ін. – К., 2000. – 568 с.
7. Лысюк С.Д. Расчёт вероятности отравления хлоргазом с использованием кода IRRAS // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІОП, 2005. – С.46-55.
8. Александров А.Б., Мартынюк В.Ф., Фомин С.Л., Фомина Е.Е. Использование метода дерева отказов для анализа несчастных случаев // Безопасность жизнедеятельности. – № 9, 2002. – С. 6-11.
9. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. – К.: КМУ ГА, 1997. – 426 с.
10. Систематизовані статистичні звіти Українського науково-виробничого інженерного центру з охорони праці в сільському господарстві (УНВІЦ «Укрсільгоспохоронпраці») з аналізу виробничого травматизму на підприємствах усіх форм власності агропромислового комплексу України.