

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA IZOLOWANYCH PRZEWODÓW ODPROWADZAJĄCYCH W OCHRONIE ODGROMOWEJ STATKÓW Z TWORZYWA SZTUCZNEGO

Henryk BORYŃ

Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12,
80-952 Gdańsk, e-mail: h.boryn@wp.pl

Streszczenie: Omówiono specyfikę ochrony odgromowej statków wykonanych z tworzywa sztucznego wskazując możliwość zastosowania urządzenia ochronnego z elementami piorunochronu izolowanego – izolowanymi przewodami odprowadzającymi oraz nieprzewodzącymi masztami chronionego statku. Taki układ gwarantuje istotne ograniczenie wartości prądu pioruna przepływającego przez elementy wewnętrzne statku, radykalne zmniejszenie przepięć indukcyjnych w układach wewnętrznych statku przy odpowiedniej modyfikacji obwodów wewnętrznych, jak również możliwość pracy systemu z oddzielnymi uziemieniami odgromowym i ochronno-roboczym.

Słowa kluczowe: izolowane przewody odprowadzające, urządzenie piorunochronne, statki z tworzyw sztucznych.

1. WPROWADZENIE

Statki pływające po otwartych akwenach morskich są narażone na działanie wyładowań atmosferycznych, jako najwyższe obiekty na rozległym płaskim obszarze. Zagrożenie piorunowe każdego obiektu jest jednoznacznie związane z gęstością powierzchniową wyładowań atmosferycznych, która jak wiadomo zależy od współrzędnych geograficznych lokalizacji obiektu. W przypadku projektowania ochrony odgromowej statków musimy znać przewidywany rejon ich pływania. Dla statków o nieograniczonym rejonie pływania przyjmuje się, na przykład według zaleceń Polskiego Rejestru Statków (PRS) [8], gęstość powierzchniowych wyładowań równą 25/km² rok, a więc znacznie większą niż zalecana przez normę [1] wartość tego parametru dla obiektów położonych w naszych szerokościach geograficznych.

W przypadku statków stalowych praktycznie nie ma istotnych problemów konstrukcyjnych z ich ochroną odgromową – wykorzystuje się szczegółowe zalecenia norm [2, 7] czy przepisów PRS [6, 8, 9]. Natomiast istotne problemy techniczne są w przypadku statków wykonanych z tworzyw sztucznych, które nie mają naturalnego systemu ochronnego – stalowego kadłuba. Najczęściej są to małe jednostki o charakterze rekreacyjnym – jachty, ale tworzywa sztuczne stosuje się również w przypadku konstruowania statków dużych, o bardzo specjalistycznym przeznaczeniu, na przykład wojskowym. Cechą charakterystyczną takich statków wykonanych z tworzyw sztucznych jest konieczność

wyeliminowania w ich wewnętrznych pomieszczeniach negatywnych efektów elektryzacji statycznej, co osiąga się przez zastosowanie na powierzchniach ścian czy podłóg materiałów antyelektrostatycznych (półprzewodzących). W warunkach udarowych, materiały takie mogą charakteryzować się niestety, dużą skłonnością do rozwoju iskier ślizgowych, co musimy uwzględnić projektując urządzenie piorunochronne (LPS) statku.

Kolejny problem związany z projektem LPS to fakt zainstalowania na statku, podobnie jak w większości współczesnych obiektów, licznych urządzeń elektronicznych o niewielkiej wytrzymałości udarowej i odporności na zakłócenia. Wymienione cechy prowadzą do postawienia szczególnych wymagań systemowi ochrony odgromowej zastosowanemu na statku: konieczności ograniczenia wartości częściowych prądów piorunowych wnikających do jego wnętrza oraz przepięć indukowanych w obwodach wewnętrznych. Niekiedy, w przypadku zainstalowania na statku specjalistycznej aparatury wymaga się konieczności rozdzielenia uziemień odgromowego i ochronno-roboczego.

Należy rozważyć czy wymienione wyżej wymagania stawiane urządzeniu piorunochronnemu do ochrony statku z tworzywa sztucznego zostaną spełnione w specjalnej konstrukcji LPS. Można na przykład, zastosować w projektowanym urządzeniu wybrane elementy izolowanego LPS, zaprojektowanego zgodnie z zaleceniami aktualnej normy [1] – izolowane przewody odprowadzające współpracujące ze zwodami umieszczonymi na nieprzewodzących masztach statku.

Według normy [1] izolowany LPS stosuje się do ochrony obiektów o szczególnym zagrożeniu przez wyładowania atmosferyczne, czyli np. w obiektach zagrożonych wybuchem lub w innych wyjątkowo wrażliwych na skutki przepływu prądu pioruna przez elementy obiektu. Izolowany LPS skutecznie przejmuje uderzenie pioruna i odprowadza jego prąd do ziemi z całkowitym pominięciem obiektu chronionego. Taki sposób ochrony odgromowej bardzo skutecznie zmniejsza ryzyko szkód piorunowych, wynikających przede wszystkim z bezpośredniego przepływu prądu piorunowego, czyli nagrzewania elementów, czy iskier wtórnych lub występujących na stykach o dużej rezystancji. W istotny sposób można również ograniczyć przepięcia indukowane wewnątrz obiektu chronionego, jeżeli

zastosujemy jednocześnie odpowiednie modyfikacje instalacji przewodzących.

2. WARUNKI SKUTECZNOŚCI LPS NA STATKU

Zbudowanie na statku LPS o określonej skuteczności działania wymaga spełnienia dwu podstawowych warunków:

- każde uderzenie pioruna musi być przejęte przez zwody urządzenia,
- odprowadzanie prądu pioruna do uziemienia obiektu musi zapewniać brak iskier wtórnych w układzie wewnętrznym statku.

Spełnienie pierwszego warunku jest stosunkowo proste. Po wyznaczeniu wymaganego poziomu ochrony dla statku, zależnego od przyjętego w projekcie ochrony zagrożenia piorunowego, należy zastosować znane zasady wyznaczania stref ochronnych, np. metody wskazane przez normę [1] – kąta ochronnego lub toczonej się kuli. Kierując się dodatkowo zaleceniami normy [2] można przyjąć, że dla obiektów mniejszych, o wysokości do 15 m (ponad najwyższą z wyznaczonych dla statku linii ładunkowych) wystarczy mniej precyzyjna metoda kąta ochronnego. Dla obiektów wyższych/większych, właściwsze będzie zastosowanie metody toczonej się kuli, bardziej rygorystycznej i dającej dokładniejsze wyniki w wyznaczaniu granic strefy ochronnej. Uzyskanie ochrony dla całego statku o większych rozmiarach będzie wymagało zaprojektowania bardziej skomplikowanego układu zwodów – na przykład zastosowania minimum dwu masztów wykonanych z nieprzewodzących materiałów oraz zawieszenia zwodów poziomych między masztami oraz od nich do dziobu i do rufy statku. Przy większej jego szerokości ewentualnie może być wymagany podwójny układ zwodów zawieszonych między masztami.

Spełnienie drugiego warunku jest związane z koniecznością zastosowania w projektowanym LPS wymaganych bezpiecznych odstępów izolacyjnych [1]. Uzyskanie takich odstępów w wyniku odsunięcia elementów LPS od części statku jest praktycznie niemożliwe z uwagi na występującą zwykle bardzo ograniczoną objętość obiektu oraz występujące w układzie znaczne wartości napięć. Realnym rozwiązaniem pozostaje więc, tylko zastosowanie izolowanych przewodów odprowadzających o odpowiednio dużej wytrzymałości udarowej izolacji. Wytrzymałość udarowa izolacji, rzędu kilkudziesięciu kilowoltów na milimetr, produkowanych aktualnie [5] takich przewodów wydaje się wystarczająca.

Słabymi punktami takiej instalacji będą zakończenia przewodów izolowanych, zarówno połączone u góry ze zwodami, jak i na dole z uziemieniem odgromowym, z uwagi na występujące w tych rejonach znaczne wartości natężenia pola elektrycznego i skłonność do rozwoju wyładowań powierzchniowych. Ważnym problemem jest również rola zanieczyszczeń, osiadających z czasem na zewnętrznej powierzchni izolacji przewodów, które mogą umożliwić przepływ prądu wzdłuż tej zanieczyszczonej powierzchni. Wymienione czynniki stanowią realne zagrożenie przebiciem izolacji zastosowanych przewodów. Niezbędne w tych miejscach będą odpowiednie wysokonapięciowe głowice o specjalnej konstrukcji, podobnej do głowic kablowych [3], likwidujące wspomniane niebezpieczeństwa.

Zastosowanie LPS z izolowanymi przewodami odprowadzającymi wyraźnie ogranicza, ale nie likwiduje całkowicie powstawania przepięć w chronionym obiekcie. Zagrożenia związane z przepięciami wynikają bowiem z

istnienia zbliżeń między uziemieniem odgromowym i ochronno-roboczym (jeżeli zastosuje się układ uziomów niezależnych) – czyli spadki uziemieniowe, jak również z nieuniknionych sprzężeń indukcyjnych między przewodami instalacji LPS i elementami przewodzącymi obiektu chronionego – przepięcia indukowane.

3. UZIEMIENIOWE SPADKI NAPIĘCIA

Do analizy roli uziemieniowych spadków napięcia w analizowanym LPS na statku można wykorzystać uproszczony schemat zastępczy pokazany na rysunku 1., dotyczący przypadku niezależnych uziemień odgromowego Z_1 i ochronno-roboczego Z_2 . Prąd piorunowy i_p przepływając przez uziemienie Z_1 o oporności R_1 daje spadek uziemieniowy o wartości:

$$U_R = R_1 i_p \quad (1)$$

Ze względu na sprzężenie rezystancyjne obu uziemień Z_1 i Z_2 o współczynniku k_z , na uziemieniu Z_2 występuje część potencjału uziemienia Z_1 o wartości:

$$U_Z = k_z U_R \quad (2)$$

czyli na odstępie B (rys. 1.) po wewnętrznej powierzchni burty wystąpi napięcie:

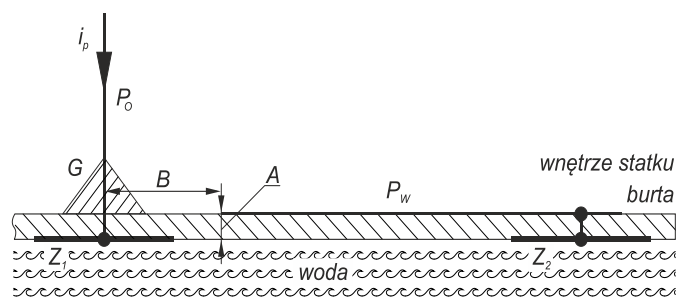
$$\Delta U_B = U_R - U_Z = U_R(1 - k_z) \quad (3)$$

W analogiczny sposób można wyznaczyć wartość napięcia działającego na burtę obiektu w miejscu A . Woda na zewnątrz burty statku w tym rejonie ma część potencjału uziemienia Z_1 o wartości wynikającej ze współczynnika sprzężenia k_A , czyli:

$$U_A = k_A U_R \quad (4)$$

a więc na burtę statku wykonanego z materiału izolacyjnego działa napięcie równe:

$$\Delta U_A = U_A - U_Z = U_R(k_A - k_z) \quad (5)$$



Rys. 1. Uproszczony schemat zastępczy fragmentu LPS na statku do analizy roli spadków uziemieniowych przy niezależnych uziemieniach odgromowym Z_1 i ochronno-roboczym Z_2 , P_o – izolowany przewód odprowadzający, P_w – przewód wewnętrzny obiektu prowadzony po wewnętrznej powierzchni burty, G – wysokonapięciowa głowica, pozostałe oznaczenia w tekście

Przykładowe obliczenia napięcia U_R pozwalające ocenić występujące zagrożenie dla różnych wartości rezystancji uziemienia R_1 oraz typowych wartości prądu piorunowego i_p (wynikających z zalecanych przez normę [1] klas LPS) zestawiono w tabelcy 1.

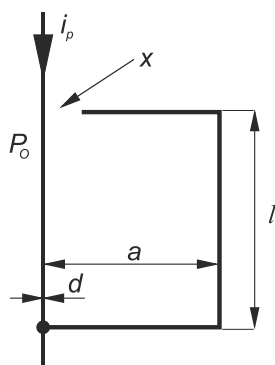
Wyznaczenie rzeczywistych wartości napięć wynikających ze sprzężeń rezystancyjnych działających na części obiektu chronionego wymaga znajomości wprowadzonych wyżej współczynników k_z i k_A , które mogą się zmieniać w szerokich granicach w zależności od rozmieszczenia i wymiarów uziomów oraz rodzaju zastosowanych na statku materiałów.

Tablica 1. Zestawienie szacunkowych wartości napięcia U_R w kV przy różnych wartościach rezystancji R_1 oraz prądu i_p

R_1, Ω	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	
i_p, kA	100	10	20	50	100	200	500
	150	15	30	75	150	300	750
	200	20	40	100	200	400	1000

Jak wynika z zależności (3) dla zbliżenia typu B, czyli wewnętrznego odstępów powierzchniowego między przewodem odprowadzającym a uzimionym przewodem instalacji wewnętrznej statku (rys. 1.), najbardziej niekorzystny jest przypadek małej wartości współczynnika k_z , ponieważ wtedy między osobnymi uzienieniami wystąpi maksymalna wartość spadku uzimieniowego, co grozi wystąpieniem przeskoku iskry w miejscu najmniej korzystnym.

Najsłabszym miejscem w tym układzie jest jednak przejście izolowanego przewodu odprowadzającego przez burtę jednostki do uziumu Z_1 – musi być tutaj zainstalowana wysokonapięciowa głowica kablowa o wytrzymałości udarowej rzędu kilkudziesięciu kilowoltów przy rezystancji uzimienia nie przekraczającej 1Ω , co wydaje się stosunkowo łatwym wymaganiami do osiągnięcia.



Rys. 2. Uproszczony schemat zastępczy do analizy roli spadku indukcyjnego [4] w instalacji LPS w przypadku pętli o wymiarach $a \times l$ połączonej z przewodem odprowadzającym P_o , pozostałe oznaczenia w tekście

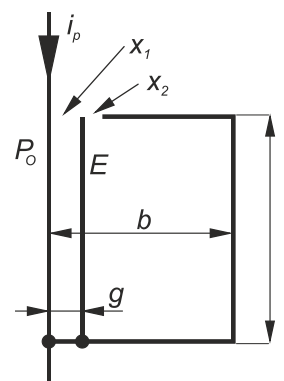
Bardziej krytyczne warunki występują na zbliżeniu typu A (rys. 1.), czyli odstępem prostym do burty jednostki w rejonie między uzimieniem odgromowym a przewodem instalacji wewnętrznej. Jak wynika z zależności (5) przy dużej wartości współczynnika sprzężenia k_A na burcie jednostki w pobliżu uzimienia odgromowego Z_1 może wystąpić znaczna wartość spadku uzimieniowego. Inaczej mówiąc taki układ nie zapewnia wymaganego ograniczenia napięcia między wodą a wnętrzem jednostki. Może nawet wystąpić sytuacja, że napięcia te są większe niż otrzymane w przypadku uzimień połączonych – gwarantujących zmniejszenie ich wypadkowej rezystancji.

Podsumowując można zauważyć, że wyraźne korzyści z zastosowania układu separowanych uzimień odgromowego i ochronno-roboczego uzyskuje się tylko wtedy, gdy uzimienie odgromowe zostanie zainstalowane w tej części jednostki, w

której nie ma przewodzących instalacji wewnętrznych. Jeżeli nie ma takiej możliwości, np. ze względu na ograniczone wymiary obiektu, a uzimienia muszą być separowane, to należy je połączyć przez iskiernik by wykluczyć możliwość wystąpienia niekontrolowanego łączenia iskrowego. W przeciwnym wypadku należy zastosować uzimienie wspólne zapewniające mniejszą rezystancję wypadkową.

4. PRZEPIĘCIA INDUKOWANE

Wykorzystując rozważania Szpora w monografii [4] dotyczące iskier wtórnych w instalacjach piorunochronnych można analizować rolę przepięć indukowanych w LPS proponowanym dla statków z tworzyw sztucznych. Do analizy wykorzystano uproszczone schematy zastępcze pokazane na rysunkach 2. i 3.



Rys. 3. Uproszczony schemat zastępczy do analizy roli spadku indukcyjnego [4] w instalacji LPS, w przypadku pętli o wymiarach $b \times l$ w odległości g od przewodu odprowadzającego P_o , pozostałe oznaczenia w tekście

W LPS z izolowanymi przewodami odprowadzającymi można wskazać dwa zasadnicze rodzaje spadków indukcyjnych:

- na indukcyjności przewodu odprowadzającego (rys. 2.) określone zależnością:

$$U_L = L \frac{di_p}{dt} \quad (6)$$

w której indukcyjność własną L przewodu odprowadzającego P_o można obliczyć jako:

$$L = L' l \quad L' = 0,2 \ln \frac{2a}{d} \quad (7)$$

- w pętlach utworzonych przez przewodzące elementy obiektu chronionego, przez które nie przepływa prąd piorunowy, znajdujące się w pobliżu przewodu odprowadzającego (rys. 3.) określone zależnością:

$$U_M = M \frac{di_p}{dt} \quad (8)$$

w której indukcyjność wzajemną M można obliczyć jako:

$$M = M' l \quad M' = 0,2 \ln \frac{b}{g} \quad (9)$$

Zasadnicze znaczenie dla wartości indukcyjnych spadków napięcia ma konstrukcja izolowanego przewodu odprowadzającego. Może to być przewód bez ekranu, z ekranem przewodzącym lub z ekranem półprzewodzącym.

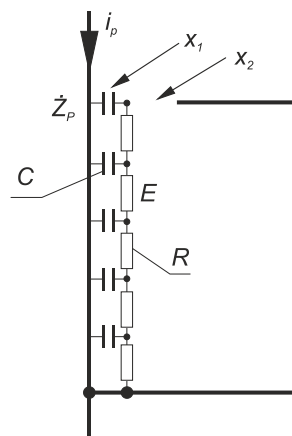
Pętle tworzone w obiekcie chronionym przez LPS z **izolowanym przewodem odprowadzającym bez ekranu**, czyli o konstrukcji typowego kabla elektroenergetycznego bez zewnętrznych elementów przewodzących, odpowiadają schematowi pokazanemu na rysunku 2. Żyłą przewodu P_o płynie prąd piorunowy i_p do wspólnego uziemienia odgromowego i ochronno-roboczego statku. Zbliżenie, narażone na iskrę wtórną, występuje w miejscu X . Jeżeli dla oszacowania wartości spadku napięcia przyjmujemy przykładowe wymiary elementów: $d = 8$ mm (przekrój 50 mm²) i $a = 1$ m, to możemy obliczyć, że indukcyjność jednostkowa $L' = 1,1$ μ H/m, co przy długości pętli np. $l = 3$ m i stromości prądu piorunowego $di_p/dt = 150$ kA/ μ s prowadzi do przepięcia o wartości $U_L = 495$ kV.

W analizowanym przykładzie miejsce zbliżenia X (rys. 2.) jest uwarstwionym szeregowo układem izolacji przewodu i powietrza, a więc praktycznie cała wartość napięcia będzie przypadać na warstwę powietrza – co na pewno doprowadzi do przeskoku w powietrzu i następnie do rozwoju wyładowań ślizgowych po powierzchni izolacji wzdłuż przewodu. Oczywiście można liczyć na wyraźne obniżenie rzeczywistej wartości przepięcia w stosunku do obliczonej powyżej, co wystąpi na większym statku, o np. dwu masztach i przy zastosowaniu kilku równoległych przewodów odprowadzających – ale wykluczenie wskazanego zagrożenia jest praktycznie niemożliwe.

Z kolei pętle tworzone w obiekcie chronionym przez LPS z **izolowanym przewodem odprowadzającym z ekranem przewodzącym**, czyli o konstrukcji typowego kabla z metalową żyłą powrotną, odpowiadają schematowi z rysunku 3. Metalowy ekran E i żyła robocza przewodu odprowadzającego P_o są przyłączone do wspólnego uziemienia odgromowego i ochronno-roboczego jednostki. Można założyć, że prąd piorunowy i_p będzie płynął wyłącznie żyłą przewodu odprowadzającego, jeżeli w jego górnym końcu połączonym ze zwodem, zastosuje się odpowiednią głowicę zabezpieczającą układ przed przeskokiem wyładowania powierzchniowego od zwodu do ekranu przewodu. Wystąpienie takiego przeskoku przy braku głowicy jest praktycznie pewne, z uwagi na bardzo niekorzystny rozkład pola elektrycznego (typu przepustowego) występującego w tym rejonie, jak również możliwość zanieczyszczenia/zawilgocenia powierzchni izolacji przewodu odprowadzającego P_o . Analizowane niebezpieczne zbliżenie narażone na iskry wtórne (rys. 3.), występuje w miejscu X_2 . Odstęp X_1 odpowiada grubości g izolacji przewodu. Jeżeli dla oszacowania wartości spadku napięcia przyjmujemy wymiary układu jak w obliczeniach poprzednich (czyli $b = a$, natomiast $g = 6$ mm np. według [5]), to otrzymamy, że indukcyjności jednostkowe są równe $L' = 0,18$ μ H/m oraz $M' = 0,92$ μ H/m, co prowadzi do przepięć o wartościach $U_L = 81$ kV i $U_M = 414$ kV.

W analizowanym układzie izolacja przewodu (miejsce X_1) na pewno nie jest zagrożona przebicciem, ale odstęp powietrzny X_2 jest narażony na działanie napięcia o znacznej wartości, podobnie jak w przykładzie poprzednim. Eliminuje to korzyści z zastosowania izolowanego przewodu odprowadzającego. Można oczywiście zwierać odstępy X_2 wewnątrz chronionego statku, łącząc instalacje wewnętrzne z ekranem kabla – nie będzie wyładowania odwrotnego, ale znaczna część całkowitego prądu piorunowego i_p odgałęzi się do instalacji wewnętrznych – praktycznie taka sama jak w przypadku zastosowania nieizolowanego przewodu odprowadzającego.

Przepięcia indukowane powstające w pętlach utworzonych w obiekcie chronionym przez LPS z **izolowanym przewodem odprowadzającym z ekranem półprzewodzącym** można analizować za pomocą schematu pokazanego na rysunku 4. uwzględniającego zmiany w układzie wynikające z zastosowania ekranu półprzewodzącego, wprowadzone do schematu z rysunku 3.



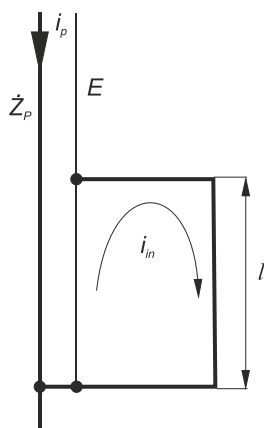
Rys. 4. Uproszczony schemat zastępczy do analizy przepięć indukowanych w instalacji LPS z izolowanym przewodem odprowadzającym o pojemności jednostkowej C , z żyłą Z_p i ekranem półprzewodzącym E o rezystancji jednostkowej R , pozostałe oznaczenia w tekście

Jeżeli w obliczeniach przepięć indukowanych dla tego przypadku przyjmujemy te same wymiary układu jak w przykładach poprzednich, to otrzymamy dla analizowanej pętli te same wartości jednostkowych indukcyjności własnej i wzajemnej. Jednak napięcie na izolacji przewodu (odstęp X_1) wypada znacznie niższe na skutek występowania spadku napięcia na rezystancji R ekranu, wynikającego z prądu ładującego pojemności jednostkowe C kabla. Jeżeli przyjmujemy do obliczeń parametry jednostkowe przewodu izolowanego o wartości $C' = 100$ pF/m i $R' = 10$ k Ω /m, to stała czasowa ładowania pojemności przewodu o długości kilku metrów wypada rzędu kilku mikrosekund, czyli jest porównywalna z czasem czoła prądu piorunowego 10/350 μ s. Tak więc, w czasie czoła udaru prądowego praktycznie całe napięcie wystąpi na rezystancji ekranu wzdłuż przewodu dodając się do napięcia występującego na odstępie X_1 , czyli w efekcie napięcie występujące na odstępie X_2 będzie takie jak w przypadku LPS z przewodem odprowadzającym z ekranem przewodzącym.

Eliminacja iskier wtórnych w takim układzie wymaga zwarcia odstępu X_2 , całe przepięcie indukcyjne wystąpi wtedy na izolacji przewodu tak jak w przypadku przewodu z ekranem przewodzącym, ale wartości prądów i_{in} wpływających do wnętrza obiektu w obu przypadkach będą wyraźnie różne. W układzie z ekranem półprzewodzącym (rys. 5.) prąd i_{in} będzie ograniczony przez rezystancję R ekranu (występującą na odcinku ekranu włączonym w analizowaną pętlę), a stopień ograniczenia będzie tym większy im większą rezystancję jednostkową będzie miał zastosowany w przewodzie ekran. Przy rezystancji ekranu co najmniej 1 k Ω /m i przyjętych w poprzednich obliczeniach danych obliczeniowych można liczyć na ograniczenie prądu udarowego i_{in} do poziomu zaledwie kilkudziesięciu amperów, czyli poziomu o wartości niegroźnej dla większości eksploatowanych urządzeń elektronicznych.

Zastosowanie półprzewodzącego ekranu daje również istotne ograniczenie skłonności do rozwoju iskier ślizgowych

na powierzchni przewodu, ponieważ działanie rezystancji ekranu powoduje wyrównanie osiowego rozkładu napięcia w miejscach uziemienia ekranu.



Rys. 5. Uproszczony schemat zastępczy do analizy prądu indukowanego i_{in} w instalacji LPS z izolowanym przewodem odprowadzającym o pojemności jednostkowej C , z żyłą Z_p i ekranem półprzewodzącym E o rezystancji jednostkowej R , pozostałe oznaczenia w tekście

W analizowanym LPS na statku z tworzywa sztucznego i z masztami nieprzewodzącymi należy zastosować kilka równoległych izolowanych przewodów odprowadzających z ekranem półprzewodzącym, tak aby w wyniku podziału całkowitego prądu wyładowania atmosferycznego między poszczególne przewody zmniejszyć wartość występujących w układzie przepięć indukcyjnych.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza możliwości zastosowania do ochrony odgromowej statków z tworzywa sztucznego LPS z izolowanymi przewodami odprowadzającymi pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zbudowanie układu LPS na statku z uziemieniem odgromowym separowanym od innych jego uziemień jest możliwe pod warunkiem zapewnienia wewnątrz jednostki stref wolnych od metalowych instalacji, odległych o kilka metrów od uziemień odgromowych. Podobną odległość należy zachować między separowanymi uziemieniami. W przeciwnym przypadku między wodą a wnętrzem statku

wystąpią znaczne napięcia udarowe. Lepszym rozwiązaniem jest jednak równoległe łączenie uziemień dające znaczne zmniejszenie wartości ich wypadkowej rezystancji.

2. Okrętowy LPS z izolowanymi przewodami odprowadzającymi z ekranem półprzewodzącym w porównaniu z LPS z przewodami nieizolowanymi daje znaczne ograniczenie przepięć indukcyjnych na przewodzących instalacjach wewnątrz statku. Izolacja przewodów powinna mieć odpowiednio dobraną wytrzymałość udarową, a ekran rezystancję jednostkową co najmniej kilka kiloomometrów na metr. Miejsca zbliżeń do przewodzących instalacji wewnętrznych należy połączyć z ekranem przewodów.

3. Na górnych zakończeniach izolowanych przewodów odprowadzających należy zainstalować odpowiednie wysokonapięciowe głowice kablowe o wytrzymałości udarowej dobranej do wytrzymałości izolacji przewodów.

4. Ograniczenie występujących w układzie LPS przepięć zapewnia równoległa współpraca kilku izolowanych przewodów odprowadzających, przy czym ich liczba zależy od ich długości.

BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 62305-3:2009P *Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia*. ISBN 978-83-251-7564-1.
2. ISO 10134:2003 *Small craft. Electrical devices. Lighting protection systems*.
3. Flisowski Z.: *Technika wysokich napięć*. WNT, Warszawa, 2005. ISBN 83-204-3077-1.
4. Szpor S.: *Ochrona odgromowa*. Tom 3. WNT, Warszawa, 1978.
5. DEHN. *Lightning protection guide*. 2007. ISBN 3-00-015975-4.
6. PRS. *Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich. Część VIII. Urządzenia elektryczne i automatyka*. Gdańsk, 2014.
7. PN-IEC 92-401:1994/A2:200P *Instalacje elektryczne na statkach. Wykonanie i badanie instalacji*.
8. PRS. Publikacja nr 8/I. *Ochrona statków od wyładowań atmosferycznych*. Gdańsk, 1984.
9. PRS. *Przepisy klasyfikacji i budowy jachtów morskich. Część V. Urządzenia elektryczne*. Gdańsk, 2013.

APPLICATION OF LIGHTNING PROTECTION SYSTEM WITH INSULATED DOWN CONDUCTORS FOR PLASTIC VESSELS

The paper discusses specifics of the lightning protection system on the plastic vessels. It is indicated the using possibility of the LPS with the insulated down conductors and non-conducting masts of the protected vessel. Such a system ensures significant reduction of the lightning current value flowing through the object elements, drastic reduction of the surge inducted at the vessel internal systems, as well as the ability to work of the LPS with the separated lightning and protective grounding systems.

Keywords: insulated down conductor, lightning protection system, plastic vessel.