УДК 631.5

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРА ЗА ЗАКОНАМИ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСУ

Н. І. Болтянська, О. В. Болтянський

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua.

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

Бібл. 17, рис. 0, табл. 0.

Анотація. Сьогодні спостерігається старіння машинно-тракторного парку в тваринництві та особливо гостро стає проблема ефективного використання вітчизняної і зарубіжної техніки. Особливо велика увага приділяється проблемі підвищення якості та надійності розроблюваних вітчизняних машин і устаткування. Вимоги до техніки безперервно зростають як до якості, так і діапазону виконання сільськогосподарських робіт і операцій, підвищення надійності і продуктивності. Особливість функціонального призначення та експлуатації засобів механізації у тваринництві полягає у забезпеченні безперервності біотехнічного зв'язку: оператор — машина — тварина — навколишнє середовище. Це є можливим лише за умов постійного підтримання вказаних засобів у працездатному стані, за якого коефіцієнт готовності кожної одиниці повинен бути на рівні 0,95–0,98. У теорії надійності відомо декілька десятків розподілів, за допомогою яких можливо описувати експериментальні дані відмов. Розглядаючи різні моделі відмов виділено ряд розподілів: нормальний, логарифмічно нормальний, Вейбулла, гамма та експоненціальний, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів тваринницької техніки, замінені у разі відмови запасними. Перелічені розподіли охоплюють відповідно поступові, зносові, утомлені та раптові відмови механічних систем, складних систем, що пройшли період припрацювання, а також систем, які експлуатуються в тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень

Ключові слова: надійність, прес-гранулятор, запасні частини, параметри розподілу, час прогнозу, середній ресурс.

Постановка проблеми

В умовах численних інституційних перетворень, за яких відбулося значне погіршення стану матеріальної бази вітчизняних великотваринних сільськогосподарських товаровиробників, особисті селянські господарства стали основними виробниками продукції найбільш трудомістких і збиткових галузей сільського господарства, в першу чергу тваринництва. Трудомістке виробництво тваринницької продукції в особистих селянських господарствах дає можливість створити

сферу вторинної зайнятості для працездатних осіб сільської місцевості, а для деяких соціальних груп жителів села – основної зайнятості. Враховуючи стан розвитку інфраструктури села, особливо розвиток торговельної мережі та рівень забезпечення продуктами харчування тваринного походження, а також рівень грошових доходів сільських жителів особисте селянське господарство набуває форм натурального, а надлишки тваринницької продукції частково реалізуються, стаючи одним з основних джерел надходження грошових коштів. У нових умовах формування економічних відносин на селі та розвитку невеликих фермерських господарств першочергове значення має розробка та впровадження у виробництво енергоощадних малогабаритних засобів механізації, які мають високу експлуатаційну надійність [1-4].

Аналіз останніх досліджень

Найважчий в аграрних підприємствах парк техніки кількісно зменшився, морально застарів, фізично зношений. Економічний стан підприємств аграрного сектору такий, що найближчим часом докорінне оновлення їх матеріально-технічної бази є досить проблематичним, тому пріоритетною задачею технічної політики наразі є зупинка процесу катастрофічного зменшення кількісного складу наявного парку техніки та відновлення матеріально-технічної бази його сервісного забезпечення. Збереження кількісного складу парку може бути досягнуто за рахунок відновлювальних ремонтів з одночасною модернізацією основних видів сільськогосподарської техніки. Це дозволить на 30–40% зменшити вибуття техніки з експлуатації і використовувати її в аграрному секторі ще впродовж 5–6 років. Підтримувати сільськогосподарську техніку в робочому стані та ефективно її використовувати можна лише забезпечивши заданий рівень надійності та відповідно організувавши технічний сервіс [5-7].

Питанням забезпечення надійності тваринницької техніки, підтримання її в робочому стані та ефективного її використання приділяли увагу такі науковці: А.І. Бойко, А.В. Новицький, З.В. Ружилюк, С.В. Кропивко, В.С. Ловейкін, К.І. Почка та ін. Але на даний час

залишається невирішеними ще дуже багато питань [4, 7, 8].

Мета досліджень

Мета досліджень є визначити ряд розподілів, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів (елементів) прес-гранулятора, замінених у разі відмови запасними, які охоплюють поступові, зносові, утомлені та раптові відмови механічних систем, що пройшли період припрацювання, а також систем, які експлуатуються в тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень.

Результати досліджень

Існуючі засоби механізації, які суттєво підвищують продуктивність процесу створення повноцінних кормів та знижують його трудомісткість, мають велику масу, та значну питому енергоємність. Використання цих агрегатів на невеликих фермах призводить до необґрунтованої витрати енергії, що підвищує собівартість кормових матеріалів. Також це стосується ситуації з переробкою матеріалів органічного походження та відходів тваринницьких підприємств.

Прес-гранулятори широко використовуються аграріями як інструмент для підготовки кормів та переробки відходів сільського господарства. Основна сфера застосування – виробництво комбінованих гранульованих кормів. З використанням гранулятора аграрії отримують можливість ефективно використовувати виробничі відходи шляхом їх переробки на пресоване біодобриво та паливні гранули (пеллети) [9-11].

Особливість функціонального призначення та експлуатації засобів механізації у тваринництві полягає у забезпеченні безперервності біотехнічного зв'язку: оператор — машина — тварина — навколишнє середовище. Це є можливим лише за умов постійного підтримання вказаних засобів у працездатному стані, за якого коефіцієнт готовності кожної одиниці повинен бути на рівні 0,95–0,98. Високий рівень готовності є досяжним за умови своєчасного та належного виконання комплексу робіт із технічного обслуговування і ремонту цих засобів.

Шоста частина фактичних витрат запасних частин обумовлена виробничими причинами. Недостатньо високий рівень експлуатації та низька якість ремонту машин залишаються основними причинами підвищених витрат запасних частин. Встановлено, що недостатнє забезпечення окремих споживачів запасними частинами, викликане не стільки фактичними витратами, скільки проблемами в плануванні і їхньому розподіленні. Через відсутність прийнятих науково обґрунтованих методичних матеріалів, надто бідної й розрізненої інформації про фактичні ресурси та доцільну рівномірність розподілу ресурсів елементів тваринницької техніки в умовах рядової експлуатації номенклатура й норми витрат запасних частин на практиці встановлюються, як правило, на основі інженерної інтуїції працівників конструкторських організацій та досвіду фахівців ремонтних підприємств [12].

У зв'язку з цим накопичення інформації про ресурси машин, потоки замін елементів з урахуванням ремонтних впливів і розробка на цій основі прийнятих для практики методичних матеріалів по обґрунтуванню доцільної рівномірності деталей і складальних одиниць, а також організації номенклатури й норм витрат запасних частин – одне з найважливіших завдань, яке стоїть перед ученими, машинобудівниками й експлуатаційниками.

Основні принципи підвищення забезпечення запасними частинами базуються на удосконаленні нормування їхніх витрат, розподілу, підвищенні уніфікації та організації відновлюваного ремонту спрацьованих деталей і вузлів.

Однією з причин удосконаленості нормування витрат запасних частин є недостатнє обґрунтування головних принципів розрахунку норм на основі ресурсу деталей і їх фактичних витрат. Це зумовлено тим, що діапазон коливання величин інтенсивності відмов деталей ширше діапазону інтенсивності списання устаткування [12].

Використання ресурсу як головного показника при розрахунку норм витрат прийнято для швидкоспрацьовуваних деталей, ресурс яких не перевищує річного напрацювання устаткування, а питома вага таких деталей становить 15...25 % від усієї номенклатури запасних частин. Визначення витрат запасних частин на основі ресурсів деталей для всієї номенклатури ускладнено впливом експлуатаційних факторів. Високий рівень витрат запасних частин до устаткування тваринництва зумовлений не тільки їх конструктивними та виробничими недоліками, але й недосконалою експлуатацією. Частка експлуатаційних відмов, прямо чи побічно зв'язаних із порушенням установлених правил і умов експлуатації устаткування ферм, становить половину всіх видів відмов.

У теорії надійності відомо декілька десятків розподілів, за допомогою яких можливо описувати експериментальні дані відмов. Однак не менш важливим стають інші вимоги (фізичність, можливість виконання розрахунків надійності та ін.), які звужують коло розподілів, використовуваних як моделі відмов. При дослідженні надійності технічних засобів розглянуто різні моделі відмов і виділено ряд законів розподілу: нормальний, логарифмічно нормальний, Вейбулла, гамма та експоненціальний, які можна покласти в основу побудови моделей довговічності невідновлених елементів тваринницької техніки, замінюваних у разі відмови запасними. ГОСТ 27.005-97 розглядає разом з іншими розподілами універсальні дифузійні монотонні DM і немонотонні DN - розподіли, які застосовуються в основному при дослідженні виробів електронної техніки [13].

Розподіл ресурсу за прийнятими законами можна характеризувати параметрами положення, масштабу та форми. Наявність кількох параметрів дозволяє більш точно підібрати вид розподілу для характеристики вибіркового даних. Нормальний і гамма-розподіли мають два параметри - масштабу й форми. Розподіл логарифмічно нормальний і Вейбулла, крім параметрів масштабу й форми, можуть мати параметр положення. Експоненціальний розподіл має параметр форми і може

мати параметр положення Введення параметра положення - деякого кінцевого значення часу, до якого відмови неможливі, - означає, що при напрацюванні, меншому ніж величина параметра положення, функція розподілу дорівнює нулю. Від'ємна величина параметра положення відповідає тому, що виріб може відмовити до початку експлуатації в період зберігання (наприклад, батарея, електролітичний конденсатор, електронна лампа, фотоплівка, консервовані продукти, гумові й пластмасові вироби та ін.). Звичайно, параметр положення приймають рівним нулю, що спрощує рівняння та зменшує обсяг обчислювальних робіт.

Для визначення закону розподілу і його параметрів застосовуються методи: моментів, послідовних приближень, максимальної правдоподібності, лінійного оцінювання, графоаналітичний метод із використанням імовірнісного паперу. При застосуванні останнього методу нанесенням даних на ймовірнісний папір можна приблизно оцінити їхню відповідність припустимому закону та одержати також оцінки параметрів розподілу шляхом проведення прямої лінії через вибіркові точки. Стосовно до ресурсних відмов можуть бути визначені такі показники надійності як щільність розподілу, функція розподілу (ймовірність відмови), середній ресурс, гамма-відсотковий ресурс, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов [13,14].

Розглянемо основні особливості перелічених розподілів.

При нормальному розподілі випадкова величина теоретично може приймати будь-які значення від $-\infty$ до $+\infty$ [13]. Оскільки область від'ємних значень часу не має змісту, можливі значення випадкового часу безвідмовної роботи t і можуть бути тільки позитивними. Тому кількісні характеристики надійності розглядають тільки при усіченому нормальному розподілі часу до відмови. Усічений нормальний розподіл випадкової величини виходить із нормального при обмеженні інтервалу можливих значень цієї величини.

Щільність нормального розподілу має вид

$$f(t) = \frac{\exp\left[-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}\right]}{\sigma(2\pi)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

де t_{cp} і σ - відповідно параметри масштабу і форми нормального розподілу;

t - поточне значення часу.

Характерним для нормального розподілу є те, що інтенсивність відмов починається з 0 і зі збільшенням часу дуже зростає. Це означає, що потік відмов не є стаціонарним і має місце старіння елементів. В області малих значень t старіння елементів несуттєво впливає на надійність, тому ймовірність безвідмовної роботи виробу зменшується незначно. Після тривалої експлуатації системи, відмови елементів якої мають нормальний розподіл, її надійність швидко знижується, тому ймовірність безвідмовної роботи падає.

Нормальний розподіл застосовується при поступовій зміні параметрів, або у тому випадку, коли частка раптових відмов дуже мала, тобто для виробів, працюючих у сприятливих умовах експлуатації. Він притаманний для опису поступових спрацьовуваних відмов [13].

Точкова оцінка параметрів t_{cp} і σ визначається

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \quad (2)$$

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}{(n-1)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (3)$$

де t_i - статистичні дані напрацювань до відмови; n - обсяг вибірки, за якою визначені параметри розподілу.

Коефіцієнт варіації

$$v = \frac{\sigma}{t_{cp}} \quad (4)$$

Другим розглянемо логарифмічно нормальний (LN) розподіл, який має досить прості вирази для своїх характеристик унаслідок зведення його до широко табульованої функції нормованого нормального розподілу.

Час безвідмовної роботи підпорядковується логарифмічно нормальному закону, якщо розподіл натурального логарифма часу безвідмовної роботи відповідає нормальному закону. Зазначені властивості, а також велика розкиданість і асиметричність розподілу стали підставою для залучення LN-розподілу як теоретичної моделі відмов при утомленості. Він застосовується для спрацьовуваних відмов, а також при дослідженні надійності напівпровідникових приладів. Крім того, результати прискорених випробувань деяких видів виробів можуть бути задовільно апроксимовані LN-розподілом [13].

Щільність ймовірності логарифмічно нормального розподілу визначається виразом

$$f(t) = \frac{\exp\left[-\frac{\ln(1-\mu)^2}{2\sigma_{ln}^2}\right]}{\left[t\sigma_{ln}(2\pi)^{\frac{1}{2}}\right]} \quad (5)$$

де μ , σ_{ln} - відповідно параметри масштабу і форми логарифмічно нормального розподілу.

LN-розподіл має одну моду при $t = \exp(\mu - \sigma_{ln}^2)$ і медіану при $t = \exp(\mu)$, а також позитивну асиметрію. Інтегральна функція відмов має немонотонний характер із спаданням на кінці розподілу. LN-розподіл можна іноді помилково прийняти за експоненціальний.

Якщо випадкові величини t_1 і t_2 незалежні й розподілені за LN-розподілом, то їхній добуток $t_3 = t_1 \cdot t_2$ також має LN-розподіл.

Максимально правдоподібні оцінки параметрів у випадку повної вибірки розраховують за формулами:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \quad (6)$$

$$\sigma_{ln} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Розподіл Вейбулла це - третій межовий розподіл в теорії екстремальних розподілів і відповідає ситуації руйнування самої слабкої ланки (елемента) із деякої сукупності (системи, яка складається з групи елементів), а також є достатньо гнучкою функцією, за допомогою якої добре вирівнювати різноманітну статистику відмов і яка може бути моделлю відмов, в основному, механічних об'єктів.

Розподіл Вейбулла визначається двопараметричною щільністю ймовірності

$$f(t) = \frac{bt^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]}{a} \quad (8)$$

де α і b - відповідно параметри масштабу та форми розподілу Вейбулла.

Одним із достоїнств розподілу Вейбулла слід вважати різноманітність форм кривих інтенсивності відмов. При $b < 1$ щільність починається з $+\infty$ і в зоні великих t прагне до нуля. Це означає, що він також, як і гамма-розподіл, може бути використаний як характеристика надійності виробів із часом їхнього припрацювання.

При $b = 1$ розподіл Вейбулла переходить в експоненціальний. При $b > 1$ щільність ймовірності починається з 0 і з часом зростає. При параметрі $b = 3,25$ розподіл Вейбулла можна вважати приблизно нормальним. Розподіл Вейбулла широко використовується при вивченні надійності механічних пристроїв, при дослідженні характеристик надійності електронних ламп і електромеханічних елементів.

Для розподілу Вейбулла, також як і для гамма-розподілу, відсутній у загальному виді вираз для середньої частоти відмов, що утрудняє аналіз системи за коефіцієнтами надійності, так як доводиться розв'язувати рівняння Вольтера наближеними методами.

Оцінки максимальної правдоподібності параметрів α і b одержують з системи рівнянь

$$\begin{cases} n\alpha - \sum_{i=1}^n t_i^b = 0 \\ \frac{n}{b} + \sum_{i=1}^n t_i - \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n t_i^b \ln t_i = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Перше наближення для значення α можна одержати, вирішуючи систему рівнянь

$$\begin{cases} n\alpha - \sum_{i=1}^n t_i^b = 0 \\ t_{cp} = \alpha^b \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \end{cases} \quad (10)$$

Так методом послідовних наближень знаходять α і b . Звичайно, оцінку параметра α проводять у припущенні, що параметр b відомий, тоді

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^b + (n-r)t_r^b}{r} \quad (11)$$

Це рівняння правдиво для плану спостережень [NUr], коли спостереження проводять за N виробами, без заміни виробів, що відмовили і закінчуються тоді, коли відмовить r виробів. При цьому t_r - час припинення спостережень, а t_i - наробіток виробів, що відмовили.

Розглянемо гамма-розподіл, який визначається двопараметричною щільністю ймовірності

$$f(t) = \lambda_0^m t^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{\lambda_0 t}{m-1}\right)\right]!$$

де λ_0 і m - відповідно параметри масштабу та форми гамма-розподілу.

Якщо оцінка параметрів виконується методом моментів, то, використовуючи такі властивості розподілу, як середнє t_{cp} і дисперсію σ^2 , отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{m}{\lambda_0} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \\ \frac{m}{\lambda_0^2} = \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - t_{cp})^2}{n-1} \end{cases} \quad (13)$$

Розв'язуючи рівняння відносно m і λ_0 , знаходимо оцінки для m і λ_0 :

$$m = \left(\frac{t_{cp}}{\sigma}\right)^2 \quad (14)$$

$$\lambda_0 = \frac{t_{cp}}{\sigma^2} \quad (15)$$

Оцінка параметрів m і λ_0 за допомогою методу максимальної правдоподібності полягає в рішенні системи рівнянь

$$\begin{cases} n \ln \frac{1}{\lambda_0} + \frac{nd}{d(1-m) \ln \Gamma(m)} - \sum_{i=1}^n \ln t_i = 0 \\ \frac{nm}{\lambda_0^2} - \sum_{i=1}^n t_i = 0 \end{cases} \quad (16)$$

Рішення цих двох рівнянь можна одержати методом послідовних наближень. За перше наближення беруться оцінки, знайдені методом моментів.

Якщо вважати параметр m відомим, то

$$\lambda_0 = \frac{m}{t_{cp}} \quad (17)$$

Параметр m характеризує асиметрію й ексцес. В залежності від його величини суттєво змінюється вид основних кількісних характеристик надійності. При $m = 1$ гамма-розподіл перетворюється в експоненціальний. При $m > 1$ інтенсивність відмов збільшується, а при $m < 1$ - зменшується. Неповну гамма-функцію важко розрахувати, проте коли $(m-1)$ - ціле число, то ймовірність безвідмовної роботи визначається як

$$P(t) = \int_1^\infty \frac{\lambda_0^m}{(m-1)! t^{m-1} \exp dt} = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{\exp(\lambda_0 t)}{i!} \quad (18)$$

Сума n незалежних величин, які підлягають гамма-розподілу з параметрами λ_0 і m_i , також має гамма-розподіл із параметрами λ_0 і $\sum m_i$.

Цьому розподілу задовольняє час виникнення відмов резервованих систем із включенням резерву способом заміни та при умові, що потік відмов основної і всіх резервних систем є звичайним. В цьому випадку параметр m дорівнює числу всіх систем (основної та резервних), тобто $m = L + 1$.

Цей розподіл також може бути характеристикою часу виникнення відмов складних електромеханічних систем, якщо мають місце відмови елементів на початковій стадії експлуатації чи в процесі відпрацювання системи, тобто при $m < 1$ гамма-розподіл є зручною характеристикою часу виникнення відмов апаратури на протязі часу її припрацювання.

Останнім розглянемо експоненціальний розподіл, який визначається щільністю ймовірності

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (19)$$

де λ - параметр експоненціального розподілу.

Експоненціальний розподіл є частковим випадком гамма-розподілу та розподілу Вейбулла і характеризується постійною інтенсивністю відмов, котра є також параметром розподілу. Постійна інтенсивність відмов означає, що ймовірність відмов системи не залежить

(Ошибки в тексте документа отсутствуют.)

від того, скільки часу вона проробила до розглянутого моменту часу. Цей розподіл абсолютно не враховує старіння та спрацювання. Зворотна величина інтенсивності відмов є середнім напрацюванням до відмови. Експоненціальний розподіл має місце у випадках, коли виробу складні й можлива більша кількість відмов різних елементів виробів із неоднаковою інтенсивністю. Він має максимальну щільність у момент включення, тобто відповідає низькій технології й якості виготовлення та складання, виключає технологічне припрацювання й доведення. Якщо відмови елементів виробів розподілені за експоненціальним законом, то й відмова самого виробу має експоненціальний розподіл, а інтенсивність відмов виробу дорівнює сумі інтенсивностей відмов його елементів. В останньому випадку необхідно передбачити незалежність відмов елементів та їхнє послідовне з'єднання.

Цей розподіл застосовується для аналізу складних систем, які пройшли період припрацювання, а також для систем, які працюють у тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень. У більшості випадків експоненціальний розподіл характерний для раптових відмов і застосовується частіше інших при дослідженні надійності. Численні дослідження виявляють, що для багатьох елементів різних систем випадковий час їхньої безвідмовної роботи підпорядковується експоненціальному закону. Він типовий для складних систем, складених з різнорідних елементів із різними λ -характеристиками.

Інтенсивність відмов складної системи, складеної з багатьох елементів із різними значеннями $\lambda_i(t)$, може бути постійною і при істотно нестаціонарних інтенсивностях відмов окремих елементів. Крім того, при дослідженні надійності окремих елементів іноді можна зневажати підвищену інтенсивність у початковий період експлуатації чи усунути цей період застосуванням припрацювання. Якщо в процесі експлуатації цих елементів не настає період спрацювання, то інтенсивність відмов у цьому випадку можна приймати постійною.

При інтенсивності відмов елементів одержуються прості формули для розрахунку надійності елементів і систем. Якщо зважати на те, що складні системи іноді складаються з багатьох елементів, то стає очевидним важливість спрощення розрахунку надійності. При $\lambda = \text{const}$ імовірність безвідмовної роботи елементу чи системи на протязі заданого періоду часу не залежить від часу роботи. Це значно спрощує розрахунки. Відмічена властивість експоненціального розподілу обумовлює вельми істотні методичні похибки при оцінці показників надійності, особливо при далекому протязі середнього чи гамма-відстокового ресурсу, при розрахунку показників безвідмовності великих систем.

Максимально правдоподібна оцінка t_{cp} у випадку повної вибірки дорівнює

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \quad (20)$$

У багатьох випадках умовно приймають, що в період експлуатації машини, чимало віддалений від вступу її у дію, час між замінами деталей підпорядковується експоненціальному закону, а попит на запасні частини з метою спрощення розглядають як стаціонарний процес, описаний розподілом Пуассона. Однак

практика показує, що часто закон розподілу напрацювання до відмови відрізняється від пуассонівського, а потік відмов – нестаціонарний.

Згідно з теорією відновлення, яка також розглядає питання розрахунку кількості запасних частин, з часом процес відновлення стає стаціонарним, а це значить, що при будь-якому законі розподілу відмов в ділянки часу, чимало віддаленого від уведення машин у дію, середнє число відмов, що припадають на одиницю часу, близьке до величини, оберненої середньому ресурсу елемента. Але прямолінійна модель прогнозу потреби машин у запасних частинах, умовно приймаючи їхні витрати постійними в часі, справедлива в будь-якому часовому інтервалі тільки для експоненціального розподілу. Застосування її для інших розподілів при напрацюваннях, незначно віддалених від уведення машин у дію, призводить до значних похибок. Аналітичні ж розрахунки кількості запасних частин методами чисельного інтегрування, розкладу в ряд підінтегральної функції заміни, статистичного моделювання пов'язані з громіздкими розрахунками.

Висновки

1. Розглядаючи різні моделі відмов можна виділити ряд розподілів: нормальний, логарифмічно нормальний, Вейбулла, гамма та експоненціальний, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів (елементів) прес-гранулятора, замінені у разі відмови запасними. Перелічені розподіли охоплюють відповідно поступові, зносіві (нормальний, логарифмічно нормальний), утомлені (Вейбулла) та раптові (експоненціальний) відмови механічних систем (гамма-розподіл), складних систем, що пройшли період припрацювання, а також систем, які експлуатуються в тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень.

Список літератури

1. Склар О. Г., Болтянська Н. І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навчальний посібник. Мелітополь: Колор Принт, 2012. 720 с.
2. Роговський І. Л. Технічні вимоги до гарантійного технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Науковий вісник національного університету біоресурсів та природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2010. Вип. 166, ч. 1. С. 286-291.
3. Болтянська Н. І. Сучасний стан машинно-тракторного парку підприємств агропромислового комплексу. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2008. Вип. 36. С. 3-7.
4. Склар О. Г., Болтянська Н. І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. Київ. Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.
5. Болтянський О. В. Аналіз шляхів підвищення ефективності використання машинотракторного парку. Праці ТДАТУ. 2014. Вип. 14. Т. 4. С. 204-209.
6. Роговський І. Л. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету

сільського господарства імені Петра Василенка. 2015. Т. 159. С. 224.

7. *Комар А. С., Болтянська Н. І.* Переробка пташиного посліду на добриво шляхом його гранулювання. Тези V Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва». Умань. 2019. С.18-20.

8. *Болтянська Н. І.* Забезпечення якості продукції у галузі сільськогосподарського машинобудування. Науковий вісник національного університету біоресурсів та природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 196, ч. 1. С. 239-245.

9. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor.* Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

10. *Болтянська Н. І.* Роль технічного сервісу при забезпеченні високоефективного функціонування технологічного процесу виробництва продукції тваринництва. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2013. Вип. 3. Т. 1, С. 103-110.

11. *Rogovskii I. L.* Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 262. С. 403-411.

12. *Болтянська Н. І., Комар А. С.* Розробка конструкції преса-гранулятора для переробки пташиного посліду. 36. наукових праць Міжн. наук.-практ. конф. «Актуальні питання розвитку аграрної науки в Україні». Ніжин, 2019. С. 84-91.

13. *Boltyanska N.* Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow, 2018. Vol. 18. No 2. P. 23-29.

14. *Комар А. С.* Аналіз конструкцій пресів для приготування кормових гранул та паливних брикетів. Науковий вісник ТДАТУ. 2018. Вип. 8. Т. 2. С. 44-56.

15. *Болтянський О. В., Болтянська Н. І.* Використання різних критеріїв при визначенні кількості запасних частин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип. 36. 2006. С. 3-7.

16. *Справочник по надежности.* Т. 1. Пер. с англ. Под ред. Б. Р. Левина. Москва. Мир. 1969. 339 с.

17. *Болтянська Н. І.* Забезпечення високоефективного функціонування технологічного процесу виробництва продукції тваринництва шляхом підвищення рівня надійності техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 282. ч. 1. С. 181-192.

2. *Rogovsky I. L.* (2010). Technical Requirements for Agricultural Machinery Warranty Maintenance. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 166, Part 1. 286-291.

3. *Boltyanska N. I.* (2008). The current state of the machine-tractor fleet of enterprises in the agro-industrial complex. Proceedings of the Tavrida State Agrotechnological University. No 36, 3-7.

4. *Sklar O. G., Boltyanska N. I.* (2018). Fundamentals of Livestock Enterprise Design: A Textbook. Condor Publishing House, 380.

5. *Boltyansky O. V.* (2014). Analysis of ways of increasing the efficiency of the use of the machine-tractor park. Against TDAT. No 14. Vol. 4. 204-209.

6. *Rogovsky I. L.* (2015). Restoration of capacity of assembly units of agricultural machinery. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko. Vol. 159. 224.

7. *Komar A. S., Boltyanska N. I.* (2019). Processing of poultry manure for fertilization by granulation. Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production". Uman. 18-20.

8. *Boltyanska N. I.* (2014). Quality assurance of products in the field of agricultural engineering. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 196, Part 1. 239-245.

9. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor.* (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

10. *Boltyanska N. I.* (2013). The role of technical service in ensuring the highly efficient functioning of the process of production of livestock products. TDATU Scientific Bulletin. Melitopol, Vol. 3. Vol. 1, 103-110.

11. *Rogovskii I. L.* (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 262. 403-411.

12. *Boltyanska N. I., Komar A. S.* (2019). Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. Coll. scientific works Intern. Research Practice Conf. "Topical issues of development of agrarian science in Ukraine". Nizhin, 84-91.

13. *Boltyanska N.* (2018). Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow, Vol. 18. No 2. 23-29.

14. *Komar A. S.* (2018). Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. TDATU Scientific Bulletin. Vol. 8. Iss. 2. 44-56.

15. *Boltyansky O. V., Boltyanska N. I.* (2006). The use of different criteria in determining the number of spare

References

1. *Sklar O. G., Boltyanska N. I.* (2012). Mechanization of technological processes in animal husbandry: textbook. manual. Color Print. 720.

parts. Proceedings of the Tavrida State Agrotechnical Academy. Issue 36. 3-7.

16. A guide to reliability. T. 1 Per. from English Ed. B. R. Levin. Moscow. World. 1969. 393.

17. *Boltyanska N. I.* (2018). Ensuring the highly efficient functioning of the process of production of livestock products by improving the reliability of technology. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 282, Part 1. 181-192.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРОВ ПО ЗАКОНАМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

Н. И. Болтянская, О. В. Болтянский

Аннотация. Сегодня наблюдается старение машинно-тракторного парка в животноводстве и особенно остро становится проблема эффективного использования отечественной и зарубежной техники. Особенно большое внимание уделяется проблеме повышения качества и надежности разрабатываемых отечественных машин и оборудования. Требования к технике непрерывно возрастают как к качеству, так и диапазона выполнения сельскохозяйственных работ и операций, повышение надежности и производительности. Особенность функционального назначения и эксплуатации средств механизации в животноводстве заключается в обеспечении непрерывности биотехнического связи: оператор — машина — животное — окружающая среда. Это является возможным лишь при условии постоянного поддержания указанных средств в работоспособном состоянии, при котором коэффициент готовности каждой единицы должен быть на уровне 0,95–0,98. В теории надежности известно несколько десятков делений, с помощью которых возможно описывать экспериментальные данные отказов. Рассматривая различные модели отказов выделен ряд распределений: нормальный, логарифмически нормальный, Вейбулла, гамма и экспоненциальный, которые являются основой построения моделей долговечности невосстанавливаемых изделий животноводческой техники, замененных в случае отказа запасными. Перечисленные распределения охватывают соответственно постепенные, износные, уставшие и внезапные отказы механических систем, сложных систем, прошедших период приработки, а также систем, которые эксплуатируются в тяжелых условиях под воздействием механических и климатических нагрузок.

Ключевые слова: надежность, пресс-гранулятор, запасные части, параметры распределения, время прогноза, средний ресурс.

developed domestic machinery and equipment. Requirements for equipment are constantly increasing both in quality and in the range of agricultural work and operations, increasing reliability and productivity. A feature of the functional purpose and operation of mechanization in livestock breeding is to ensure the continuity of biotechnological communication: operator - machine - animal - environment. This is possible only under the condition of constant maintenance of these funds in a healthy state, in which the readiness coefficient of each unit should be at the level of 0.95–0.98. In the theory of reliability, several dozen divisions are known by which it is possible to describe the experimental data of failures. Considering various models of failures, a number of distributions are identified: normal, logarithmically normal, Weibull, gamma, and exponential, which are the basis for constructing models of the durability of non-restored products of livestock equipment, replaced in case of failure by spare ones. The listed distributions cover, respectively, gradual, wear, tired and sudden failures of mechanical systems, complex systems that have passed the running-in period, as well as systems that are operated in difficult conditions under the influence of mechanical and climatic loads.

Key words: reliability, granulator press. spare parts, distribution parameters, forecast time, average resource.

Н. И. Болтянская ORCID 0000-0002-7887-4715.

О. В. Болтянский ORCID 0000-0002-9543-5538.

RELIABILITY RESEARCH PRESS GRANULATORS BY LAW RESOURCE ALLOCATIONS

N. I. Boltianska, O. V. Boltyanski

Abstract. Today, the aging of the machine and tractor fleet in livestock breeding is observed, and the problem of the effective use of domestic and foreign equipment is becoming especially acute. Particular attention is paid to the problem of improving the quality and reliability of the