

Janusz KACZOROWSKI  
Franciszek A. WRÓBEL

## Metoda oceny niezawodności działania przepompowni chroniących przed powodzią środowisko produkcji rolniczej

### Streszczenie

Na podstawie badań eksploatacyjnych przepompowni przydepresyjnych, użytkowanych w systemach ochrony przeciwpowodziowej terenów rolniczych, wyznaczono wybrane wskaźniki niezawodności agregatów pompowych, powszechnie stosowanych w zestawach roboczych badanych przepompowni. Uwzględniając charakter pracy przepompowni, za kryterium oceny sprawności zestawu pompowego przyjęto wskaźnik gotowości technicznej. Opracowano model pracy zestawu pompowego i algorytm wyznaczania wartości liczbowych wskaźnika.

**Słowa kluczowe:** ochrona środowiska, przepompownie, niezawodność

### 1. WSTĘP

Tereny rolnicze charakteryzujące się brakiem możliwości grawitacyjnego odpływu wód opadowych i filtracyjnych, przed podtopieniem i zabagnieniem chronione są systemami odwadniającymi wyposażonymi w przepompownie. Przepompownie są zwykle końcowymi elementami systemów, a więc w istotny sposób decydują o ich niezawodności. Każde uszkodzenie przepompowni powoduje niesprawność całego systemu. Jest zatem oczywiste, że powinna je cechować odpowiednio wysoka niezawodność działania, określona już na etapie projektowania z uwzględnieniem losowo zmieniających się warunków użytkowania, w określonych technicznych i organizacyjnych ograniczeniach systemu obsługiwanego.

Przepompownię należy rozpatrywać jako wyodrębniony podsystem techniczny o określonym składzie elementów, strukturze powiązań i funkcjach jakie mają do spełnienia. Podstawowym elementem przepompowni jest zestaw agregatów pompowych, którego niezawodne działanie ma decydujący wpływ na jej sprawność. Uwzględniając charakter pracy przepompowni, który przypomina pracę „pogotowia” przyjęto, że najodpowiedniejszą miarą oceny pracy przepompowni jest wskaźnik gotowości technicznej.

Na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych wytypowanych przepompowni przydepresyjnych, pracujących w strefie oddziaływania budowli piętrzących na rzece Wiśle, opracowano model pracy zestawu pompowego, pozwalający na określenie wskaźnika gotowości technicznej jako funkcji miar niezawodności agregatów tworzących zestaw, tj.: intensywności uszkodzeń  $\lambda(t)$  i intensywności odnowy  $\mu(t)$

## 2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem badań jest opracowanie metody oceny sprawności działania agregatów pompowych tworzących zespół roboczy przepompowni chroniących środowisko produkcji rolniczej przed nadmiernym uwilgotnieniem i zabagnieniem. Badaniami objęto przepompownie przydepresyjne, których głównym zadaniem jest odprowadzenie, w określonym, z góry zadany czasie, wód opadowych. Mniejsze znaczenie mają wody filtracyjne i obce, pochodzące z terenów przyległych. Dopyływ wody do przepompowni charakteryzuje się dużą zmiennością, zależną od strefy klimatycznej implikującej wysokość opadu i od stratygrafii terenu, warunkującej szybkość zejścia fali powodziowej. Dla przepompowni przydepresyjnych projektuje się zestawy pompowe w układzie równoległym, przydatne do pracy w warunkach dużej zmienności wydatku (od zera do kilku  $m^3/s$ ), przy niewielkiej wysokości podnoszenia (od kilku metrów do kilkunastu metrów).

Niezawodne, na żądanym poziomie, działanie przepompowni warunkuje właściwy dobór pomp tworzących zestaw roboczy, uwzględniający dwie grupy kryteriów decyzyjnych:

- warunki pracy przepompowni, zdeterminowane charakterem terenu chronionego,
- warunki eksploatacyjne w sferze obsługiwanego, zdeterminowane wyposażeniem i stanem organizacyjnym zaplecza obsługowo-naprawczego.

O ile uwarunkowania terenowe są dokładnie rozpoznawane na etapie przedprojektowego studium hydrologicznego, a w fazie projektu technicznego przepompowni wykonuje się szczegółowe obliczenia hydrauliczne, to aspekt eksploatacyjny w projektowaniu i wykonawstwie przepompowni nie był i nie

jest zupełnie uwzględniany. Prezentowane badania stanowią próbę sformułowania metody projektowania zestawu pomp i oceny działania przepompowni w fazie eksploatacji na podstawie zobiektywizowanych kryteriów technicznych, jakimi są miary niezawodności.

### 3. METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Ocena poprawności rozwiązania w zakresie doboru liczby, wielkości i jakości agregatów tworzących zestaw roboczy przepompowni wymaga wcześniejszego wyznaczenia pewnych miar niezawodności samych agregatów. Tymi miarami są wskaźniki niezawodności, zwane charakterystykami ilościowymi, zdefiniowanymi dla określonego modelu niezawodnościowego obiektu technicznego. Wybór wskaźników i obliczenie ich wartości liczbowych wymaga uprzedniego określenia własności obiektów poddanych badaniom. Najczęściej są to [1]:

- bezawaryjność (zdatność), czyli własność obiektu charakteryzująca utrzymanie się obiektu w stanie zdatności,
- trwałość, czyli własność obiektu charakteryzująca proces zużywania się obiektu podczas eksploatacji,
- podatność na naprawę, rozumiana jako własność charakteryzująca przystosowanie obiektu do przeprowadzenia napraw, związanych z nimi operacji, stwierdzenie stanu niezdatności i lokalizacji uszkodzonych elementów.

W najnowszych badaniach [2], szczególnie dotyczących obiektów hydrotechnicznych, określa się również wskaźniki obejmujące zachowanie przez obiekt wszystkich swoich funkcji, mimo wystąpienia drobnych uszkodzeń lub po wykonanej naprawie.

Interesującymi nas miarami niezawodności pomp są intensywność uszkodzeń, jako miara zdatności pompy i intensywność odnowy, jako miara efektywności systemu obsługowo-naprawczego.

Intensywność uszkodzeń  $\lambda(t)$ , zwana również funkcją ryzyka, określa prawdopodobieństwo warunkowe, że agregat, który przepracował do chwili  $t$  bez awarii, w następnym momencie ulegnie uszkodzeniu.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1)$$

gdzie: –  $f(t)$  jest funkcją gęstości opisującą długość okresów sprawności agregatów,

- $R(t)$  jest funkcją niezawodności określającą prawdopodobieństwo, że w czasie  $t$  nie nastąpi uszkodzenie agregatu.

W praktyce, dla danej wartości  $t$  wylicza się estymator  $\lambda(t)$  z zależności

$$\lambda(t) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(t)\Delta t} \quad (2)$$

- gdzie:  $n(t)$  – liczba obiektów, które w przedziale czasu  $(0, t)$  nie uległy uszkodzeniu,  
 $\Delta t$  – długość jednostkowego przedziału czasowego,  
 $n(t+\Delta t)$  – liczba obiektów, które również były sprawne w przedziale czasu  $(t+\Delta t)$ .

Przyjmując, że dla agregatów pompowych czasy trwania kolejnych napraw są niezależnymi zmiennymi losowymi [3], estymator wskaźnika intensywności odnowy  $\mu(t)$  można wyznaczyć z zależności:

$$\bar{\mu}(t) = \frac{n_o(t + \Delta t) - n_o(t)}{N_o \Delta t} \quad (3)$$

- gdzie:  $n_o(t)$  – liczba napraw agregatów z  $N$ , których czas trwania naprawy zawierał się w przedziale czasu  $(0, t)$

$N_o$  – ogólna liczba napraw w rozpatrywanym czasie.

Dla wyznaczenia wyżej podanych wskaźników przyjęto plan badań niezawodnościowych typu  $(N, W, T, R)$ , gdzie:

$N$  – liczba równoległe badanych agregatów tego samego typu,

$W$  – oznacza, że agregaty uszkodzone w toku badań wymieniane są na sprawne,

$T$  – badania kończy się po ustalonym czasie  $T$ ,

$R$  – badania kończy się po uszkodzeniu się  $R$  pomp tego samego typu.

Wariant  $R$  lub  $T$  wybierany jest zależnie od tego, który z nich wystąpi wcześniej.

Przyjęto również, że proces eksploatacji agregatów pompowych spełnia warunki dwustanowego modelu niezawodnościowego [1].

W przepompowni instaluje się zestaw  $N$  pomp charakteryzujących się następującymi parametrami: wartością wydatku  $Q_p$ , intensywnością uszkodzeń  $\lambda_p$ , intensywnością odnowy  $\mu_p$ . Każda z pomp może pracować niezależnie od pozostałych – praca agregatów odbywa się w układzie równoległym. Nie rozpatrywano przypadku, który – chociaż rzadko – bywa stosowany w praktyce, tj.: równoległy układ agregatów pompowych pracujących ze wspólnym rurociągiem tłocznym.

Każdorazowo włącza się taką liczbę agregatów, która gwarantuje odpompowanie dobowego dopływu wody do komory czerpnej przepompowni. Kolejność włączania agregatów może być ustalona według:

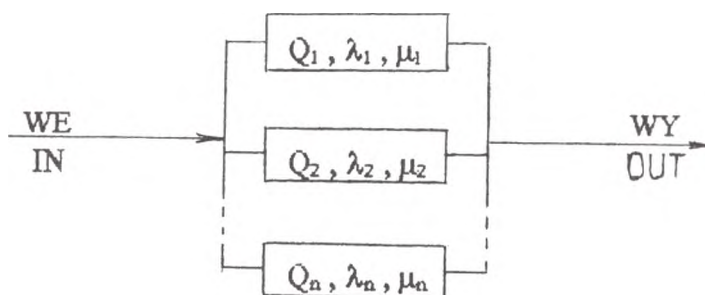
- numeracji agregatów określonej w projekcie technicznym przepompowni (jest to bardzo często stosowane rozwiązanie, wynikające z nieznanomości skutków „rezerwowania” systemów technicznych),

- na podstawie wypracowanego resursu (zasobu pracy), poczynając od agregatu o najmniejszym sumowym czasie pracy,

- dopasowania wielkości hydraulicznych pompy do aktualnego dopływu wody do czerpni.

Agregat, który ulegnie uszkodzeniu jest wyłączony z eksploatacji przez okres przyjęty jako średnia z rozkładu czasów trwania odnowy.

Model pracy zestawu pompowego ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Schemat niezawodnościowy pracy zestawu pomp

gdzie:  $Q_{1, \dots, n}$  – kolejny agregat w zestawie włączany do pracy zależnie od dopływu wody do czerpni,

$\lambda_{1, \dots, n}$  – wskaźnik intensywności uszkodzeń i-tego agregatu,

$\mu_{1, \dots, n}$  – wskaźnik intensywności odnowy i-tego agregatu.

Wskaźnik gotowości zestawu agregatów można wyznaczyć wykorzystując następujące zależności [3]:

$$G = \frac{1}{1 + \gamma_c} \quad (4)$$

gdzie:  $\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \quad (5)$

Przy ocenie niezawodności działania zestawu najbardziej miarodajna jest wartość wskaźnika wyliczona dla przypadku, gdy pojawiający się dopływ wymusza pracę wszystkich agregatów.

W przypadku, gdy pracuje tylko jeden agregat, a pozostałe znajdują się w rezerwie, wielkość  $\gamma_c$  jest wyrażona zależnością:

$$\gamma_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \binom{n}{i} \frac{i!}{\gamma^i}} \quad (6)$$

Dla pozostałych przypadków, przy łącznej liczbie N agregatów, gdy k pracuje, a n pozostaje w rezerwie i oczekuje na pracę:

$$\gamma_c = \frac{\binom{N}{n+1} \gamma^{(n+1)}}{\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \gamma^i} \quad (7)$$

Dla zweryfikowania opracowanego modelu przeprowadzono badania eksploatacyjne przepompowni chroniących tereny rolnicze zlokalizowane w strefie oddziaływania stopnia wodnego na rzece Wiśle w Łączanach. Z dokumentów eksploatacyjnych zebrano dane dotyczące pracy i niesprawności pomp typu PO, P i HL. Na podstawie analizy statystycznej uzyskanego materiału wyznaczono estymatory wskaźników niezawodności badanych agregatów. Otrzymane wartości liczbowe intensywności uszkodzeń  $\lambda_i$  i intensywności odnowy  $\mu_i$  wynoszą: dla pomp P –  $\lambda_p = 0.00172$ ,  $\mu_p = 0.0284$ , dla pomp PO –  $\lambda_{PO} = 0.00226$ ,  $\mu_{PO} = 0.0149$ , dla pomp HL –  $\lambda_{HL} = 0.00180$ ,  $\mu_{HL} = 0.0124$ .

Odpowiadające im wskaźniki gotowości zestawów pomp zawierają się w granicach od 0.69 do 0.720 i jak dla obiektów służących ochronie przed powodzią są bardzo niskie, świadcząc o małej niezawodności przepompowni.

#### 4. WNIOSKI

Wskaźnikami niezbędnymi dla dokonania obiektywnej oceny pracy zespołów pompowych są intensywność strumienia uszkodzeń – charakteryzująca jakość stosowanych agregatów pompowych i intensywność odnowy – charakteryzująca wydajność systemu obsługowo-naprawczego.

Uzyskane wyniki dowodzą dużej zawodności przepompowni. Istnieje więc realne zagrożenie powodziowe terenów chronionych w przypadku wystąpienia ekstremalnych opadów atmosferycznych. Poprawę istniejącego stanu można uzyskać głównie przez wymianę agregatów na nowe, bardziej niezawodne, np. pompy helikoidalne typu UM.

Uzupełniając badania o analizę dopływu wody do przepompowni, wyznaczone wskaźniki niezawodności znajdują zastosowanie w prognozowaniu pracy przepompowni w dowolnie dobranym horyzoncie czasowym. Dla usprawnienia procesu obliczeniowego opracowano algorytm i symulacyjny program komputerowy, który będzie przedmiotem odrębnej publikacji.

## 5. LITERATURA

- [1] König D., Stoyan D.: *Methoden der Bedienungstheorie*. Akademie-Verlag Berlin 1976.
- [2] Stąpel Z.: *Badania niezawodności systemów drenarskich*. Zakł. Upowsz. Post. AR, Kraków 1988, nr 272.
- [3] Wróbel F.: „Metoda doboru zestawu agregatów pompowych dla przepompowni chroniących tereny rolnicze”. Rozprawa doktorska. AR Kraków 1994.
- [4] Kaczorowski J., Wróbel F.: „Metody oceny niezawodności technicznych urządzeń melioracyjnych. Raport z badań”. AR Kraków 1993, maszynopis.