

Próba oceny niezawodności i trwałości opryskiwaczy

TOMASZ OTMIANOWSKI

Optymalne warunki wykonywania zabiegów ochrony roślin istnieją często tylko przez kilkanaście godzin, dlatego bardzo istotny jest poziom niezawodności aparatury przeznaczonej do tego celu. Poniżej przedstawiono propozycję zastosowania statystycznej metody oceny niezawodności działania opryskiwaczy ciśnieniowych.

Zgodnie z ogólnie przyjętą definicją pojęcie niezawodności oznacza prawdopodobieństwo prawidłowego działania obiektu w określonych warunkach.

Jako obiekt wybrano nowoczesny opryskiwacz ciśnieniowy ORZ-300A, stanowiący układ złożony z zespołów. Elementami układu są podzespoły opryskiwacza. Danych statystycznych dostarczyły obserwacje uszkodzeń grupy 21 opryskiwaczy tego typu prowadzone przez sezony 1965 i 1966. Rejestrowano występujące w czasie eksploatacji uszkodzenia, przy czym okresy ich występowania przyjęto mierzyć ilością wypryskanej cieczy w m³, co pozwala na porównanie okresów eksploatacji w sadach i na polach. Dla obserwowanej grupy opryskiwaczy przeciętna ilość pracy wynosiła 87,8 m³ cieczy na sezon. Jest to więcej niż ogólna przeciętna w kraju, która w latach 1965—1966 kształtowała się poniżej 60 m³ dla opryskiwaczy zawieszanych.

Za uszkodzenie traktowano każdą usterkę powodującą przerwę w pracy urządzenia dłuższą niż 0,5 godziny.

Tak prowadzona rejestracja pozwoliła oszacować średnią intensywność występowania uszkodzeń w funkcji ilości pracy, tj. wypryskanej cieczy. Pierwszym etapem było określenie niezawodności poszczególnych elementów opryskiwacza.

Ponieważ uszkodzenia elementów możemy traktować jako dyskretne, pojedyncze i niezależne, prawdopodobieństwo wystąpienia x uszkodzeń w okresie t można wyrazić wzorem rozkładu Poissona:

$$p(x; t) = \frac{\mu^x \cdot e^{-\mu}}{x!} \quad (1)$$

Warunkiem niezawodności jest niewystępowanie uszkodzeń, czyli $x = 0$. Natomiast μ odpowiada spodziewanej liczbie uszkodzeń w przedziale t , czyli $\mu = \lambda \cdot t$, gdzie $\lambda(t)$ jest funkcją intensywności uszkodzeń. Przy takich założeniach wzór (1) przyjmie postać uogólnionego wykładniczego prawa niezawodności:

$$R_{(t)} = p(0; t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Ponieważ w naszym przypadku nie znamy postaci funkcji $\lambda(t)$, najwygodniej będzie posłużyć się wzorem podanym przez Grzesiaka [2] dla oszacowania przeciętnej intensywności uszkodzeń:

$$\hat{\lambda}(0, t_s) = \frac{m}{\sum_{i=1}^m t_i + (n-m)t_s} \quad (3)$$

gdzie: $\hat{\lambda}$ — szacowana przeciętna intensywność uszkodzeń,
 n — liczność próbki,
 m — ilość niezależnych uszkodzeń,
 t_i — okres poprawnej pracy jednego elementu,
 t_s — okres badania.

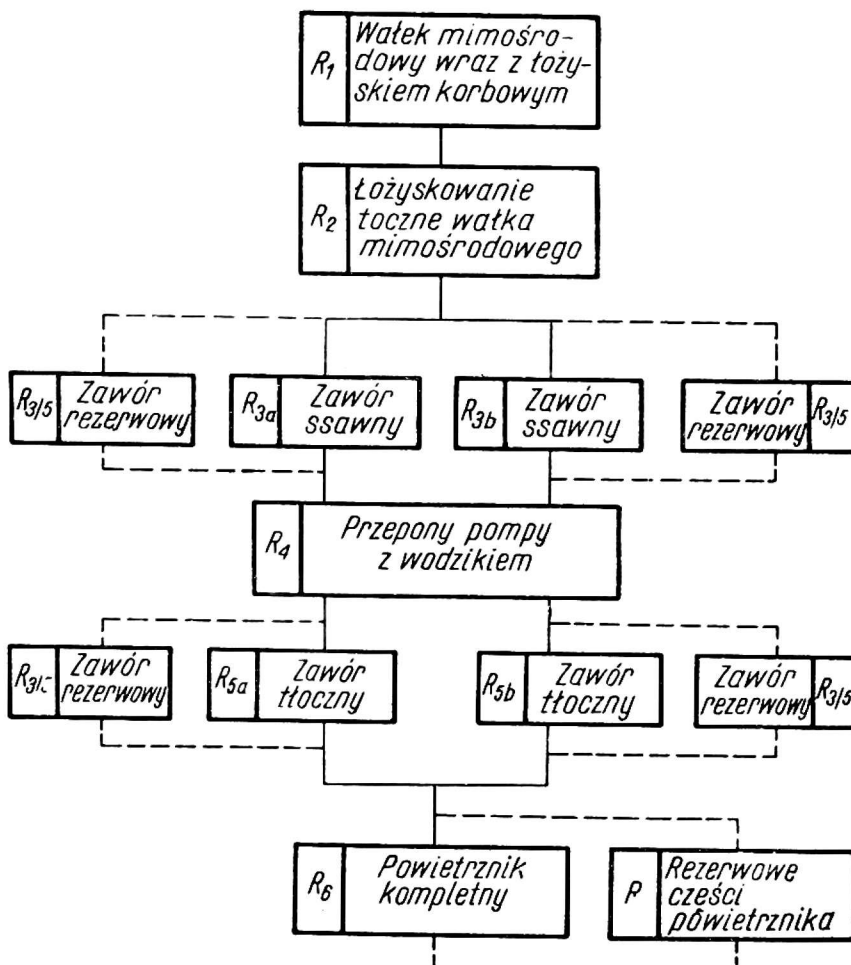
Dla tak oszacowanej wartości możemy określić przedział ufności $\hat{\lambda}_1 < \hat{\lambda} < \hat{\lambda}_2$ wg wzorów:

$$\hat{\lambda}_1 = \hat{\lambda} \cdot a_1 \quad \text{oraz} \quad \hat{\lambda}_2 = \hat{\lambda} \cdot a_2$$

gdzie: $\hat{\lambda}_1$ — dolna granica przedziału oraz ufności parametru,
 $\hat{\lambda}_2$ — górna granica przedziału ufności parametru,

natomiast współczynniki a_1 i a_2 przy poziomie ufności β możemy odczytać z tablic dla stosowania wykładniczego prawa niezawodności [2].

Obliczone na przedstawionych zasadach szacowane wartości funkcji niezawodności $R_{(t)}$ dla poszczególnych elementów układu pozwoliły w oparciu o schematy



Rys. 1. Schemat układu pompy opryskiwacza ORZ-300A dla określenia niezawodności

obliczyć wewnętrzną niezawodność poszczególnych zespołów przy poziomie ufności $\beta = 0,90$.

Schemat niezawodności przedstawiony na rys. 1 uwzględnia połączenie szeregowie tych wszystkich elementów, których uszkodzenie uniemożliwia poprawne działanie całego zespołu. Wyjątek stanowią zawory ssawne i tłoczne włączone równolegle, a to z uwagi na fakt, że przy pracy pompy poniżej maksymalnych parametrów, co jest regułą przy większości zabiegów, nie jest zauważalne nawet znaczne zmniejszenie wydatku jednej ze stron pompy.

W naszym przypadku przy pełnej wymienności zaworów zakładamy $R_{3a} = R_{3b} = R_{5a} = R_{5b} = R_{3/5}$ ponadto założyliśmy, że nie traktujemy jako uszkodzenia usterki, którą można usunąć w czasie krótszym od 0,5 godz. siłami własnymi obsługi. Do takich czynności należy wymiana zaworu w pompie oraz przepon i uszczelk w powietrzniku. Zakładając, że obsługa posiada dostateczną ilość części zapasowych (dostawca do każdego egzemplarza pompy załącza cztery zawory oraz dwa komplety części do powietrznika) można zgodnie z teorią zimnej rezerwy [2] na schemacie niezawodności (rys. 1) oznaczyć możliwość prędkiej wymiany, jako dodanie po jeszcze jednej gałęzi równoległej do każdego zdublowanego elementu.

Zgodnie z prawem prawdopodobieństwa dla zdarzeń niezależnych, ogólna niezawodność szeregu jest iloczynem niezawodności poszczególnych jego członów [1]. Przy połączeniu równoległym członów, niezawodność całego układu [2] możemy określić wzorem:

$$R_{(t)} = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - R_{1,j}) \quad (4)$$

gdzie: $R_1 \dots R_j \dots R_k$ to niezawodności poszczególnych członów od 1 ... k.

Stosując oba te prawa, w przypadku układu o schemacie wg rys. 1, otrzymujemy całkowitą niezawodność pompy:

$$R_{III} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_4 \cdot [1 - (1 - R_{3/5})^4]^2 \cdot [1 - (1 - R_6)^2] \quad (6)$$

gdzie: R_1 — niezawodność zespołu: wałek mimośrodowy, łożysko korbowe,

R_2 — niezawodność zespołu łożysk tocznych wałka mimośrodowego,

R_3 — niezawodność zaworu ssawnego pompy,

R_4 — niezawodność zespołu: przepony, wodzik, zamocowania,

R_5 — niezawodność zaworu tłoczno pompy,

R_6 — niezawodność powietrznika kompletnego.

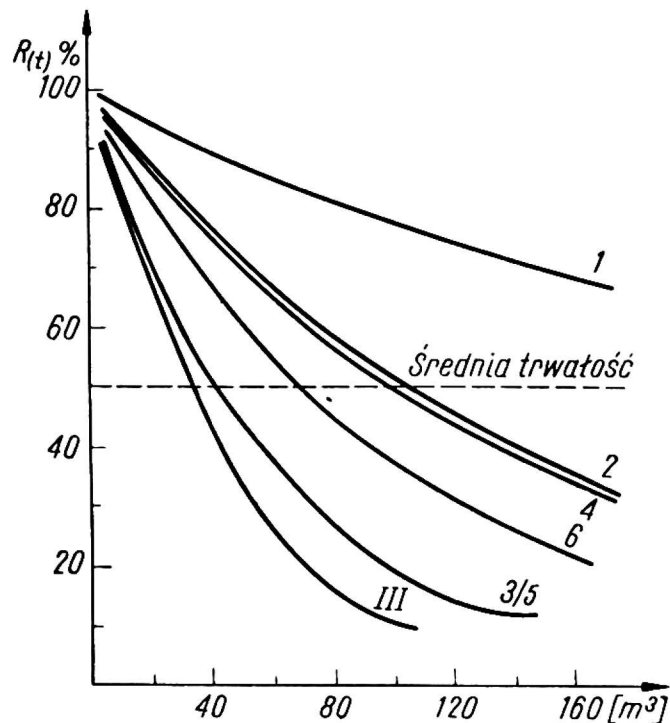
Oszacowane wg wzoru (2) wartości $R_{(t)}$ dla poszczególnych podzespołów pompy oraz ogólną wartość niezawodności całej pompy wg wzoru (6) podaje wykres na rys. 2.

Wykres opracowano dla przedziału t od 0—160 m³ wypryskanej cieczy, co odpowiada przeciętnie 2 lub 3 sezonom agrotechnicznym w zależności od intensywności wykorzystania opryskiwaczy.

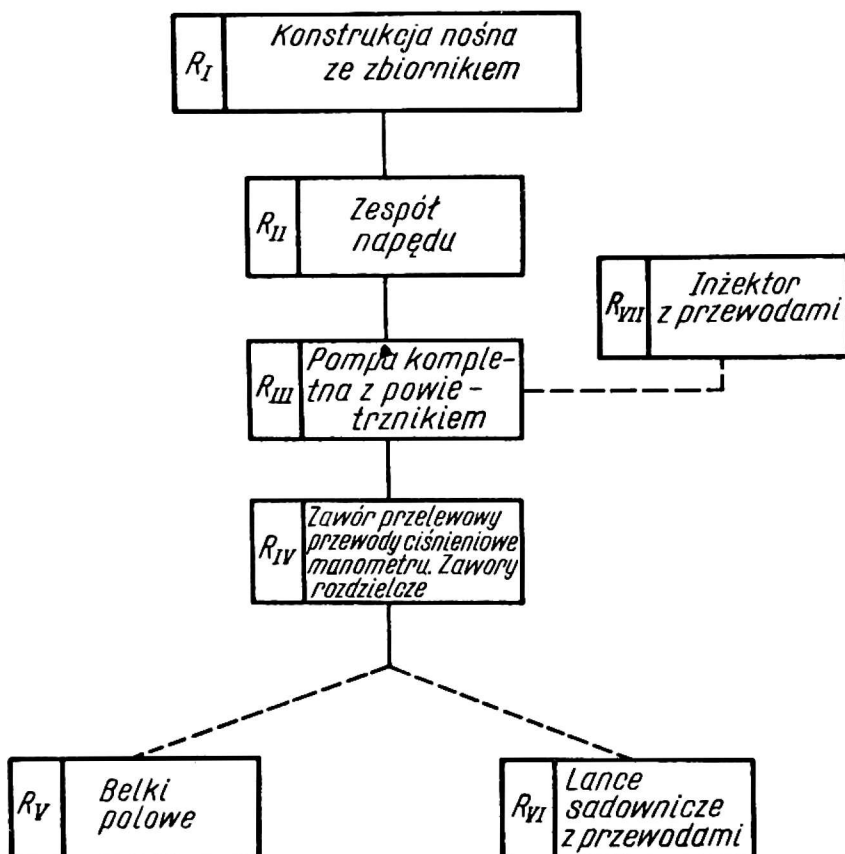
Wartości niezawodności $R_{(t)}$ podano w procentach. Przerywana linia na poziomie 50% odcina na krzywych niezawodności poszczególnych elementów wartości ich średniej trwałości określone w m³ cieczy. Oszacowanie całkowitej niezawodności

wewnętrznej opryskiwacza oparto na wartościach $R_{(t)}$ dla wszystkich jego zespołów obliczonych podobnie jak to pokazano na przykładzie pompy.

Rysunek 3 wyobraża schemat układu niezawodności całego opryskiwacza. Jest to typowy układ szeregowy, gdzie zależnie od wykonywanej pracy włączone są albo belki polowe albo też lance sadownicze.



Rys. 2. Wykres niezawodności zespołów pompy opryskiwacza



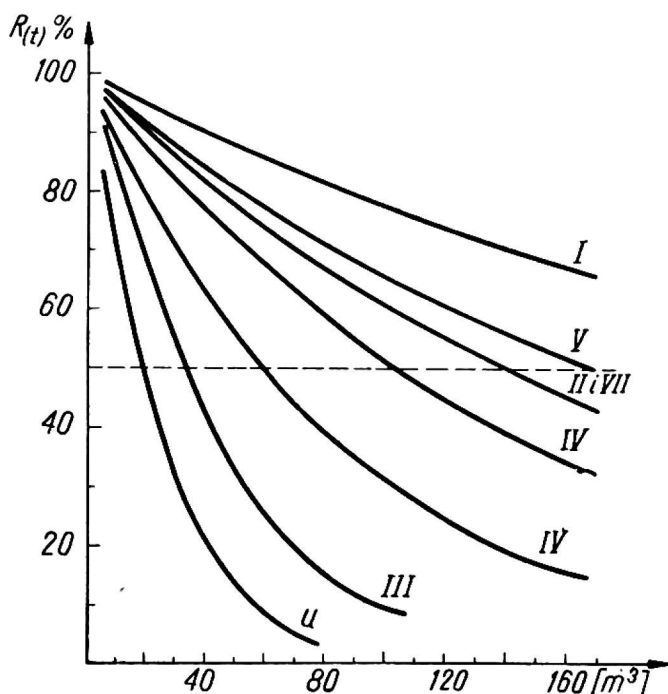
Rys. 3. Schemat układu zespołów opryskiwacza ORZ-300A dla określenia niezawodności

Szacowana wartość R_u dla całego opryskiwacza jest iloczynem wartości niezawodności poszczególnych zespołów.

$$R_u = R_I \cdot R_{II} \cdot R_{III} \cdot R_{IV} \cdot R_V \quad (7)$$

W obliczeniu tym nie uwzględniono niezawodności inżektora, gdyż nie wpływa ona bezpośrednio na działanie układu.

Konstrukcje wykresów niezawodności z rys. 2 i 4 pozwolą z ryzykiem 10% ocenić średnią trwałość poszczególnych podzespołów i zespołów, a więc okresy pomiędzy naprawami i przeglądami zapobiegawczymi, przywracającymi pierwotną niezawodność. Na podstawie wykresów można przewidzieć, dla większej grupy eksploatowanych aparatów, ich rzeczywistą wydajność i zapewnić odpowiednie rezerwy. Można również zaplanować potrzebne części wymienne dla renowacji zespołów. Konstruktorom wykresy te dają wskazówki co do niezbędnego podniesienia trwałości elementów, względnie zapewnienia łatwości wymiany tych elementów, które ze względów ekonomicznych nie mogą być bardziej trwałe.



Rys. 4. Wykres niezawodności dla opryskiwacza ORZ-300A

Znajomość niezawodności oraz trwałości zespołów i detali maszyny, a także nakładów pracy na naprawę, pozwala na prawidłowe zaplanowanie czynności obsługi profilaktycznej. Zapewnia to utrzymanie niezawodności działania maszyny powyżej pewnego określonego względami techniczno-ekonomicznymi poziomu.

W przypadku jeśli znane są parametry szeregu statystycznego trwałości o rozkładzie zbliżonym do normalnego, Kazarcew [3] zaleca stosowanie okresów między-naprawczych wg następujących założeń.

Dla czynności kontrolnych i profilaktycznych okres powinien wynosić:

$$\tau_k = \tau_s - \sigma \quad (8)$$

gdzie: τ_k — okres między przeglądami kontrolnymi,

τ_s — średnia trwałość zespołu względem części maszyn,

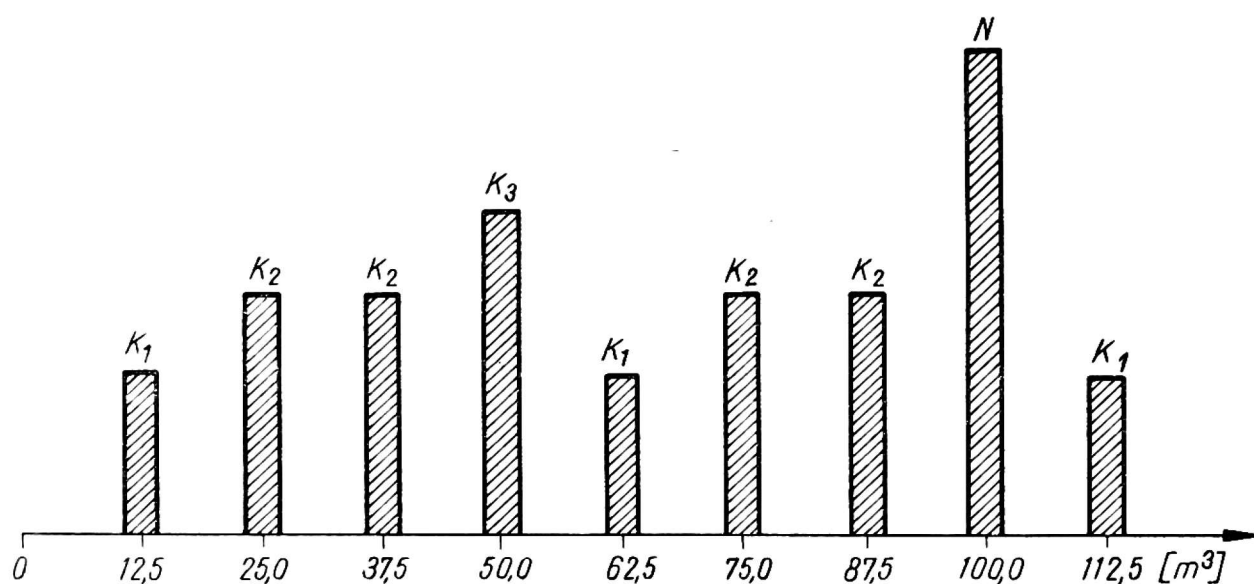
σ — średnie odchylenie standardowe.

Tak określony międzykontrolny okres zapewnia w ponad 80% przypadków wczesne wykrycie usterek, co umożliwia ich usunięcie i dalszą bezawaryjną pracę. Kazarcew [3] i inni [6] proponują ustalenie okresu międzynaprawczego wg wzoru dla średnio progresywnej normy trwałości:

$$\tau_n = \tau_s + \frac{2}{3}\sigma \quad (9)$$

gdzie: τ_n — okres międzynaprawczy.

W przypadku opryskiwaczy ciśnieniowych trudno jest rozdzielić czynności kontrolno-zapobiegawcze od naprawczych. Istotne jest natomiast zachowanie wysokiej niezawodności sprzętu. Dlatego przy sporządzaniu harmonogramu obsługi opryskiwacza ORZ-300A posłużono się wzorem (8) oraz wykresami niezawodności zespołów (rys. 2).



Rys. 5. Histogram przeglądów kontrolno-naprawczych opryskiwacza ORZ-300A

Histogram przeglądów kontrolno-naprawczych (rys. 5) opracowano przy założeniu utrzymania przeciętnego poziomu niezawodności opryskiwacza powyżej 60%. Za podstawowy okres pomiędzy przeglądami przyjęto ilość pracy 12,5 m³ cieczy, tj. około 20 ha plantacji polowych.

Proponowany jest następujący zakres czynności kontrolnych i naprawczych:

K₁ — przegląd kontrolno-naprawczy po około 12,5 m³ oprysku. Po oczyszczeniu i przepłukaniu układu opryskiwacza, należy sprawdzić ciśnienie, pulsację i wydatek pompy. Skontrolować zawory pompy, w razie potrzeby wymienić sprężynki zaworowe lub całe zawory. Należy rozebrać i oczyścić filtry, przeprowadzić oględziny przewodów elastycznych, konstrukcji nośnej i napędu. Nasmarować te punkty, które zaleca instrukcja po 50 godz. pracy. Przegląd powinien przeprowadzić traktorzysta pod nadzorem brygadzysty.

K₂ — Przegląd kontrolno-naprawczy po 25 m³ i 37,5 m³ oprysku. W zakres wchodzi wszystkie czynności przeglądu **K₁** z tym, że jeśli przy przeglądzie poprzednim nie były wymienione zawory, należy je teraz bezwzględnie wymienić. Ponadto przeprowadzić próbę wodną celem kontroli: szczelności wszystkich połączeń, działania zaworów sterujących, inżektora, rozpylaczy i lanc sadowniczych. Szczególną

uwagę należy zwrócić na pulsację ciśnienia i działanie powietrznika. Przeglądu dokonuje traktorzysta pod nadzorem brygadzisty.

K_3 — Przegląd kontrolno-naprawczy po 50 m³ oprysków. W zakres wchodzi wszystkie czynności przeglądu K_2 , ponadto sprawdzenie stanu powietrznika, wymiana przepony, kontrola wskazań manometru oraz jego ewentualna wymiana. Należy również przeprowadzić kontrolę zaworu sterującego i filtrów, wymienić zużyte części, sprawdzić przepony pompy. W miarę potrzeby wymienić odcinki ciśnieniowych przewodów elastycznych. Smarowania dokonać wg zaleceń instrukcji fabrycznej po 100 godz. pracy.

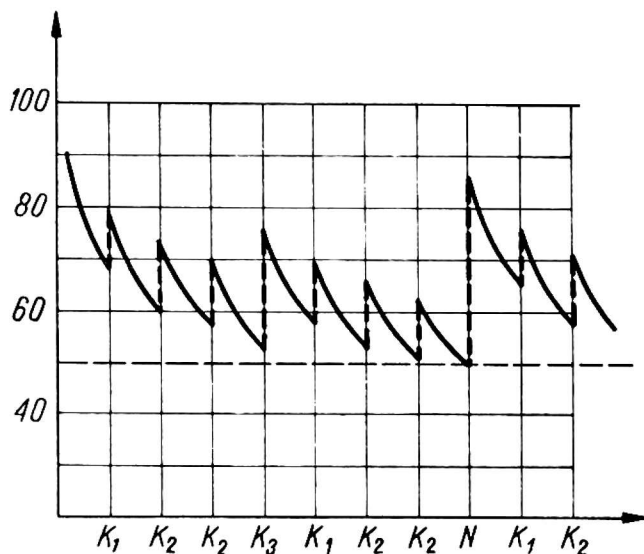
Po przeglądzie K_3 następuje okresowo, zgodnie z histogramem (rys. 5), przegląd K_1 i dwa przeglądy K_2 . Z kolei po przepracowaniu około 100 m³ cieczy należy przeprowadzić naprawę N połączoną ze szczegółową kontrolą i weryfikacją stanu zespołów. Dla tego celu przeprowadzamy kompletny demontaż opryskiwacza. Szczególnie dokładnie należy kontrolować: stan wałka mimośrodowego, stan łożysk tocznych oraz krzyżaków wału przegubowego. W miarę potrzeby wymieniamy części nadmierne zużyte, w tym obowiązkowo przepony pompy i powietrznika. Pocięte i uszkodzone części ramy, belek polowych itp. prostujemy i jeśli zachodzi potrzeba spawamy. Sprawdzamy, czy zbiornik nie ulega przecieraniu w miejscach zamocowania do ramy. Po 100 m³ oprysków może zająć również potrzeba wymiany znacznej ilości elastycznych przewodów ciśnieniowych. W razie uszkodzenia zbiornika z PWS należy żądać od wytwórcy dostarczenia odpowiednich preparatów i instrukcji, celem przeprowadzenia reperacji.

Prawidłowo wykonana naprawa powinna przywrócić opryskiwaczowi niezawodność prawie tak samo dużą, jaką posiada nowy aparat. Naprawa taka, pomimo że koszt jej nie będzie normalnie przekraczał 15% wartości nowego aparatu, zastępuje w zupełności tzw. naprawę kapitalną. W wypadku jeśli termin naprawy zbliżony jest do terminu przygotowania aparatu do zimowania, należy połączyć dwa zabiegi, tj. do czynności wchodzących w zakres naprawy dodać te, które zaleca instrukcja, celem przygotowania opryskiwacza do przechowywania. Należy przy tym pamiętać, że wszelkie części gumowe zostaną lepiej przechowane przez okres zimowy, jeśli nie będą zamocowane (pozaciskane) w aparacie. Dotyczy to zarówno przepon, jak i uszczelki. Jeśli opryskiwacz nie kwalifikuje się jeszcze do naprawy, a zbliża się sezon martwy, należy czynności przeglądu K_3 połączyć z przygotowaniem do przechowania wg instrukcji fabrycznej. Użytkując opryskiwacz należy prowadzić kartę eksploatacji i napraw, tak aby wiadomo było jakie elementy wymieniono przy poszczególnych przeglądach, co zapewni odpowiednią i terminową wymianę zużytych elementów.

Prowadzona w sposób zgodny z przedstawioną metodą profilaktyczna obsługa techniczna opryskiwaczy ORZ-300A pozwoli utrzymać stale niezawodność o wartościach oscylujących pomiędzy 0,85% a 50% (wykres na rys. 6).

Przeciętne wartości R_u wynoszą około 65%. Jest sprawą oczywistą, że każdy z przeglądów oraz naprawa nie są w stanie przywrócić niezawodności do pełnej wartości początkowej, a to z uwagi na zmiany podstawowych elementów konstrukcyjnych wywołane korozją, zmęczeniem i starzeniem się materiałów. W związku

z tym po kilku cyklach „N”, ogólna niezawodność obniży się znacznie, a koszty koniecznych napraw wzrosną powyżej opłacalności eksploatacyjnej. Wtedy należy przeznaczyć dany aparat do kasacji.



Rys. 6. Wykres niezawodności opryskiwacza ORZ-300A po zastosowaniu metody przeglądów zapobiegawczych

Przy planowaniu rezerw dla grupy urządzeń pracujących równolegle interesuje nas prawdopodobieństwo uszkodzenia (eliminacji) jednego lub większej liczby aparatów. Opierając się na wzorze (1) określamy prawdopodobieństwo uszkodzenia jednego obiektu o niezawodności $R_{(t)}$ jako:

$$P_{(t)} = 1 - R_{(t)} \quad (10)$$

Łączna niezawodność grupy niezależnie pracujących obiektów jest iloczynem ich poszczególnych niezawodności [1]. W praktyce ważne jest określenie ryzyka takiej liczby uszkodzeń, która umożliwi poprawne wykonanie zadania.

Traktując uszkodzenie jednego obiektu jako zdarzenie elementarne łatwo zauważyć, że zdarzeniem przeciwnym będzie nieuszkodzenie, przy czym suma tych zdarzeń jest zdarzeniem pewnym. Ponieważ przy eksploatacji grupy aparatów mamy do czynienia z układem takich zdarzeń parami się wyłączających, więc jeżeli k będzie licznnością grupy, $R_1; R_2; \dots R_k$, niezawodnościami poszczególnych obiektów, wtedy prawdopodobieństwo wystąpienia $m \leq k$ uszkodzeń będzie sumą $\binom{k}{m}$ kombinacji iloczynów:

$$P_{\binom{k}{m}} = \binom{k}{m} (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_m) \cdot R_{k-m} \cdot \dots \cdot R_k \quad (11)$$

gdzie zgodnie z regułami kombinatoryki $\binom{k}{m} = \frac{k!}{m!(k-m)!}$.

Najczęściej zachodzi konieczność określenia prawdopodobieństwa ubytku pewnej ilości obiektów tego samego typu, znajdujących się w zbliżonym stanie technicznym. Zakładając, że zbliżony jest również poziom ich niezawodności przyjmujemy:

$R_1 = R_2 = \dots = R_k = R$. Wzór (10) przyjmie wtedy postać prawdopodobieństwa w przypadku rozkładu dwumianowego:

$$P_{\binom{k}{m}} = \binom{k}{m} (1-R)^m \cdot R^{k-m} \quad (12)$$

gdzie: k — liczebność grupy obiektów,
 m — liczba uszkodzeń (eliminacji).

Wzory (11) i (12) są słuszne tylko przy dodatkowym zastrzeżeniu, że okres eksploatacji t jest na tyle krótki, że nie zachodzi istotna zmiana wartości funkcji $R_{(t)}$.

W tabeli 1 podano przykładowe wartości prawdopodobieństw uszkodzenia dla opryskiwaczy ORZ-300A, obliczone wg wzoru (12). Przyjęto przeciętne $R_i = 0,65$ przy poziomie ufności $\beta = 0,90$.

Tabela 1

Prawdopodobieństwo występowania uszkodzeń w grupie opryskiwaczy ORZ-300A

Ilość uszkodzeń	Liczebność grupy										
	$k = 1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
$m = 1$	0,35	0,455	0,434	0,385	0,312	0,244	0,184	0,137	0,101	0,073	0,037
2	—	0,123	0,240	0,312	0,338	0,329	0,301	0,259	0,216	0,177	0,110
3	—	—	0,043	0,112	0,182	0,236	0,268	0,280	0,271	0,253	0,197
4	—	—	—	0,015	0,049	0,095	0,144	0,187	0,218	0,239	0,238
5	—	—	—	—	0,005	0,021	0,047	0,082	0,118	0,155	0,206

Z tabeli wynika np., że przy eksploatacji 5 aparatów najbardziej prawdopodobne jest uszkodzenie jednego lub dwóch, a odpowiednio dla grupy 10 aparatów trzech lub czterech sztuk.

Dla przyjętego poziomu niezawodności, największe prawdopodobieństwo eliminacji istnieje dla 1/3 ilości aparatów, przy czym maleje ono szybko wraz ze wzrostem grupy.

Praktyczne ustalenie koniecznej rezerwy wymaga znajomości lokalnych warunków eksploatacji i jest zależne od stopnia wykorzystania aparatów. Przedstawione rozważania wskazują, że koncentracja większej liczby aparatów zapewnia odpowiedni poziom niezawodności przy znacznie mniejszych rezerwach niż eksploatacja aparatów rozproszonych.

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono praktyczne zastosowanie statystycznych metod oceny trwałości i niezawodności opryskiwaczy ciśnieniowych. Opryskiwacze wybrano dlatego, że często optymalne warunki dla wykonania zabiegów ochrony roślin są bardzo krótkie. Obserwowano przez sezony 1965 i 1967 r. grupę 21 sztuk opryskiwaczy ORZ-300A, rejestrując występujące uszkodzenia. Na tej podstawie obliczono przeciętną trwałość poszczególnych zespołów, a następnie niezawodność całego opryskiwacza. Dane te umożliwiły opracowanie systemu przeglądów technicznych i napraw

gwarantujących utrzymanie stanu technicznego aparatów powyżej założonego poziomu niezawodności.

Zastosowanie zasad kombinatoryki rachunku prawdopodobieństwa, przy określonym poziomie niezawodności opryskiwaczy, pozwala ocenić celowość koncentracji sprzętu w większych bazach z punktu widzenia ogólnej gotowości do wykonywania zadań.

Zdaniem autora, ocena trwałości i system przeglądów technicznych powinny być opracowane na podstawie badań przyspieszonych tak, aby wyprzedzały rozpowszechnienie sprzętu danego rodzaju.

LITERATURA

1. Chorafas D. N., Procesy statystyczne i niezawodność urządzeń. WNT, Warszawa 1963.
2. Fidelis E. i inni, Matematyczne podstawy oceny niezawodności. PWN, Warszawa 1966.
3. Kazarcew W. I., Remont maszyn. PWRiL, Warszawa 1966.
4. Kotlarski I., Rachunek prawdopodobieństwa dla inżynierów. WNT Warszawa 1966.
5. Otmianowski T., Maszyny i Ciągniki Rolnicze, nr IV/67.
6. Praca zbiorowa, System Maszyn, nr 86, Ochrona Roślin. IMER, Warszawa 1966.
7. Seliwanow A. I., Osnovy teorii starenija maszin. Izd. Maszinostrojenie, Moskwa 1964.

ТОМАШ ОТМЯНОВСКИ

ПОПЫТКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

Резюме

В отчёте рассмотрено применение статических методов к оценке долговечности и надёжности опрыскивателей. Опрыскиватели выбрано потому, что оптимальные условия проведения операций по защите растений часто бывают слишком короткие. На основе результатов наблюдений, проведенных в 1965—1966 годах на 21 штуках опрыскивателей марки ORZ-300 А, польского производства, рассчитаны средняя долговечность отдельных узлов этих опрыскивателей и их надёжность в целом. Далее разработана система техуходов и ремонтов, обеспечивающая содержание машин в техническом состоянии выше принятого уровня надёжности.

Применение теории корреляции и вероятностей для заданного уровня надёжности опрыскивателей, позволяет оценить целесообразность сосредоточения их в больших базах с учетом их общей готовности к выполнению определенных задач.

По мнению автора, оценка долговечности и системы техуходов должна быть разработана на основе ускоренных испытаний ещё до распространения этих машин в практике.