

УДК 631.171.075.3

*Болтянська Н.І., Болтянський О.В. «Аналіз законів розподілу ресурсу елементів при дослідженні надійності прес-гранулятора»*

В умовах механізації і автоматизації сільськогосподарського виробництва зростає значення показників надійності і довговічності в загальній оцінці якості техніки. Тим часом вирішувати завдання, забезпечена надійності машин стає все важче через безперервне зростання силової напруженості деталей і вузлів в результаті підвищення робочих швидкостей, збільшення завантаження при універсалізації машин і багатьох інших факторів, пов'язаних з прогресом сільгоспмашинобудування.

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, зносіві, 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.

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. Розподіл Вейбулла відповідає ситуації руйнування самої слабкої ланки із деякої сукупності, а також є достатньо гнучкою функцією, за допомогою якої добре вирівнювати різноманітну статистику відмов і яка може бути моделлю відмов механічних об'єктів. Експоненціальний розподіл має місце у випадках, коли виробі складні й можлива більша кількість відмов різних елементів виробів із неоднаковою інтенсивністю.

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

*Болтянская Н.И., Болтянский О.В. «Анализ законов распределения ресурсов элементов при исследовании надежности пресс-гранулятора»*

В условиях механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства возрастает значение показателей надежности и долговечности в общей оценке качества техники. Между тем решать задачи, обеспечения надежности машин становится все труднее из-за непрекращающегося роста силовой напряженности деталей и узлов в результате повышения рабочих скоростей, увеличения загрузки при универсализации машин и многих других факторов, связанных с прогрессом сельхозмашиностроения.

Рассматривая различные модели отказов выделен ряд распределений: нормальный, логарифмически нормальный, Вейбулла, гамма и экспоненциальный, которые являются основой построения моделей долговечности невозобновленных изделий животноводческой техники, замененных в случае отказа запасными. Перечисленные распределения охватывают соответственно постепенные, износа, уставшие и внезапные отказы механических систем, сложных систем, которые прошли период приработки, а также систем, эксплуатируемых в тяжелых условиях под влиянием механических и климатических нагрузок.

Характерным для нормального распределения является то, что интенсивность отказов начинается с 0 и с увеличением времени очень растет. Это означает, что поток отказов не является стационарным и имеет место старения элементов. В области малых значений  $t$  старения элементов несуттєво влияет на надежность, поэтому вероятность безотказной работы изделия уменьшается незначительно. После длительной эксплуатации системы, отказы элементов которой имеют нормальное распределение, ее надежность быстро снижается, поэтому вероятность безотказной работы падает. Нормальное распределение применяется при постепенном изменении параметров, или в том случае, когда доля внезапных отказов очень мала, то есть для изделий, работающих в благоприятных условиях эксплуатации. Он присущ для описания постепенных отказов. Распределение Вейбулла соответствует

ситуации разрушения самого слабого звена из некоторой совокупности, а также является достаточно гибкой функцией, с помощью которой хорошо выравнять разнообразную статистику отказов и которая может быть моделью отказов механических объектов. Экспоненциальное распределение имеет место в случаях, когда изделия сложные и возможно большее количество отказов различных элементов изделий с неодинаковой интенсивностью

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

*Boltianska, N.I., Boltianskyi O.V. "Analysis of the laws of distribution of elements resources in the investigation of reliability of the press-granulator "*

In the conditions of mechanization and automation of agricultural production the importance of indicators of reliability and durability in the overall assessment of the quality of machinery increases. In the meantime, the task of ensuring the reliability of the machines becomes more difficult due to the continuous increase in the power intensity of the parts and components as a result of increased operating speeds, increased loading during the universalization of the machines and many other factors associated with the progress of agricultural machinery. The peculiarity of the functional purpose and operation of the means of mechanization in animal husbandry is to ensure the continuity of biotechnical communication: operator - machine - animal - environment. This is possible only under the condition of the constant maintenance of the specified facilities in working condition, under which the coefficient of readiness of each unit should be at the level of 0.95 ... 0.98. There are several dozen distributions in the theory of reliability that can be used to describe experimental failure data.

Considering different models of failures, a number of distributions are distinguished: normal, logarithmic normal, Weibull, gamma and exponential, which are the basis for the construction of models of durability of non-restored livestock products, replaced in case of failure of spare parts. These distributions cover, respectively, gradual, wear-out, fatigue and sudden failures of mechanical systems, complex systems that have undergone a period of service, as well as systems that are operated under severe conditions under the influence of mechanical and climatic loads.

Characteristic of a normal distribution is that the failure rate starts at 0 and increases with time. This means that the failure flow is not stationary and there is an aging element. In the region of small values of  $t$  the aging of the elements does not significantly affect the reliability, so the probability of trouble-free operation of the product decreases slightly. After prolonged operation of the system, the failure of which elements have a normal distribution, its reliability rapidly decreases, so the probability of trouble-free operation decreases. Normal distribution is used for the gradual change of parameters, or in cases where the proportion of sudden failures is very small, that is, for products operating in favorable operating conditions. It is specific to describing progressive failures. The Weibull distribution corresponds to the situation of the weakest link in a set (a system consisting of a group of elements), and is also a flexible enough function to equalize various failure statistics well, which can be a model of failure of mechanical objects. Exponential distribution occurs in cases where the products are complex and the number of failures of different elements of the products with different intensity is possible. It has maximum density at the moment of switching on, ie it corresponds to low technology and quality of manufacture and assembly, excludes technological elaboration and finishing.

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

## **Актуальність проблеми**

В умовах численних інституційних перетворень, за яких відбулося значне погіршення стану матеріальної бази вітчизняних великотоварних 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**

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 тваринницької 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. Ружило, С.В. Кропивко, В.С. Ловейкін, К.І. Почка та ін. Але на даний час залишається невирішеними ще дуже багато питань [7,8].

### **Формулювання мети дослідження**

Метою цього дослідження є визначення та аналіз ряду розподілів, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів прес-гранулятора, замінених у разі відмови запасними, які охоплюють поступові, зносіві, утомлені та раптові відмови механічних систем, що пройшли період припрацювання, а також систем, які експлуатуються в тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень.

### **Методичний підхід в проведенні досліджень**

При визначенні та аналізі ряду розподілів, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів використано методи порівняльного й системного аналізу, синтезу, наукових узагальнень та метод аргументації.

### **Результати досліджень**

Існуючі засоби механізації, які суттєво підвищують продуктивність процесу створення повноцінних кормів та знижують його трудомісткість, мають велику масу, та значну питому енергоємність. 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]. Шоста частина фактичних витрат запасних частин обумовлена виробничими причинами. Через відсутність прийнятних науково обґрунтованих методичних матеріалів, надто бідної й розрізної 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. У зв'язку з цим накопичення інформації про ресурси машин, потоки замін елементів з урахуванням ремонтних впливів і розробка на цій основі прийнятних 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. Однією з причин недосконалості нормування витрат запасних частин є недостатнє обґрунтування головних принципів розрахунку норм на основі ресурсу деталей і їх фактичних витрат [12].

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 [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]. Розглянемо основні особливості перелічених розподілів.

При нормальному розподілі випадкова величина теоретично може приймати будь-які значення від  $-\infty$  до  $+\infty$ . 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 розподілу 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  $\sigma$  - 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.

Точкова оцінка параметрів  $t_{cp}$  і  $\sigma$  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.

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  $\mu$ ,  $\sigma_{\ln}$  - 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. Інтенсивність 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

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

де  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  і  $b$ . Звичайно, оцінку параметра  $\alpha$  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

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

(О  
шиб  
ка!  
Тек  
ст  
указ  
анн  
ого  
сти  
ля в  
док  
уме  
нте  
отсу  
тств  
ует.  
2)

де  $\lambda_0$  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  $\sigma^2$ , 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  $m_i$  і  $\lambda_0$ , знаходимо оцінки для  $m$  і  $\lambda_0$ :

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

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

Оцінка параметрів  $m$  і  $\lambda_0$  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 приближень. За перше приближення 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  $\lambda_0$  і  $m_i$ , також має гамма-розподіл із параметрами  $\lambda_0$  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 щільність ймовірності

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

де  $\lambda$  - 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 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 вироби 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  $\lambda$ -характеристиками.

Інтенсивність відмов складної системи, складеної з багатьох елементів із різними значеннями  $\lambda_i(t)$ , може бути постійною і при істотно нестационарних 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.

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.

## Висновки

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 використаних джерел

1. Болтянська Н.І. Сучасний стан машинно-тракторного парку підприємств агропромислового комплексу. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2008. Вип. 36. С. 3–7.
2. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посібник. Мелітополь: Колор Принт, 2012. 720 с.
3. Болтянський О.В. Аналіз шляхів підвищення ефективності використання машино-тракторного парку. Праці ТДАТУ. 2014. Вип. 14. Т.4, С. 204–209.
4. Шаршунов В.А., Червяков А.В., Бортник С.А. Машины и оборудование для производства комбикормов: Справочное пособие. Экоперспектива, 2005. 487 с.
5. Комар А.С., Болтянська Н.І. Аналіз конструкцій пресів для приготування кормових гранул та паливних брикетів. Науковий вісник ТДАТУ. 2018. Вип.8. Т.2. С. 44–56.
6. Болтянська Н.І. Аналіз конструкцій шестеренних пресів-грануляторів. Науковий вісник ТДАТУ. 2018. Вип.8. Т.2. С. 29-43
7. Rogovskii I.L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник НУБіП України. Серія: «Техніка та енергетика АПК». 2017. Вип 262. С. 38.
8. Комар А.С., Болтянська Н.І. Розробка конструкції преса-гранулятора для переробки пташиного посліду. Зб. наукових праць Міжн. наук.-практ. конф. «Актуальні питання розвитку аграрної науки в Україні». Ніжин, 2019. С. 84-91.
9. Boltyanska N. Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow, 2018. Vol. 18. No 2. P. 23–29.

10. Комар А.С., Болтянська Н.І. Напрями удосконалення робочого процесу вальцово-матричних прес-грануляторів. Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: мат. Міжн. наук.-практ. форуму. ТДАТУ. 2019. Ч.1. С. 33–36.
11. Машины, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник [Р.В. Скляр, О.Г. Скляр, Б.В. Болтянський, та ін.]. К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. 608 с.
12. Бойко А.І. Напрями забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки. Зб. наукових праць ХНТУСГ. 2009. Вип. № 80. С. 13-16.
13. Болтянська Н.І. Забезпечення вискоєфективного функціонування технологічного процесу приготування і роздавання кормів у тваринництві. Науковий вісник ТДАТУ. Вип. 4. Т.1. С. 16-22.
14. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.
15. Болтянська Н.І. Забезпечення якості продукції у галузі сільськогосподарського машинобудування. Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2014 Вип.196, ч.1. С. 239–245.
16. 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.
17. Болтянська Н.І. Забезпечення вискоєфективного функціонування технологічного процесу виробництва продукції тваринництва шляхом підвищення рівня надійності техніки. Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2018 Вип.282, ч.1. С. 181–192.
18. Некрасов С.С. Экономические критерии предельного состояния сложных машин. Механизация и электрификация сельского хозяйства. №4. 1999. С. 20–23.
19. Болтянська Н.І. Зміни техніко-експлуатаційних показників МЕЗ під впливом на них надійності. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. 2009. Вип.89. С. 106–111.
20. Лычева В.В. Формирование себестоимости продукции в сельском хозяйстве: проблемы оценки затрат. Межвузовский сборник научных трудов. Саранск, 2000. С. 183.

### **References**

1. Boltyans`ka N.I. Suchasny`j stan mashy`nno-traktornogo parku pidpny`emstv agropromy`slovogo kompleksu. Praci Tavrijs`kogo derzhavnogo agrotexnologichnogo universy`tetu. 2008. Vy`p. 36. S. 3–7.
2. Sklyar O.G., Boltyans`ka N.I. Mexanizaciya texnologichny`x procesiv u tvary`nny`cztvi: navch. posibny`k. Melitopol`: Kolor Pry`nt, 2012. 720 s.
3. Boltyans`ky`j O.V. Analiz shlyaxiv pidvy`shhennya efekty`vnosti vy`kory`stannya mashy`no-traktornogo parku. Praci TDAU. 2014. Vy`p. 14. T.4, S. 204–209.
4. Boltyans`ka N.I. Zabezpechennya vy`sokoefekty`vnogo funkcionuvannya texnologichnogo procesu pry`gotuvannya i rozdavannya kormiv u tvary`nny`cztvi. Naukovy`j visny`k TDAU. Vy`p. 4. T.1. S. 16-22.
5. Rogovskii I.L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Naukovy`j visny`k NUBiP Ukrayiny`. Seriya: Texnika ta energety`ka APK. 2017. Vy`p 262. S. 38.
6. Boltyans`ka N.I. Rol` texnichnogo servisu pry` zabezpechenni vy`sokoefekty`vnogo funkcionuvannya texnologichnogo procesu vy`robnny`cztva produkciyi tvary`nny`cztva. Naukovy`j visny`k TDAU. Vy`p. 3. T.1. S. 103-110.

7. Mashynny, obladnannya ta yix vykorystannya v tvarynnychzvtvi: pidruchnyk [R.V. Sklyar, O.G. Sklyar, B.V. Boltyanskyj, ta in.]. K.: Vydavnychyj dim «Kondor», 2019. 608 s.
8. 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. R. 23–29.
9. Bojko A.I. Napryamy zabezpechennya nadijnosti skladnoyi sil'skogospodarskoyi texnyk. Zb. naukovy'x prac' XNTUSG. Xarkiv, 2009. Vy'p. # 80. S. 13-16.
10. Boltyanska N.I. Zabezpechennya yakosti produkciyi u galuzi sil'skogospodarskogo mashynobuduvannya. Naukovy'j visnyk NUBiP Ukrayiny'. Seriya „Texnika ta energety'ka APK“. 2014. Vy'p.196, ch.1. S. 239–245.
11. Sklyar O.G., Boltyanska N.I. Osnovy' proektuvannya tvarynnych'ky'x pidpr'yemstv: pidruchnyk. K.: Vydavnychyj dim «Kondor», 2018. 380 s.
12. Boltyanska N.I. Zabezpechennya vy'sokofektyvnogo funkcionuvannya texnologichnogo procesu vy'robnychzvtva produkciyi tvarynnychzvtva shlyaxom pidvy'shennya rivnya nadijnosti texnyk. Naukovy'j visnyk NUBiP Ukrayiny'. Seriya «Texnika ta energety'ka APK».2018 Vy'p.282, ch.1. S. 181–192.
13. Boltyanskyj O.V. Vykorystannya rizny'x kry'teriyiv pry' vy'znachenni kil'kosti zapasny'x chasty'n. Praci TDATA. 2006. Vy'p.36. S. 3–7.