

ОЦІНЕННЯ РИЗИКУ ТРАВМУВАННЯ ТРАКТОРИСТІВ- МАШИНІСТІВ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

О.А. Гнатюк, інженер

Міністерство аграрної політики та продовольства України

О.О. Покутний, кандидат фізико-математичних наук

ДУ «Інститут математики» НАН України

Т.О. Білько, кандидат біологічних наук

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

У статті продемонстровано застосування неперервних ланцюгів Маркова для оцінювання ризику травмування трактористів-машиністів внаслідок падіння піднятого причепа трактора під час технічного обслуговування та ремонтування машинно-тракторних агрегатів з несправною гідросистемою трактора.

Ризик, нещасні випадки, тракторист-машиніст.

Постановка проблеми. Не зважаючи на поступове зменшення кількості нещасних випадків серед механізаторів АПК, що спостерігається протягом останніх років, професія тракториста-машиніста продовжує залишатися однією з найбільш травмонебезпечних в аграрній галузі. Насамперед, це зумовлено тим, що їх робота пов'язана з експлуатацією мобільної сільськогосподарської техніки (тракторів, комбайнів, інших самохідних сільськогосподарських машин), що за своєю природою є джерелами підвищеної небезпеки. Вказані технічні засоби виробництва застосовуються в поєднанні з багатьма сільськогосподарськими агрегатами для виконання різноманітних агротехнологічних операцій – передпосівного та післязбирального обробітку ґрунту, посіву сільськогосподарських культур, догляду за ними, збирання врожаю тощо. Закономірно, що в процесі експлуатації зазначених технічних засобів виробництва виникає необхідність у проведенні їх періодичного технічного обслуговування чи навіть ремонту під час яких можуть траплятися численні нещасні випадки з обслуговуючим персоналом. Зокрема, проведення технічного обслуговування чи ремонту машинно-тракторного агрегату (далі – МТА) за несправної гідросистеми трактора може

призвести до настання багатьох небезпечних ситуацій, наслідками яких можуть бути травми різного ступеню тяжкості серед трактористів-машиністів.

Це підтверджується даними Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки України про виробничий травматизм з летальними наслідками. Так, протягом 2004-2013 років в АПК України було смертельно травмовано падаючими тракторними причепами 10 механізаторів саме під час проведення технічного обслуговування чи ремонтування МТА.

Для розроблення та впровадження дієвих заходів щодо запобігання травмуванню трактористів-машиністів необхідно ґрунтовно вивчити процеси зародження, формування і настання травмонебезпечних ситуацій, провести їх якісний і кількісний аналізи та встановити показники професійного ризику механізаторів під час проведення технічного обслуговування та ремонтування МТА. Існуючі дослідження щодо визначення ризику травмування трактористів-машиністів під час виконання ними різноманітних механізованих робіт в АПК, у тому числі й проведення технічного обслуговування та ремонтування МТА не дають змоги здійснити глибокий аналіз перебігу травмонебезпечних ситуацій, що негативно впливає на розроблення і впровадження відповідних профілактичних заходів. Тому подальші дослідження щодо пошуку найбільш прийнятних методів кількісного визначення професійного ризику механізаторів АПК є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні питання якісного аналізу та кількісного визначення професійного ризику, пошуку шляхів зниження його рівня до прийнятних меж привертає увагу як науковців, так і спеціалістів служб охорони праці підприємств та організацій. Наукові публікації багатьох вчених у сфері охорони праці вказують на існування різних підходів і способів щодо дослідження проблеми виробничого травматизму взагалі та професійного ризику зокрема. Так, частина фахівців зосереджують свою увагу лише на аналізі небезпечних виробничих чинників та причин отримання виробничих травм, не проводячи якісного та кількісного аналізу самих процесів перебігу травмонебезпечних ситуацій та їх наслідків [1–5].

Водночас, інші науковці для дослідження явища виробничого травматизму стали активніше застосовувати методи логічного та математичного моделювання [6–9]. Ці методи дозволяють кількісно встановлювати ступінь ризику травмування під час виконання тих чи інших робіт, що дає змогу оперативно розробляти та впроваджувати ефективні профілактичні заходи.

Серед зазначених методів слід виокремити метод «дерева відмов» як одного з ймовірнісних методів аналізу, за допомогою якого визначаються кількісні та якісні характеристики виробничих травм та аварій [8, 9]. Цей метод є достатньо ефективним і зручним для оцінювання професійного ризику, проте не повністю дозволяє дослідити сам процес перебігу травмонебезпечної ситуації. Зокрема, метод не дає змогу визначати показники ймовірностей переходів системи «людина-машина-виробниче середовище» з одного стану в інший, повернення системи в попередній стан, а також прогнозувати значення ймовірностей станів системи у середньо- та довгостроковій перспективі. Це дозволяють зробити методи, що лежать в площині теорії диференціальних рівнянь. Водночас, зазначені методи не дозволяють визначати ступінь впливу кожної первинної (базової) події-причини на головну подію-наслідок.

Таким чином, лише шляхом поєднання методу «дерева відмов» з методами теорії диференціальних рівнянь можна найточніше та найглибше дослідити процеси зародження, формування і настання травмонебезпечних ситуацій.

Постановка наукової задачі. Застосування існуючих методів дослідження явища виробничого травматизму, кількісного впливу його причин на процеси зародження, формування та настання травмонебезпечних ситуацій не дає змогу досконало вивчити їх розвиток та перебіг у динаміці, що значно знижує точність і достовірність отримуваних результатів, а відтак і пошук адекватних шляхів вирішення проблеми безпеки праці трактористів-машиністів.

Для усунення зазначених недоліків у даній роботі було застосовано методику, в основу якої покладено математичний апарат марківського випадкового процесу з дискретними станами та неперервним часом. Це дало змогу ґрунтовніше проаналізувати в динаміці процес перебігу травмонебезпечної ситуації з її можливими наслідками.

Метою досліджень є ймовірнісний аналіз системи «механізатор-МТА-виробниче середовище» та якісна і кількісна характеристика процесу перебігу травмонебезпечної ситуації під час експлуатації механізаторами різноманітної сільськогосподарської техніки.

Результати досліджень. Детальне та глибоке вивчення причин нещасних випадків, що сталися з механізаторами під час експлуатації ними тракторів, комбайнів та інших самохідних сільськогосподарських машин вказує на певні закономірності процесів їх зародження і настання. З іншого боку, виходячи із системного підходу щодо дослідження явища виробничого травматизму, розглядаємо МТА будь-якої конфігурації та

механізатора, а в окремих випадках і чинники виробничого середовища, як елементи цілісної системи, що перебувають у постійній взаємодії один з одним, за якої зміна стану будь-якого з елементів системи тягне за собою зміну первісного стану всієї системи [10].

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

При розгляді випадкових процесів з дискретними станами і неперервним часом зручно уявляти переходи системи S з одного стану в інший як такі, що відбуваються під впливом певних потоків випадкових подій. При цьому 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) [11-14].

Для прикладу ймовірнісного аналізу системи «механізатор-МТА-виробниче середовище» було обрано одну з найтипівіших небажаних подій, що трапляються з трактористами-машиністами під час експлуатації різноманітних МТА та самохідних сільськогосподарських машин, а саме – травмування механізатора падаючим тракторним причепом під час проведення технічного обслуговування чи ремонтування МТА.

Граф станів процесу перебігу зазначеної небажаної події представлено на рис. 1.

З рис. 1 видно, що з моменту введення МТА в експлуатацію система працює в 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 (в даному випадку – працювати з несправною гідросистемою). 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 повернутись через певний час назад у стан S_0 (приведення гідросистеми трактора у справний стан). Водночас, через певні помилки механізатора, під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{12} , система може перейти в стан S_2 , який характеризується потрапленням механізатора в небезпечну

ситуацію, а саме – потрапляння в небезпечну зону можливого падіння тракторного причепа під час проведення технічного обслуговування чи ремонтування МТА за несправної гідросистеми трактора.

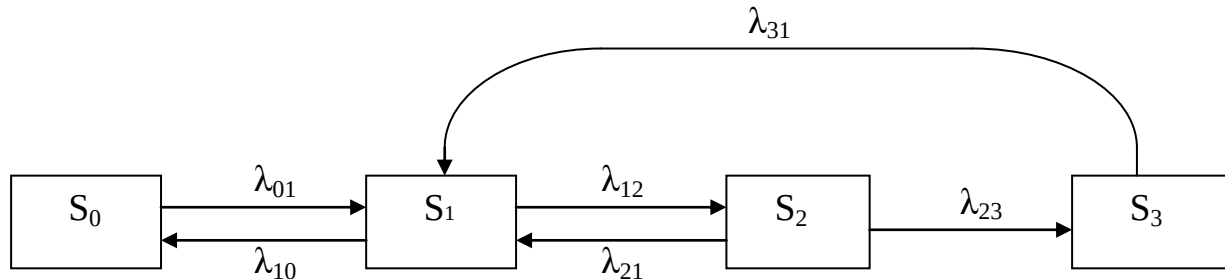


Рис. 1. Граф станів процесу перебігу небажаної події «травмування механізатора падаючим тракторним причепом під час проведення технічного обслуговування чи ремонтування МТА»: S_0 – система працює в справному стані; S_1 – система працює в несправному стані (гідросистема трактора вийшла з ладу); S_2 – потрапляння механізатора в небезпечну ситуацію (потрапляння механізатора в небезпечну зону можливого падіння тракторного причепа під час проведення технічного обслуговування чи ремонтування МТА); S_3 – перехід небезпечної ситуації в критичну ситуацію (травмування механізатора падаючим причепом).

Далі існують декілька варіантів розвитку небажаної події:

а) 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 первісний стан S_0 ;

б) під дією потоків подій з інтенсивністю λ_{23} система переходить у стан S_3 , який характеризується переходом небезпечної ситуації в критичну (травмування механізатора падаючим причепом) 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 первісний 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, 14]:

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

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 застосовувати 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 здійснюється наступним чином:

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

Нехай вектор-функція 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 $Q = \frac{1}{p} \Lambda$,

$\vec{g} = \frac{1}{p} (P_0(0), P_1(0), P_2(0), P_3(0))$, 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 $P_{N((I-Q)^T)} \vec{g} = \vec{0}$. При виконанні 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 розрахунку коефіцієнтів інтенсивностей переходів зазначеної системи використовувалися усереднені дані: Держстату України – щодо кількості тракторних причепів, які перебувають на обліку сільськогосподарських підприємств, Держгірпромнагляду України – щодо випадків травмування механізаторів падаючими тракторними причепами під час проведення технічного

обслуговування чи ремонтування МТА, а також експертні оцінки фахівців та безпосередніх виконавців робіт щодо наробітку на відказ гідросистеми трактора та ймовірностей окремих станів процесу перебігу травмонебезпечної ситуації.

В результаті аналізу відповідних співвідношень, що характеризують кожний стан досліджуваної системи, було отримано такі коефіцієнти інтенсивностей:

- середньостатистична кількість тракторних причепів, які перебувають на обліку сільськогосподарських підприємств – 72940 одиниць;

- кількість тракторів зі справною гідросистемою – 69923 одиниці ($\lambda_{00} = 0,96$);

- кількість тракторів з несправною гідросистемою – 3017 одиниць ($\lambda_{01} = 0,04$);

- кількість тракторів, на яких гідросистему приведено у справний стан – 2112 одиниць ($\lambda_{10} = 0,7$);

- кількість тракторів з несправною гідросистемою, що продовжують експлуатуватися – 905 одиниць ($\lambda_{11} = 0,3$);

- кількість тракторів з несправною гідросистемою, експлуатація яких призвела до настання небезпечних ситуацій – 724 одиниць ($\lambda_{12} = 0,8$);

- кількість небезпечних ситуацій, що перейшли у критичні – 29 випадків ($\lambda_{23} = 0,04$);

- перехід з небезпечних ситуацій у несправний стан – 695 випадків ($\lambda_{21} = 0,96$);

- перехід з критичних ситуацій у несправний стан – 29 випадків ($\lambda_{31} = 1,0$).

Таким чином, виходячи із загальної кількості тракторних причепів – 72940 одиниць, з яких 3017 одиниць експлуатувалися з несправною гідросистемою трактора, інтенсивність переходу системи із стану S_0 у стан S_1 становитиме $\lambda_{01} = 3017/72940 = 0,04$.

Оскільки, з 3017 тракторів з несправною гідросистемою 2112 одиниць було відремонтовано (повернено) у справний стан, то інтенсивність переходу системи із стану S_1 у стан S_0 становитиме $\lambda_{10} = 2112/3017 = 0,7$.

З 905 тракторів, що продовжили експлуатувати з несправною гідросистемою, 724 одиниці призвели до настання травмонебезпечних ситуацій. Таким чином, інтенсивність переходу системи із стану S_1 у стан S_2 становитиме $\lambda_{12} = 724/905 = 0,8$.

Далі, із цих 724 тракторів з несправною гідросистемою, експлуатація яких призвела до настання травмонебезпечних ситуацій, 695 повернулися у несправний стан без будь-яких наслідків стосовно ушкодження здоров'я механізаторів.

Інтенсивність переходу системи із стану S_2 у стан S_1 у такому випадку становитиме отже $\lambda_{21} = 695/724 = 0,96$.

З 724 тракторів з несправною гідросистемою, експлуатація яких призвела до настання травмонебезпечних ситуацій, у 29 одиниць травмонебезпечні ситуації перейшли у критичні, які характеризувалися травмуванням механізаторів. Інтенсивність переходу системи із стану S_2 у стан S_3 становитиме $\lambda_{23} = 29/724 = 0,04$. Усі 29 тракторів з несправною гідросистемою, експлуатація яких призвела до настання критичних ситуацій і травмування механізаторів, повернулися після цього назад у несправний стан. Таким чином, інтенсивність переходу системи із стану S_3 у стан S_1 становитиме $\lambda_{31} = 29/29 = 1,0$.

Матриця переходів станів системи матиме такий вигляд:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} -0,04 & 0,7 & 0 & 0 \\ 0,04 & -1,5 & 0,96 & 1 \\ 0 & 0,8 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0,04 & -1 \end{pmatrix}$$

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

$$\begin{cases} P_0(t) = -0,264c_1(0,116)^t - 0,026c_2(0,353)^t - 0,824c_3(0,703)^t + 0,996c_4, \\ P_1(t) = 0,793c_1(0,116)^t + 0,036c_2(0,353)^t + 0,356c_3(0,703)^t + 0,071c_4, \\ P_2(t) = -0,549c_1(0,116)^t - 0,712c_2(0,353)^t + 0,44c_3(0,703)^t + 0,057c_4, \\ P_3(t) = 0,02c_1(0,116)^t + 0,702c_2(0,353)^t + 0,028c_3(0,703)^t + 0,002c_4, \end{cases}$$

Додамо всі ймовірності, їх сума повинна бути одиницею. Після додавання отримаємо наступне рівняння для константи c_4 :

$$0,996c_4 + 0,071c_4 + 0,057c_4 + 0,002c_4 = 1,126c_4 = 1.$$

Остаточного знаходимо $c_4 = 0,888$. Інші константи можуть бути довільними, але так, щоб сума ймовірностей була невід'ємною. Наприклад, якщо перші три константи покласти нульовими, то функції станів будуть мати наступний вигляд:

$$P_0(t) = 0,884; P_1(t) = 0,063; P_2(t) = 0,051; P_3(t) = 0,002.$$

Насправді для всіх інших випадків (за будь-якого вибору констант) при збільшенні моментів часу ймовірності будуть прямувати до вказаного розподілу, що свідчить про стаціонарний режим функціонування системи.

Таким чином, ймовірність перебування системи в стані S_0 становить 0,884, в стані S_1 – 0,063, в стані S_2 – 0,051, в стані S_3 – 0,002. Це означає, що 88,4 % тракторів експлуатуватимуться у справному стані; 11,6 % перейдуть у несправний стан, з яких 6,3 % залишаться працювати у ньому не створюючи, при цьому,

травмонебезпечних ситуацій; експлуатація 5,1 % призведе до настання травмонебезпечних ситуацій без ушкодження здоров'я механізатора; експлуатація 0,2 % призведе до настання травмонебезпечних ситуацій з наступним переходом їх у критичні (травмування механізатора падаючим причепом трактора).

Як видно з наведеного оціночного прикладу, отримані результати можна використовувати для середньо- та довгострокового прогнозування ймовірностей станів системи «людина-машина-виробниче середовище» у категоріях професійного ризику механізаторів АПК.

Висновки

1. Застосування неперервних ланцюгів Маркова як одного з методів ймовірнісного аналізу випадкових подій дає змогу кількісно оцінювати ризик травмування трактористів-машиністів під час експлуатації мобільних МТА і дозволяє знаходити шукані ймовірності станів системи у динаміці на всіх етапах процесу перебігу небажаної події.

2. Збільшення моментів часу практично не впливає на початковий розподіл ймовірностей станів системи, що свідчить про стаціонарний режим її функціонування. Це означає, що прогнозні показники ймовірностей станів системи в середньо- та довгостроковій перспективі залишаться майже незмінними за умови незмінності теперішніх умов функціонування системи.

3. Таким чином, для зниження рівня професійного ризику трактористів-машиністів необхідно зменшити інтенсивність переходу стану системи у несправний стан з подальшим її переходом у травмонебезпечну та критичну ситуації шляхом вжиття відповідних профілактичних заходів щодо недопущення роботи МТА з несправною гідросистемою.

Список літератури

1. *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.
2. *Загородних А.* Факторы, определяющие производственный травматизм на транспортных средствах в сельском хозяйстве / *А. Загородних, С. Копылов* // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – М., 2011. – № 2. – С. 57–62.
3. *Копылов С.А.* Анализ факторов, определяющих производственный травматизм на транспортных средствах / *С.А. Копылов, А.Н. Загородних* // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – М., 2009. – № 9. – С. 43–50.
4. *Войналович О.В.* Аналіз причин травмування працівників АПК на механізованих та транспортних роботах / *О.В. Войналович, І.М. Подобед, М.М. Мотрич, О.А. Сліпачук* // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ДУ

«ННДІПБОП», 2012. – Вип. 24. – С. 38–49.

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. – М., 2009. – № 4. – С. 23–28.

6. *Диллон Б.* Инженерные методы обеспечения надежности систем / *Диллон Б., Сингх Ч.* – М.: Мир, 1984. – 318 с.

7. *Елисейкин В.А.* Применение вероятностных моделей механизированных процессов для идентификации методов и технических средств охраны труда / *В.А. Елисейкин* // Пути повышения безопасности в агропромышленном производстве. – СПб, 1993. – С. 92–108.

8. *Імовірнісний аналіз безпеки атомних станцій (ІАБ) : навч. посібник* / [В.В. Бегун, О.В. Горбунов, І.М. Кащенко та ін.]. – К., 2000. – 568 с.

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. – М., 2002. – № 9. – С. 6–11.

10. *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. – Харків, 2008. – Т. 2. – Вип. 75. – С. 347–351.

11. *Карлин С.* Основы теории случайных процессов / *С. Карлин*. – М.: Мир, 1971. – 536 с.

12. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем / *Н.П. Бусленко*. – М.: Наука, 1978 – 355 с.

13. *Вентцель Е.С.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / *Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров*. – М.: Наука, 1991. – 383 с.

14. *Вентцель Е.С.* Исследование операций / *Е.С. Вентцель*. – М.: Сов. радио, 1972. – 551 с.

15. *Бойчук А.А.* Обобщенно-обратные операторы и нетеровы краевые задачи / *Бойчук А.А., Журавлев В.Ф., Самойленко А.М.* – К.: Наукова думка, 1994. – 315 с.

В статье продемонстрировано применение непрерывных цепей Маркова для оценки риска травмирования трактористов-машинистов вследствие падения поднятого прицепа трактора во время технического обслуживания и ремонта машинно-тракторных агрегатов с неисправной гидросистемой трактора.

Риск, несчастные случаи, тракторист-машинист.

In paper demonstrates the application of continuous Markov chains to evaluate the risk of injury to tractor drivers from falling tractor trailer raised during maintenance and repair of tractor units with faulty hydraulic system of tractor.

Risk, accidents, tractor-driver.