

scientifically proves the mechanism of introducing students into active cognitive in the aspect of subjective rules of acquiring new knowledge.

Key words: *psychological and didactic aspect, problem lectures, creative thinking, convergent thinking, divergent thinking, semantic systems*

УДК 331.45:614.8:331.103.253

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРКІВСЬКИХ
ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ
СИСТЕМИ «МЕХАНІЗАТОР – МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ
АГРЕГАТ – ВИРОБНИЧЕ ДОВКІЛЛЯ»**

О. А. Гнатюк, кандидат технічних наук

Т. О. Білько, кандидат біологічних наук

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

О. О. Покутний, кандидат фізико-математичних наук

ДУ «Інститут математики НАН України»

Анотація. У статті продемонстровано застосування методології дослідження неперервних ланцюгів Маркова для прогнозування поведінки системи «механізатор-машинно-тракторний агрегат-виробниче довкілля» та оцінення ризику травмування трактористів-машиністів (механізаторів) АПК.

Ключові слова: *методи аналізу виробничого травматизму, ланцюги Маркова, професійний ризик трактористів-машиністів*

Поставлення проблеми. Відповідно до статистичних даних щодо стану виробничого травматизму в Україні агропромисловий комплекс (АПК) продовжує залишатися однією з найбільш травмонебезпечних галузей національної економіки. Так, протягом останніх п'яти років 348 працівників аграрної галузі отримали травми з летальними наслідками, що становить понад 13% від загальної кількості смертельно травмованих за цей період працівників в усіх галузях економіки України. І це без врахування даних щодо смертельному травматизму в харчовій та переробній галузях, які традиційно відносять до аграрного сектору економіки.

Найбільш травмонебезпечною та поширеною в АПК професією є професія тракториста-машиніста (механізатора), оскільки їх робота пов'язана із застосуванням різноманітних мобільних технічних

© О. А. Гнатюк, Т. О. Білько, О. О. Покутний, 2016

засобів виробництва (трактори, комбайни, самохідні сільськогосподарські машини тощо). Саме під час застосування зазначеної техніки виникає велика кількість небезпечних ситуацій, що призводять до травм різного ступеню важкості. Зокрема, протягом 2010–2014 рр. під час виконання агротехнологічних операцій загинуло 78 трактористів-машиністів (механізаторів), що становить понад 22% від загальної кількості смертельно травмованих працівників, зайнятих у сільському господарстві України. Для розроблення та впровадження дієвих та ефективних профілактичних заходів та засобів щодо зниження рівня виробничого травматизму механізаторів АПК необхідно провести ґрунтовні дослідження його причин на підставі найбільш прийнятних методів і способів з урахуванням характерних особливостей механізованих процесів в агропромисловому виробництві. Такими методами є методи ймовірнісного оцінення ризику настання нещасних випадків, оскільки дані методи дозволяють вивчати процеси перебігу травмонебезпечних ситуацій та розробляти і своєчасно впроваджувати відповідні заходи та технічні засоби безпеки. Водночас, проведені дослідження щодо визначення професійного ризику механізаторів під час експлуатації різноманітної сільськогосподарської техніки не дають змоги провести глибокий аналіз процесів перебігу травмонебезпечних ситуацій. Виходячи із зазначеного, подальші дослідження з пошуку найбільш прийнятних методів кількісного визначення професійного ризику механізаторів є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Виробничий травматизм, його аналіз, кількісне визначення професійного ризику та пошук ефективних шляхів зниження його рівня до прийнятних меж привертає увагу багатьох фахівців. Численні публікації як вітчизняних, так і зарубіжних науковців свідчать про існування багатьох методів та підходів щодо дослідження проблеми виробничого травматизму взагалі та ризику отримання травм на виробництві зокрема. Серед цих методів можна відзначити такі найбільш поширені як: метод експертного оцінювання [1], метод на основі теорії нечітких множин [2], метод структурного моделювання [3], статистичний метод [4] тощо.

Окрім зазначених методів, для аналізу ступеню ризику технологічного обладнання пропонують до застосування такі методичні підходи [5]:

- інженерний (ґрунтується на статистичних даних, розрахунках частоти, ймовірнісному аналізі безпеки, побудові дерева безпеки);
- модельний (заснований на побудові моделі впливу шкідливих і небезпечних виробничих чинників на працівників);

– експертний (імовірність небажаних подій визначають на основі опитування експертів чи кваліфікованих спеціалістів).

Водночас, потрібно зауважити, що окремо взяті, вони не можуть описати реальну картину процесів перебігу травмонебезпечних ситуацій в АПК, а сама специфіка сільськогосподарського виробництва дуже часто робить будь-який якісний та кількісний аналізи за цими методами та підходами досить відносними та умовними. Тому, стає необхідним пошук таких теоретичних принципів і методичних підходів, застосування яких, дало б змогу більш точно та об'єктивно дослідити професійний ризик механізаторів АПК, і на цій основі запропонувати шляхи його зниження. Звідси, ряд науковців [6-8] для дослідження явища виробничого травматизму стали ширше використовувати методи логічного та математичного моделювання. Ці методи дозволяють точніше визначати ризик виникнення аварій та настання травм, що дає змогу розробляти і впроваджувати ефективніші запобіжні заходи. Дуже широке застосування для дослідження аварійності і травматизму в провідних галузях економіки знайшли ймовірнісні методи аналізу, де їх кількісні та якісні характеристики визначають за допомогою методу «дерева відмов» [9, 10]. Зазначений метод є достатньо ефективним і зручним для оцінювання ризику травмування працівників на виробництві, проте він має певне обмеження в застосовуванні щодо якісного та кількісного аналізу динаміки перебігу травмонебезпечних ситуацій, зокрема, щодо прогнозування перебування системи «людина-машина-виробниче довкілля» (далі – система «ЛМД») в одному із станів через певний проміжок часу. Натомість, це дозволяють зробити методи, в основі яких лежать дослідження поведінки елементів людина, машина та виробниче довкілля як цілісної системи. Одним з таких методів є системний аналіз із застосуванням математичного апарату марківських випадкових процесів з дискретними станами та безперервним часом.

Мета досліджень – якісна та кількісна характеристика процесу перебігу травмонебезпечних ситуацій під час експлуатації механізаторами різноманітної сільськогосподарської техніки, ймовірнісний аналіз та прогнозування поведінки системи «механізатор – машинно-тракторний агрегат – виробниче довкілля» у середньо- та довгостроковій перспективах.

Результати досліджень. Детальний аналіз травмонебезпечних ситуацій та їх наслідків, які сталися з механізаторами АПК під час експлуатації машинно-тракторних агрегатів (МТА) вказує на певні закономірності їх перебігу. З іншого боку, виходячи із системного підходу щодо дослідження явища

виробничого травматизму, розглядаємо машинно-тракторний агрегат будь-якої конфігурації та механізатора, а в окремих випадках і чинники виробничого довкілля, як елементи цілісної системи, що перебувають у постійній взаємодії одне з одним.

Виходячи з цього, зміна стану будь-якого з елементів цієї системи під впливом різноманітних виробничих чинників неодмінно призведе до зміни первісного стану системи загалом [11].

Для описання перебігу процесів зародження, формування і настання нещасних випадків було застосовано математичний апарат, розроблений у теорії ймовірностей для марківських випадкових процесів з дискретними станами та неперервним часом, за якого перехід системи «механізатор-МТА-виробниче довкілля» (далі – система S) з одного стану в інший можливий у будь-який, наперед не відомий, випадковий момент часу t .

Розглядаючи випадкові процеси з дискретними станами і неперервним часом, зручно уявляти переходи системи S з одного стану в інший як такі, що відбуваються під впливом певних потоків подій або в матеріалізованому уявленні небезпечних виробничих чинників як «небезпечних впливів енергії» [12]. Тоді щільності ймовірностей переходу λ отримують зміст інтенсивностей відповідних потоків подій. Процес, який проходить в системі S , буде марківським, якщо всі зазначені потоки подій будуть пуасонівськими (ординарні, без післядії, з постійною чи залежною від часу інтенсивністю) [13, 14].

Для прикладу було обрано одну з найтипівіших небажаних подій, що трапляються з механізаторами під час експлуатації різноманітних МТА та самохідних сільськогосподарських машин, а саме – дорожньо-транспортна пригода (ДТП) внаслідок зіткнення МТА з іншими транспортними засобами чи нерухожими перешкодами. Граф станів процесу перебігу зазначеної небажаної події представлено на рис. 1. З рис. 1 видно, що з моменту введення МТА в експлуатацію система працює у справному стані S_0 , в якому вона може перебувати весь період своєї роботи, аж до виведення з експлуатації. Однак, як свідчить практика, через деякий період часу під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{01} система може перейти в несправний стан S_1 (у даному випадку – працювати з несправними приладами освітлення чи сигналізації). Утім, це ще не впливає на здатність нашої системи продовжувати працювати в заданому режимі. Працюючи у стані S_1 під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{10} , система може повернутися через певний час назад у стан S_0 (приведення засобів освітлення чи сигналізації у справний стан). Проте, через певні помилки механізатора, під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{12} , система може перейти у стан S_2 , який

характеризується потраплянням механізатора в небезпечну ситуацію, а саме – заїжджання МТА в зону зіткнення з іншим транспортним засобом чи нерухомою перешкодою.

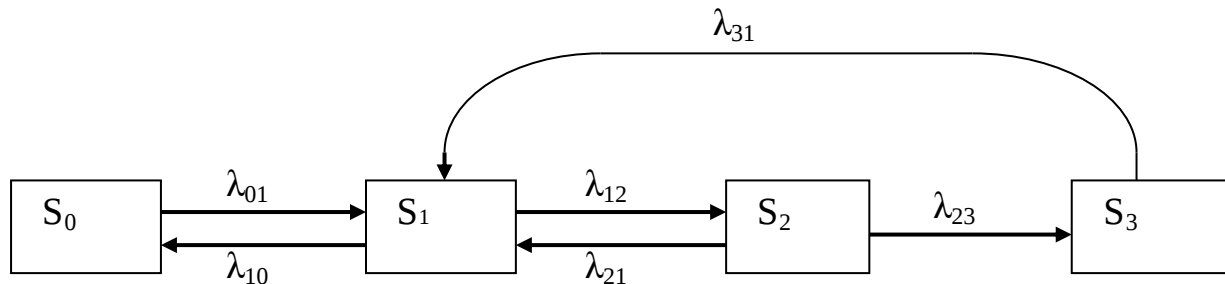


Рис. 1. Граф станів процесу перебігу небажаної події «ДТП внаслідок зіткнення МТА з іншими транспортними засобами чи нерухомими перешкодами»: S_0 – система працює у справному стані; S_1 – система працює у несправному стані (прилади освітлення та сигналізації вийшли з ладу); S_2 – потрапляння механізатора в небезпечну ситуацію (заїжджання МТА в зону зіткнення з іншим транспортним засобом чи нерухомою перешкодою); S_3 – перехід небезпечної ситуації у критичну ситуацію (травмування механізатора внаслідок зіткнення МТА з іншим транспортним засобом чи нерухомою перешкодою).

Далі існують декілька варіантів розвитку небажаної події:

- під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{21} система повертається у попередній стан S_1 , в якому може продовжувати працювати й надалі, або згодом під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{10} повертається у вихідний стан S_0 ;
- під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{23} система переходить у стан S_3 , який характеризується переходом небезпечної ситуації в критичну (травмування механізатора внаслідок зіткнення МТА з іншим транспортним засобом чи нерухомою перешкодою) та наступним поверненням під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{31} у стан S_1 , в якому система, подібно до обставин за пунктом а, може працювати й надалі, або згодом, під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{10} , повернутись у вихідний стан S_0 .

Знаючи розмічений граф станів, можна визначити ймовірності станів нашої системи $P_0(t), P_1(t), P_2(t)$ та $P_3(t)$ як функції часу. А саме, зазначені ймовірності задовольняють системі диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, в яких невідомими функціями є ймовірності станів системи [13]:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_{01}P_0(t) + \lambda_{10}P_1(t), \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{01}P_0(t) - (\lambda_{10} + \lambda_{12})P_1(t) + \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{31}P_3(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{23})P_2(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{31}P_3(t) \end{cases}$$

з нормувальною умовою $P_0(0) + P_1(0) + P_2(0) + P_3(0) = 1$.

Вводячи до розгляду вектор-функцію $\vec{P}(t) = (P_0(t), P_1(t), P_2(t), P_3(t))$ та матрицю інтенсивностей:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} -\lambda_{01} & \lambda_{10} & 0 & 0 \\ \lambda_{01} & -\lambda_{10} - \lambda_{12} & \lambda_{21} & \lambda_{31} \\ 0 & \lambda_{12} & -\lambda_{21} - \lambda_{23} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{23} & -\lambda_{31} \end{pmatrix},$$

можемо переписати систему рівнянь Колмогорова у вигляді наступної лінійної матричної системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{P}(t)}{dt} = \Lambda \vec{P}(t), \\ l\vec{P}(\cdot) = \sum_{i=0}^3 P_i(0) = 1, \quad P_i(0) \geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

Для розв'язування системи (1) можна застосувати перетворення Лапласа. Згідно з [15] для функції $f(t)$ її перетворення Лапласа має вигляд:

$$F(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} f(t) dt.$$

Тоді похідній $f'(t)$ буде відповідати функція $pF(p) - f(0)$.

Обернене перетворення Лапласа здійснюємо так:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{t-i\infty}^{t+i\infty} e^{pt} F(p) dp.$$

Нехай вектор-функція $\vec{\pi}(p)$ має наступний вигляд:

$$\vec{\pi}(p) = (\pi_0(p), \pi_1(p), \pi_2(p), \pi_3(p)),$$

де: $\pi_i(p), i = \overline{0,3}$ – відповідні образи функцій станів $P_i(t), i = \overline{0,3}$ у разі перетворення Лапласа. Тоді диференціальна система (1) перетвориться на лінійну алгебраїчну систему:

$$\vec{\pi} = Q\vec{\pi} + \vec{g}, \quad (2)$$

де: матриця Q та вектор $\vec{g}$ відповідно мають вигляд:

$$Q = \frac{1}{p} \Lambda, \quad \vec{g} = \frac{1}{p} (P_0(0), P_1(0), P_2(0), P_3(0)),$$

або в розгорнутому вигляді:

$$\begin{cases} \pi_0(p) = -\frac{\lambda_{01}}{p}\pi_0(p) + \frac{\lambda_{10}}{p}\pi_1(p) + \frac{P_0(0)}{p}, \\ \pi_1(p) = \frac{\lambda_{01}}{p}\pi_0(p) - \frac{(\lambda_{10} + \lambda_{12})}{p}\pi_1(p) + \lambda_{21}\pi_2(p) + \lambda_{31}\pi_3(p) + \frac{P_1(0)}{p}, \\ \pi_2(p) = \frac{\lambda_{12}}{p}\pi_1(p) - \frac{(\lambda_{21} + \lambda_{23})}{p}\pi_2(p) + \frac{P_2(0)}{p}, \\ \pi_3(p) = \frac{\lambda_{23}}{p}\pi_2(p) - \frac{\lambda_{31}}{p}\pi_3(p) + \frac{P_3(0)}{p}, \end{cases}$$

з умовою $\sum_{i=0}^3 \pi_i(p) = \frac{1}{p}$.

Перетворимо систему (2) до вигляду:

$$(I - Q)\vec{\pi} = \vec{g}. \quad (3)$$

Можливі два випадки:

1) $\det(I - Q) \neq 0$.

Тоді існує єдиний розв'язок матричної системи (3) у вигляді:

$$\vec{\pi} = (I - Q)^{-1} \vec{g}.$$

Виконання умови нормування перевіряємо безпосередньою підстановкою отриманого розв'язку;

2) $\det(I - Q) = 0$.

У цьому випадку розв'язок матричної системи (3) існує не для всіх правих частин $\vec{g}$, а лише для тих і тільки для тих $\vec{g}$, що задовольняють умову $P_{N(I-Q)^T} \vec{g} = \vec{0}$. У разі виконання цієї умови множина розв'язків даної системи матиме вигляд:

$$\vec{\pi} = (I - Q)^+ \vec{g} + P_{N(I-Q)} \vec{c}.$$

Для довільного вектора $\vec{c} \in R^4$, де матриця $(I - Q)^+$ – псевдообернена за Муром-Пенроузом до матриці $(I - Q)$ [15].

Виконуючи обернене перетворення Лапласа та перевіряючи нормувальну умову, знаходимо шуканий розподіл станів.

Для прикладу покажемо обчислення ймовірнісних функцій станів системи «ЛМД», що складається з елементів «механізатор-МТА-виробниче довілля». Для розрахунку коефіцієнтів інтенсивностей переходів зазначеної системи використовували усереднені статистичні дані: Держстату України – щодо кількості тракторів, які перебували на обліку в сільськогосподарських підприємствах; Держсільгоспінспекції України – щодо кількості тракторів, які експлуатували з несправними приладами освітлення та сигналізації; Держгірпромнагляду України – щодо випадків травмування механізаторів під час експлуатації тракторів з несправними приладами освітлення та сигналізації, а також експертні оцінки фахівців щодо ймовірностей окремих станів процесу перебігу травмонебезпечних ситуацій.

У результаті аналізу відповідних співвідношень, що характеризують кожний стан досліджуваної системи, було отримано такі коефіцієнти інтенсивностей за середньостатистичної кількості тракторів (149720 одиниць), які перебувають на обліку сільськогосподарських підприємств:

- кількість тракторів, які працюють зі справними приладами освітлення та сигналізації – 136245 одиниць ($\lambda_{00} = 0,91$);
- кількість тракторів, які працюють з несправними приладами освітлення та сигналізації – 13475 одиниць ($\lambda_{01} = 0,09$);
- кількість тракторів, на яких прилади освітлення та сигналізації приведено у справний стан – 10780 одиниць ($\lambda_{10} = 0,8$);
- кількість тракторів з несправними приладами освітлення та сигналізації, які продовжують експлуатувати – 2695 одиниць ($\lambda_{11} = 0,2$);
- кількість тракторів з несправними приладами освітлення та сигналізації, експлуатація яких призвела до настання травмонебезпечних ситуацій – 1887 одиниць ($\lambda_{12} = 0,7$);
- кількість травмонебезпечних ситуацій, що перейшли у критичні – 377 випадків ($\lambda_{23} = 0,2$);
- перехід з травмонебезпечних ситуацій у несправний стан – 1510 випадків ($\lambda_{21} = 0,8$);
- перехід з критичних ситуацій у несправний стан – 377 випадків ($\lambda_{31} = 1,0$).

Матриця переходів станів системи буде наступна:

$$P = \begin{pmatrix} -0,09 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0,09 & -0,8 & 0,2 & 1 \\ 0 & 0,7 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0,8 & -1 \end{pmatrix}.$$

Розв'язавши рівняння Колмогорова-Чепмена та врахувавши умову нормування, отримуємо множину ймовірностей станів системи:

$$\begin{cases} P_0(t) = -0,0232c_1(0,3724)^t - 0,79c_3(0,9028)^t + 0,2169, \\ P_1(t) = 0,2086c_1(0,3724)^t + 0,097c_3(0,9028)^t + 0,2589, \\ P_2(t) = -0,7778c_1(0,3724)^t - 0,7071c_2(0,9028)^t + 0,097c_3(0,9028)^t + 0,2185, \\ P_3(t) = 0,5924c_1(0,3724)^t + 0,7071c_2(0,9028)^t + 0,596c_3(0,9028)^t + 0,3057. \end{cases}$$

Для того, щоб виконувалася умова нормування, необхідно покласти константи $c_1 = c_2 = c_3 = 0,1$.

Функції станів можна представити в наступному вигляді:

$$\begin{cases} P_0(t) = -0,00232(0,3724)^t - 0,079(0,9028)^t + 0,2169 \\ P_1(t) = 0,02086(0,3724)^t + 0,0097(0,9028)^t + 0,2589 \\ P_2(t) = -0,07778(0,3724)^t - 0,07071(0,44937)^t + 0,0097(0,9028)^t + 0,2185 \\ P_3(t) = 0,05924(0,3724)^t + 0,07071(0,44937)^t + 0,0596(0,9028)^t + 0,3057 \end{cases}$$

На підставі отриманих даних побудовано графіки кінетичних залежностей ймовірностей P станів системи (рис. 2).

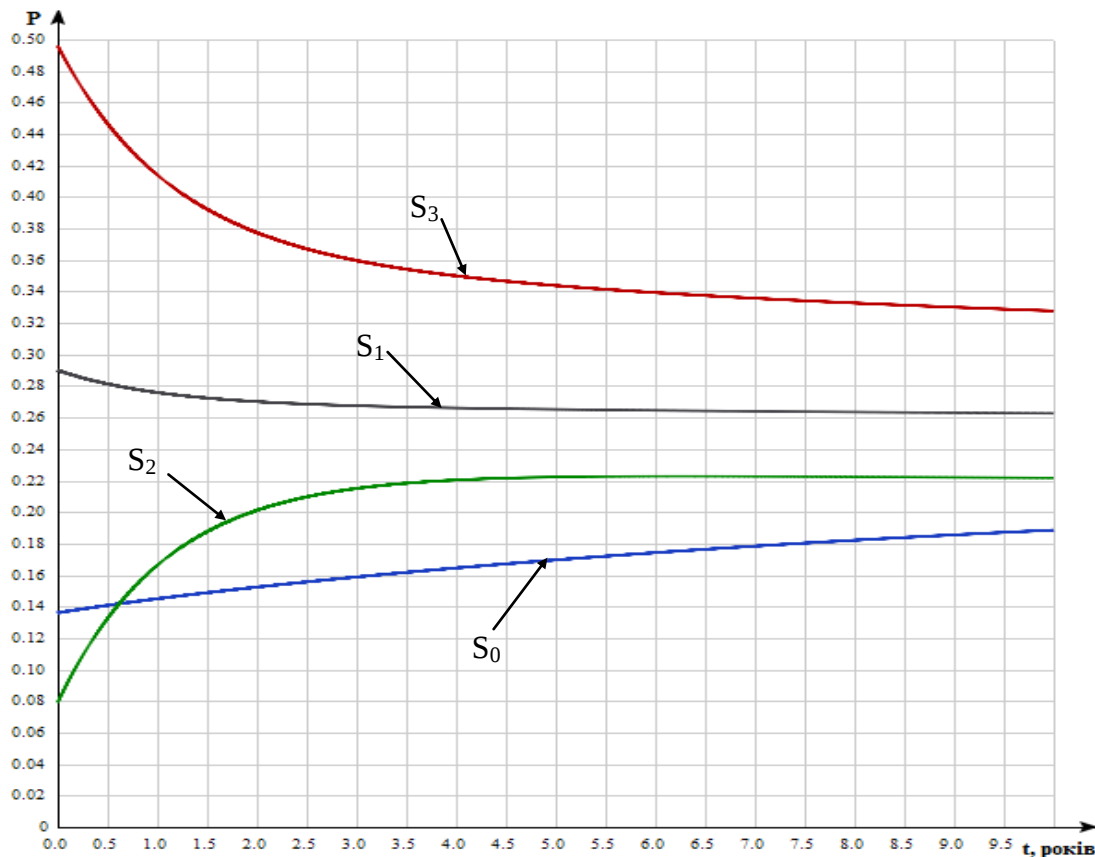


Рис. 2. Графіки кінетичних залежностей ймовірностей P станів системи (S_0 , S_1 , S_2 , S_3).

Отже, у довгостроковій перспективі (10 років) ймовірність перебування нашої системи у стані S_0 становитиме 0,2169, у стані S_1 – 0,2589, у стані S_2 – 0,2185, у стані S_3 – 0,3057. Це означає, що 21,69% агрегатів працюватимуть у справному стані S_0 , 25,89% перейдуть у несправний стан S_1 , 21,85% перейдуть у небезпечний стан S_2 (буде створено небезпечну ситуацію). Ймовірність системи перейти у критичний стан S_3 (травмування механізатора) у такому випадку становитиме 30,57%. Як видно з наведеного оціночного прикладу, отримані результати можна використовувати для прогнозування ймовірностей станів системи «ЛМД» у категоріях виробничого ризику травмування механізаторів АПК.

Висновки

1. Застосування неперервних ланцюгів Маркова, як одного з методів імовірнісного аналізу випадкових подій дає змогу кількісно оцінювати ризик травмування трактористів-машиністів під час експлуатації машинно-тракторних агрегатів та знаходити ймовірності

на всіх етапах розвитку процесу перебігу травмонебезпечних ситуацій, а також прогнозувати ймовірність перебування системи «ЛМД» в тому чи іншому стані через певний проміжок часу.

2. Прогнозні показники ймовірностей змін станів системи «ЛМД» на основних виробничих процесах в АПК вказують на те, що у середньо- та довгостроковій перспективах зазначена система набуває стаціонарного режиму функціонування, тобто ймовірності її станів практично не змінюються.

Список літератури

1. *Holmberg J.* Application of the Dempster – Shafer Theory of Evidence for Accident Probability Estimates / *J. Holmberg* // *Rel. Eng. And Syst. Safety.* – 1989. – № 1. – P. 47–48.
2. *Karwowski W.* Fuzz modeling of risk factors for industrial accident prevention – Some empirical results / *W. Karwowski, T. Marek, C. Noworol, K. Ostaszewski* // *Appl. Fuzzu Ses Methodol. And Eng.* – Amsterdam et al., 1989. – P. 141–153.
3. *Krovak J.* Kaneova simulacni metoda (KSIM) – generator scenaru / *J. Krovak* // *Ekop.-mat. Obz.* – 1988. – № 2. – С. 183–200.
4. *Безопасность жизнедеятельности* / *М. А. Чижова, Ф. Г. Назмугдинова, Н. К. Нугаева, Б. М. Азизов.* – Казань: Казанский государственный технологический ун-т, 2001. – 132 с.
5. *Бондарь В. А.* Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений / *В. А. Бондарь, Ю. П. Попов* // *Безопасность труда в промышленности.* – 1997. – № 10. – С. 39–42.
6. *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.
7. *Хенли Э. Дж., Кумамото Х.* Надежность технических систем и оценка риска / Пер. с англ. *В. С. Сыромятникова, Г. С. Деминой* ; Под общ. ред. *В. С. Сыромятникова.* – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
8. *Аронов И. З.* Современные проблемы безопасности технических систем и анализа риска / *И. З. Аронов* // *Стандарты и качество.* – 1998. – № 3. – С. 45–51.
9. *Александров А. Б.* Использование метода дерева отказов для анализа несчастных случаев / *А. Б. Александров, В. Ф. Мартынюк, С. Л. Фомин, Е. Е. Фомина* // *Безопасность жизнедеятельности.* – 2002. – № 9. – С. 6–11.
10. *Лысюк С. Д.* Расчёт вероятности отравления хлоргазом с использованием кода IRRAS / *С. Д. Лысюк* // *Проблеми охорони праці в Україні.* – К.: ННДЮП, 2005. – Вип. 9. – С. 46–55.
11. *Левашов С.* Технология аналитического расследования причин несчастных случаев и инцидентов / *С. Левашов* // *Охорона праці. На допомогу спеціалісту з охорони праці.* – К., 2013. – № 3. – С. 50–52.
12. *Гнатюк О. А.* Методика застосування неперервних ланцюгів Маркова для оцінки професійного ризику операторів мобільних машинно-тракторних агрегатів (МТА) на виробничих процесах в АПК України / *О. А. Гнатюк* // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка.* – Х., 2008. – Вип. 75, т. 2. – С. 347–351.
13. *Вентцель Е. С.* Задачи и упражнения по теории вероятностей: Учебн. пособие для студентов ВТУЗов / *Е. С. Вентцель.* – М.: Академия, 2003. – 440 с.

14. Дынкин Е. Б. Марковские процессы / Е. Б. Дынкин. – М.: Физматгиз, 1963. – 859 с.
15. Бойчук А. А. Обобщенно-обратные операторы и нетеровы краевые задачи / А. А. Бойчук, В. Ф. Журавлев, А. М. Самойленко. – К.: Наукова думка, 1994. – 315 с.

Аннотация. В статье продемонстрировано применение методологии исследования непрерывных цепей Маркова для прогнозирования поведения системы «механизатор-машинно-тракторный агрегат-окружающая среда» и оценки риска травмирования трактористов-машинистов (механизаторов) АПК.

Ключевые слова: методы анализа производственного травматизма, непрерывные цепи Маркова, профессиональный риск трактористов-машинистов

Annotation. The paper demonstrated the use of continuous research methodology Markov chains to predict system behavior «mechanic-machine-tractor-unit-environment» and the risk of injury assessment tractor-drivers (machanizators) AIC.

Key words: methods for analyzing injuries, continuous Markov chains, professional tractor-risk drivers

УДК 631.31

PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF TRIBOSYSTEM “WORKING TOOL – LAND”

Borak Konstantin
Zhytomyr Agrarian and Technical College

Annotation. The work presents the results of physical and mathematical modeling of tribology system "working toll – land". We dealt with the processes that occur in dynamic state in tribology system and tasks for further researches.

Key words: tribosystem, physical and mathematical model, working tools, land

Introduction. As a result of abrasive wear loss of the national product in developed countries ranges from 1 to 4% [1]. In agriculture complex working bodies of tillage machines are mostly exposed to wear. Ensuring reliability of these machines by improving the wear resistance is one of the major challenges of modern engineering.

© Borak Konstantin, 2016