УДК 621.81

СТІЙКІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МЕЗ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

С. М. Виговський, І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 9, рис. 3, табл. 2.

Анотація. З метою виявлення причин перекидання, усю інформацію по травматизму з летальним кінцем по цій ситуації ми розподілили на чотири групи. В якості кваліфікаційної ознаки групи використали вид агрегування, при якому сталося перекидання агрегату (трактори без навісних і причіпних знарядь або машин, трактори з навісними знаряддями, трактори з причіпними знаряддями і трактори з причепами).

Вибір і обґрунтування одного узагальненого показника для характеристики безпеки руху тракторів і інших самохідних сільгоспмашин нині не представляється можливим. Проте, шляхом порівняння оптимальних умов експлуатації (кутів, висоти нерівностей мікрорельєфу і швидкостей) можна знайти критичний кут нахилу місцевості, найбільшу допустиму висоту мікрорельєфу і найбільшу допустиму безпечну швидкість руху агрегату.

Ключові слова: моделювання, небезпека, виробництво, процес, зерносклад.

Постановка проблеми

У сільськогосподарському виробництві країни більше 50% об'єму перевезень здійснюється колісними тракторами з причепами [1, 2]. В той же час, експлуатація цього виду транспорту відбувається в господарствах в далеко не ідеальних умовах [3, 4].

Аналіз останніх досліджень

До їх числа відноситься незадовільний стан внутрішньогосподарських доріг [5], недотримання водіями затвердженого маршруту і режиму руху [6], низька кваліфікація трактористів і незадовільна організація технічного обслуговування тракторів перед виходом з машинного двору [7]. Цей комплекс невідповідностей або відхилень сприяє виникненню високого рівня дорожньо-транспортних подій з колісними тракторами і комбайнами [8]. Найбільш поширеною ситуацією серед цих подій є бічне перекидання машин, яке, як правило, закінчується для

трактористів і комбайнерів травмою з важким або смертельним результатом [9-14].

Мета досліджень

Мета досліджень обґрунтувати підвищення динамічної стійкості сільськогосподарських транспортних засобів за параметрами охорони праці.

Результати досліджень

З метою виявлення причин перекидання, усю інформацію по травматизму з летальним кінцем по цій ситуації ми розподілили на чотири групи. В якості кваліфікаційної ознаки групи використали вид агрегування, при якому сталося перекидання агрегату (трактори без навісних і причіпних знарядь або машин, трактори з навісними знаряддями, трактори з причіпними знаряддями і трактори з причепами). Враховуючи, що кількість перекидань колісних тракторів з причепами складає 45,4% від усіх перекидань, ми виділили їх в самостійну групу (табл. 1).

Аналіз даних табл. 1 показує, що найбільше число перекидань відбувається при використанні колісних тракторів на транспортних роботах (трактор + причіп). Це свідчить про негативний вплив причепа на динамічні характеристики трактора, особливо за відсутності на тракторі і причепі справних гальм.

Зробимо класифікацію колісних тракторів, які перекинулися, за загальними причинами. Всього було виділено 8 класів.

1-й клас. Не були підключені або були відсутні гальма на причепі або причіпному знарядді.

2-й клас. Не дотримані затверджені маршрути руху або правила перевезення великогабаритних вантажів.

3-й клас. Допущені до експлуатації машини з несправними рульовим керуванням, гальмівною системою і за відсутності страхувального троса.

4-й клас. Керування машиною в нетверезому стані.

5-й клас. Незадовільний стан дороги: ожеледь, нальоти бруду на дорогах з твердим покриттям, аварійний стан мостів і переправ.

6-й клас. Інші причини, не залежні від тракториста і технічного стану машини: засліплення тракториста світлом фар зустрічного транспорту; зіткнення із зустрічним транспортом, що вийшов з полоси руху; перекидання буксированого трактора по слизькій дорозі; недостатня оглядовість з робочого місця.

7-й клас. Стоплення тракториста, пов'язане з порушенням тривалості роботи агрегату; відсутність пристроїв для прикурювання при керуванні трактором, хворобливий стан тракториста.

8-й клас. Низька кваліфікація тракториста, що виражається в неправильному виборі режимів руху трактора при маневрах (обгоні), при русі на спусках і підйомах.

У табл. 2 представлена питома вага кожного з восьми класів причин перекидання.

Таблиця 1. Розподіл перекидань колісних тракторів по виду агрегування, %.

Table 1. The shifting distribution of wheel tractors according to the type of aggregation, %.

Марка трактора	Вид агрегування			
	з причепом	з причіпним знаряддям	з навісним знаряддям	без причіпних і навісних знарядь
T-150K	62,5	25,0	0	12,5
ЮМЗ-6АКМ	61,5	23,1	15,7	0
МТЗ-80(82)	65,0	12,5	5,0	15,5
T-150	50,0	21,4	0	23,6
K-700A	51,1	2,2	11,1	35,6
МТЗ-100	65,1	5,6	14,2	15,1
ХТЗ-121	0	24,2	32,3	43,5
T-25A	0	38,5	38,5	23,0

Таблиця 2. Питома вага класу причин перекидання по марках тракторів %.

Table 2. The proportion of the class the reasons for the transfer of the brands of tractors %.

Марка трактора	Клас причин							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
T-150K	15,4	7,7	7,7	15,3	15,3	15,3	7,7	15,3
ЮМЗ-6АКМ	37,5	5,0	5,0	17,5	10,0	7,5	2,5	15,0
МТЗ-80(82)	18,8	6,3	25,0	12,5	6,3	12,5	18,5	0
T-150	7,1	7,1	7,1	14,4	28,6	7,1	0	28,6
K-700A	13,3	8,9	6,7	26,7	11,1	4,4	13,3	15,6
МТЗ-100	19,8	18,0	16,0	13,2	13,2	9,4	6,5	4,7
ХТЗ-121	1,6	6,5	29,0	8,1	12,9	19,4	6,5	16,1
T-25A	3,8	3,8	7,7	3,8	19,2	23,0	7,7	30,8

Дані, представлені в табл. 2, дозволяють виявити домінуючий клас причин перекидання по окремих марках машин. Так, наприклад, трактори МТЗ-80(82) в 37,5 і 19,8% випадків відповідно перевертаються із-за невідключення до причепа гальм, що агрегується, а трактори Т-150К – через непристосованості до роботи в незадовільних дорожніх умовах (VI клас причин). Найбільший відсоток перекидань (26,7%) енергонасичених тракторів марки К-700А відбувається внаслідок нетверезого стану водіїв. Трактори марки ХТЗ-121 в 29% випадків перевертаються через незадовільний технічний стан системи рульового керування, а трактори Т-25А – внаслідок низької кваліфікації трактористів.

Статистика показує, що колісні трактори і комбайни різних класів значно відрізняються по коефіцієнту травматизму по ситуації перекидання, хоча відмінність у величині кута статичної стійкості у них незначна. Причому трактори і комбайни з більшою масою і габаритами, наприклад, К-700А, Т-150 або СК-6А, перевертаються частіше. На підставі цього ми робимо припущення про те, що окрім організаційних причин, що обумовлюють перекидання машин, одночасно є присутніми і діють зовні приховані

технічні причини, незалежні від обслуговуючого персоналу. З метою виявлення характеру дії цих причин і розробки пропозицій по зниженню їх впливу нами розроблена логічна модель перекидання.

При розробці такої моделі прийнято, що перекидання колісних тракторів і комбайнів на греблях, узгір'ях і поворотах відбувається переважно внаслідок втрати стійкості курсового руху і виходу машини за межі допустимого коридору руху. При цьому вважається, що стійкість курсового руху є функція деяких параметрів дороги і машини. Зокрема, ширина проїжджої частини дороги H , колії машини B , висоти центру мас машини h_c величини рискання, пов'язаної з величиною люфта рульового колеса.

Нехай ці параметри пов'язані між собою деякою залежністю, що обумовлює курсову стійкість машини на дорозі:

$$X = \frac{(H - B) \cdot B}{10 \cdot h_c \cdot \varphi}. \quad (1)$$

Тоді, задаючись значенням ширини коридору руху H і підставляючи відповідні значення параметрів

B , h_c і φ машини, обчислюємо величину параметра X . Відкладаючи на вертикальній осі статистичні значення коефіцієнтів травматизму ($K_4^{лет}$) з летальним кінцем по ситуації «перекидання», скоректовані з урахуванням однакового річного напруження тракторів, а по горизонтальній осі – значень параметра X набуваємо розподіл коефіцієнта травматизму від деякого комплексного якісного показника дороги і машини.

Проведемо апроксимацію отриманої кривої (рис. 1) методом квадратних форм. Тепер ця залежність набере вигляду:

$$K_4^{років} = \frac{4,43}{0,43 + \frac{(H-B) \cdot B}{10 \cdot h_c \cdot \varphi}} \quad (2)$$

Рис. 1. Залежність приведенного коефіцієнта травматизму з летальним кінцем при перекиданні сільгоспмашин і тракторів від характеристик B , H , φ , h_c .

Fig. 1. Given the dependence of the coefficient of fatal injuries in the rollover of agricultural machines and tractors characteristics B , H , φ , h_c .

Аналіз залежності (2) показує, що підвищення безпеки руху машин може йти у напрямі збільшення ширини коридору руху $\Delta H = (H - B)$ посилення величини люфта системи рульового управління,

пов'язаного з люфтом рульового колеса φ_1 і зниження висоти центру мас h_c машини.

Не виключено, що у міру поглиблення досліджень на пізнішому етапі з'явиться можливість уточнення залежності (2), що дозволить сформулювати науково обґрунтовані вимоги до технічних характеристик машин і доріг.

Вибір і обґрунтування одного узагальненого показника для характеристики безпеки руху тракторів, МТА і інших самохідних сільгоспмашин нині не представляється можливим. Проте, шляхом порівняння оптимальних умов експлуатації (кутів, висоти нерівностей мікрорельєфу і швидкостей) можна знайти критичний кут нахилу місцевості, найбільшу допустиму висоту мікрорельєфу і найбільшу допустиму безпечну швидкість руху агрегату.

Цим способом можна отримати критичні величини, цілком достатні для визначення діапазону безпечної експлуатації тракторного агрегату або самого трактора. У конкретних умовах експлуатації на основі цих показників можна встановити міру безпеки і вжити заходи по попередженню перекидання трактора.

Так, автори робіт [1, 2] пропонують характеризувати безпеку руху колісних тракторів шляхом оцінки їх стійкості по керованості і визначення числа відривів керованих коліс:

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D_\varepsilon}{D_\varepsilon}} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_{дон}^2}{2D_\varepsilon}} \quad (3)$$

де D_ε – дисперсія швидкості деформації шин, $\text{см}^2/\text{с}^2$;

D_ε – дисперсія деформації шпильки, см^2 ;

$\varepsilon_{дон}$ – деформація шини відносно середнього значення, см .

Допустимим значенням за першим критерієм рекомендується $v = 1$ відриву/с.

Стійкість до перекидання колісних машин при русі по дорозі з поперечним ухилом нами запропоновано характеризувати величиною гранично-допустимої швидкості V_{np} , яка визначається з умов руху машини без бічного перекидання:

$$[V_{np}]^2 \leq \frac{\tau [\beta - \alpha \sqrt{B^2 - \gamma^2}] - 0,5\gamma}{\rho^2 + \beta^2} \frac{\text{км}^2}{\text{год}^2}, \quad (4)$$

де

$$\tau = 3,6^2 \cdot 2g \cdot B^2 \cdot \frac{1}{D_{ij'} A_{2^2}};$$

$$\beta = \sqrt{\frac{B^2}{4} + h_c^2};$$

$$\alpha = \frac{h_c}{B}; \quad \gamma = B \sin \psi - A_1 \sigma_y;$$

$$\rho^2 = \frac{1}{12}(a^2 + B^2) - \text{квадрат радіусу інерції машин}$$

відносно подовжньої осі, що проходить через центр мас, м^2 ;

a – висота машини, м ;

ψ – поперечний кут нахилу дороги, град;

$A_1 = A_2 = 4$ – коефіцієнти, що визначають вірогідність неперекидання;

$D'_{ij}; \sigma_y$ – коефіцієнти, що характеризують дорожнє покриття.

Оцінка машин на динамічну стійкість повинна проводитися по більшому значенню числа відривів коліс або по гранично допустимій швидкості руху.

Математичні викладення і обробка даних за визначенням числа відривів коліс трактора від поверхні дороги і гранично допустимій швидкості руху викладені в роботах [1, 2].

Порівняльну оцінку динамічної стійкості машин слід проводити шляхом зіставлення розрахункових величин гранично допустимих швидкостей руху (з умови неперекидання) із заданими характеристиками рельєфу.

Рис. 2. Графічні залежності боково-допустимих швидкостей руху машин V_{np} від величини кута їх статичної остійності α і ширини колії машини B .

Fig. 2. Graphic curves laterally permissible speeds of the machines V_{np} from the angle of their static stability α and the track width of the machine B .

Рис. 3. Графічні залежності гранично допустимих швидкостей руху машин V_{np} від ширини колії машини B і висоти центру мас машини h_c .

Fig. 3. Graphic curves laterally permissible speeds of the machines V_{np} from track width of the machine B and the height of the center of mass of the machine h_c .

На рис. 2 представлені у вигляді графіків розраховані по формулі (4) значення гранично допустимих, безпечних з умови неперекидання швидкостей руху самохідного тракторного шасі Т-16МГ [V_{np}] при варіюванні поперечної ширини колін машини в діапазоні $B=1, 2...2,0$ м і кута статичної стійкості від $\alpha_{ст} = 26...50^\circ$.

В якості розрахункового рельєфу взятий трек з Британського стандарту 4220, математичне очікування кута нахилу рельєфу $\psi = 5...10$ з кроком 1. Кут $\psi = 8$ вибраний в якості оптимального, тому що при $\psi < 5$ нерівностей рельєфу не роблять істотного впливу на динамічну стійкість машини.

Розрахунки показали, що лінійного зв'язку між статичним кутом і динамічною стійкістю не існує і що ця залежність не лінійна і є функцією двох змінних $V_{np} = f(\alpha, B)$.

Дослідження графічних залежностей V_{np} (рис. 3)

як функції B і h_c показує, що V_{np} змінюється у більшому діапазоні при збільшенні ширини колії машини B (при постійній величині h_c), чим при зниженні висоти центру мас h_c на таку ж величину (при незмінній ширині колії машини B).

Отже, для підвищення динамічної стійкості спочатку слід максимально збільшити ширину колії, що у багатьох випадках для самохідних машин виконати конструктивно простіше, ніж понизити центр мас.

Висновки

1. Серед машин, що агрегуються з колісними тракторами, найбільшу негативну дію на його стійкість чинять причеми. На цей вид агрегування доводиться 50-65% від усіх перекидань тракторів.

2. Отримана емпірична залежність між статистичними показниками травматизму при перекиданні колісних тракторів і комбайнів і деякими технічними характеристиками машин і дороги. Залежність має нелінійний характер, а по графічному виду – параболу.

3. Показано, що підвищення динамічної стійкості тракторів доцільніше розпочинати зі збільшення ширини колії, а потім переходити на зниження центру мас.

Список літератури

1. Ivanovs S., Bulgakov V., Nadykto V., Kuvachov V. Theoretical investigation of turning ability of two-machine sowing aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 314-322.

2. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Nowak J. Theoretical investigation of steering ability of movement of asymmetric swath header and tractor aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 301-308.

3. Knapczyk A., Francik S., Pedryc N., Hebda T. Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 700-707.

4. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.

5. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Інженерні заходи забезпечення охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів. Суми, 2016. Вип. 10/3 (31). С. 168-173.

6. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Логічна модель процесу перебігу подій-небезпек в заходах охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК [Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK]. Київ. 2017. Вип. 275. С. 325-335.

7. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Вдосконалення навчання з охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 26-30 березня 2018 року. Київ. 2018. С. 180-183.

8. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Підвищення безпеки праці при забезпеченні стійкості руху МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Збірник тез доповідей XIV Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018» (19-22 травня 2018 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2018. С. 136-138.

9. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Імітаційне моделювання фізичних небезпек на виробничих процесах при експлуатації МЕЗ на зерноскладах. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 189-194.

References

1. Ivanovs S., Bulgakov V., Nadykto V., Kuvachov V. (2018). Theoretical investigation of turning ability of two-machine sowing aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural

development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 314-322.

2. *Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Nowak J.* (2018). Theoretical investigation of steering ability of movement of asymmetric swath header and tractor aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 301-308.

3. *Knapczyk A., Francik S., Pedryc N., Hebda T.* (2018). Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 700-707.

4. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*, vol. 19, 158-163.

5. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2016). Engineering measures to ensure safety in the operation of the IES at the granaries of agricultural enterprises. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes. The amount of*, Vol. 10/3 (31). 168-173.

6. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2017). Logical process model flow of events-dangers in the activities of occupational safety in the operation of the extraction plant on silos of agribusiness. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 275.* 325-335.

7. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2018). Improvement of education on labor protection during operation of the IES at the granaries of agricultural enterprises. Problems and prospects of development of technical and bioenergetic environmental management systems. XVIII International conference of scientific and pedagogical workers, scientific employees and postgraduates: abstracts. Kyiv, Ukraine, 26-30 March 2018. Kyiv. 180-183.

8. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2018). Improving workplace safety while ensuring the sustainability of the movement MEZ on the granaries of agricultural enterprises. The book of abstracts XIV International scientific conference "Rational use of energy in technology. TechEnergy 2018" (19-22 May 2018). National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Kyiv. 136-138.

9. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2019). Simulation of physical hazards in production processes when operating the extraction plant on silos. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 189-194.*

УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЭС ПО ПАРАМЕТРАМ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНА

С. М. Виговський, І. Л. Роговський

Аннотация. С целью выявления причин опрокидывания, всю информацию по травматизма с летальным исходом по этой ситуации мы распределили на четыре группы. В качестве квалификационной признаки группы использовали вид агрегатирования, при котором произошло опрокидывание агрегата (трактора без навесных и прицепных орудий или машин, тракторы с навесными орудиями, тракторы с прицепными орудиями и трактора с прицепами).

Выбор и обоснование одного обобщенного показателя для характеристики безопасности движения тракторов и других самоходных сельхозмашин в настоящее время не представляется возможным. Однако, путем сравнения оптимальных условий эксплуатации (углов, высоты неровностей микрорельефа и скоростей) можно найти критический угол наклона местности, наибольшую допустимую высоту микрорельефа и наибольшую допустимую безопасную скорость движения агрегата.

Ключевые слова: моделирование, опасность, производство, процесс, зерносклад.

SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL MEZ IN PARAMETERS OF LABOR PROTECTION ON PRODUCTION PROCESSES OF GRAIN STORAGE

S. M. Vygovskii, I. L. Rogovskii

Abstract. With the aim of identifying the reasons for overturning all the information on fatal injuries in the situation we were divided into four groups. As qualifying signs of the groups used a form of aggregation, which occurred on the rollover of the unit (tractor without mounted and trailed implements or machines, tractor with trailer, tractor with towed implements and tractors with trailers).

Selection and justification of a generalized indicator for characterizing the safe movement of tractors and other self-propelled agricultural machines is currently not possible. However, by comparing the optimal operating conditions (angles, height of the irregularities of the microrelief and velocities) can find the critical angle of inclination of the terrain, the highest permissible height of microrelief and maximum safe speed of movement of the unit.

Key words: modeling, risk, manufacture, process, granary.

С. М. Виговський ORCID 0000-0002-0357-3141.
І. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.