

## WSKAŹNIK GOTOWOŚCI TECHNICZNEJ MIARĄ NIEZAWODNOŚCI DZIAŁANIA PRZEPOMPOWNI MELIORACYJNYCH

*Franciszek A. Wróbel, Władysław Bala, Janusz Kaczorowski*

Zakład Mechaniki Technicznej  
Akademia Rolnicza im.H. Kołłątaja w Krakowie

**Synopsis:** Na podstawie badań eksploatacyjnych wybranych przepompowni przydepresyjnych wyznaczono wskaźniki niezawodności stosowanych agregatów pompowych. Uwzględniając charakter pracy przepompowni przyjęto, że najodpowiedniejszą miarą sprawności zestawu pompowego jest wskaźnik gotowości technicznej. Opracowano model pracy przepompowni i algorytm wyznaczania wartości liczbowych wskaźnika.

**Słowa kluczowe:** przepompownie, niezawodność, wskaźnik gotowości technicznej

### 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 decydują o ich niezawodności. Każde uszkodzenie przepompowni powoduje niesprawność całego systemu. Jest zatem oczywiste, że powinna je cechować wysoka niezawodność działania. Określona już na etapie projektowania, w zależności od losowo zmieniających się warunków użytkowania, przy określonych technicznych i organizacyjnych ograniczeniach systemu obsługiwanego.

Przepompownie 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 sprawność przepompowni. Uwzględniając charakter pracy przepompowni, który przypomina prace "pogotowia" przyjęto, że najodpowiedniejszą miarą oceny funkcjonowania przepompowni jest wskaźnik gotowości technicznej (Kaczorowski 1993).

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  $\mu(t)$ .

### Cel i zakres pracy.

Celem badań jest opracowanie metody oceny sprawności działania agregatów pompowych tworzących zespół roboczy przepompowni chroniących tereny rolnicze przed nadmiernym uwilgotnieniem i zabagnieniem. Badaniami objęto przepompownie przydepresyjne, których głównym zadaniem jest odprowadzenie w określonym, w z góry zadany czas wód opadowych. Mniejsze znaczenie mają wody filtracyjne albo obce pochodzące z terenów przyległych. Dopytyw wody do przepompowni charakteryzuje się dużą zmiennością, zależną od strefy klimatycznej implikującej wysokość opadu i 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  $m^3/\text{sek.}$ ), przy niewielkiej wysokości podnoszenia (od kilku do kilkunastu metrów).

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

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

O ile uwarunkowania terenowe są dokładnie rozpoznawane w zakresie studium hydrologicznego w fazie przedprojektowej, a na etapie projektu technicznego przepompowni wykonuje się szczegółowe obliczenia hydrauliczne, to aspekt eksploatacyjny w projektowaniu i wykonawstwie przepompowni nie był i nie jest zupełnie uwzględniany (Bala 1986, 1992). Prezentowane badania stanowią próbę

sformułowania metody oceny działania przepompowni w fazie eksploatacji w oparciu o zobiektywizowane kryteria jakimi są miary niezawodności.

### 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 (Konig 1976). Wcześniej definiuje się własności obiektów poddanych badaniom. Najczęściej są to:

- 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 (Wróbel 1994), 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 przpracował do chwili  $t$  bez awarii, w następnym momencie ulegnie uszkodzeniu.

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

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  $\bar{\lambda}(t)$  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 (Migdalski 1982), estymator wskaźnika intensywności odnowy  $\mu(t)$  można wyznaczyć z zależności:

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

gdzie:

$n(t)$  - 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 (Wróbel 1994).

W przepompowni instaluje się zestaw  $N$  pomp charakteryzujących się następującymi parametrami: wielkością wydatku  $Q$ , intensywnością uszkodzeń  $\lambda_c$ , intensywnością odnowy  $\mu_c$ .

Każda z pomp może pracować niezależnie od pozostałych - praca agregatów odbywa się w układzie równoległym.

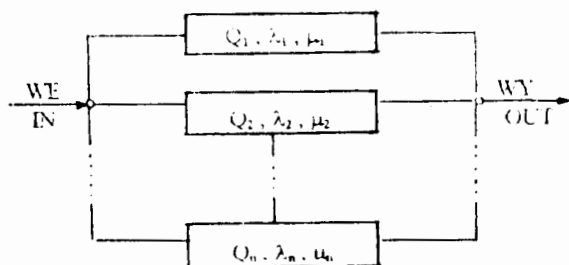
Każdorazowo włącza się taką ilość agregatów, która zapewnia odpompowanie dobowego dopływu wody do komory czerpnej przepompowni. Kolejność włączania agregatów może być ustalona wg:

- numeracji agregatów określonej w projekcie technicznym przepompowni (jest arbitralne rozwiązanie).

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

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

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



Rys.1 Schemat niezawodnościowy pracy zestawu pomp.

Fig.1. Diagram of pump station unfailing work.

gdzie:

$Q_{1, \dots, n}$  - kolejny agregat w zestawie włączany do pracy zależnie od wielkości pojawiającego się dopływu,

$\lambda_{1, \dots, n}$  - 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 (Wróbel 1994) :

$$\gamma = \frac{\lambda}{\mu} \tag{4}$$

$$G = \frac{1}{1 + \gamma_c} \tag{5}$$

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

W przypadku gdy pracuje tylko jeden agregat, a pozostałe znajdują się w rezerwie wielkość  $\gamma_c$  wyraża zależność:

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

Dla pozostałych przypadków, przy łącznej liczbie  $N$  agregatów, gdy  $k$  pracuje, a  $n$  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 Łęczanach. Z dokumentów eksploatacyjnych zebrano dane dotyczące czasów poprawnej pracy i niesprawności pomp typu PO, P i HL. Na podstawie analizy statystycznej uzyskanego materiału wyznaczono estymatory wskaźników niezawodności agregatów.

Otrzymane wartości wskaźników intensywności uszkodzeń  $\lambda_i$  i intensywności odnowy  $\mu_i$  wynoszą: dla pomp P -  $\lambda_p = 0.00172$ ,  $\mu_p = 0.0284$ , dla PO -  $\lambda_{po} = 0.00226$ ,  $\mu_{po} = 0.0149$ , dla HL -  $\lambda_{hl} = 0.00180$ ,  $\mu_{hl} = 0.0124$ .

Odpowiadające im wskaźniki gotowości technicznej badanych zestawów pomp zawierają się w granicach 0.690 do 0.780., jak dla obiektów służących ochronie przed powodzią są bardzo niskie. Świadczą o małej niezawodności działania przepompowni.

### Wnioski

Ocena istniejących i projektowanie nowych przepompowni winny w większym niż dotychczas zakresie uwzględniać przesłanki eksploatacyjne. Dotyczy to głównie niezawodności działania przepompowni.

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

Uzyskane wyniki dowodzą dużej zawodności przepompowni, gdyż wyliczone wskaźniki gotowości są bardzo niskie. Istnieje duże zagrożenie powodzią terenów chronionych w przypadku wystąpienia ekstremalnych opadów. Poprawę

istniejącego można uzyskać przez wymianę agregatów na nowe, bardziej niezawodne oraz usprawnienie obsługi, celem skrócenia ich czasów trwania.

Wyznaczone wskaźniki mogą być również zastosowane w programowaniu pracy przepompowni w dowolnym horyzoncie czasowym, przy uzupełnieniu badań o analizę dopływu wody do przepompowni i pod warunkiem zastosowania metod symulacyjnych z wykorzystaniem techniki komputerowej.

### Literatura

1. Bala W., Wróbel F. (1988): Badania wskaźników niezawodności melioracyjnych agregatów pompowych. Roczn.Nauk Rol. PAN,t.76-C-4, s.133-140.
2. Bala W., Kaczorowski J., Wróbel F.(1993): Metoda symulacji komputerowej w projektowaniu zestawów pompowych dla przepompowni melioracyjnych. Zesz.Probl.Podst.Nauk Rol. PAN z.408, s.395-402.
3. Kaczorowski J., Wróbel F. (1993): Metody oceny niezawodności technicznych urządzeń melioracyjnych. Raport z badań. AR Kraków, maszynopis.
4. König D., Stoyan D. (1976): Methoden der Bedienungstheorie. Akademie-Verlag Berlin.
5. Wróbel F. (1994): Metoda doboru zestawu agregatów pompowych dla przepompowni chroniących tereny rolnicze. Rozprawa doktorska. AR Kraków.

*Franciszek A. Wróbel, Władysław Bala, Janusz Kaczorowski*

### Summary

On base of operating testing selecting depression pumping station - determinate index of operational reliability using pumping unit.

Take into consideration pumping station work character - make an assumption, that more adequate measure is technical readiness index.

Elaborate pumping stations work model and algorithm determinate numerical value with compute's simulation application.