
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

ZESZYTY NAUKOWE
INSTYTUTU AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

ZASTOSOWANIE CZUJNIKÓW CIŚNIENIA DO IDENTYFIKACJI OBCIĄŻENIA KOŁOWYCH POJAZDÓW WOJSKOWYCH FALĄ UDERZENIOWĄ WYBUCHU

Piotr Saska¹, Edyta Kania²

¹Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, im. gen. T. Kościuszki we Wrocławiu,
Zakład Inżynierii Wojskowej, piotrsaska@wp.pl

²Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Mechaniki Stosowanej,
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, Edyta.Kania@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe aspekty wpływu oddziaływania fali uderzeniowej wybuchu na kołowe pojazdy wojskowe, wykorzystywane w obecnych działaniach zbrojnych w Iraku i Afganistanie oraz jej wpływ na konstrukcje pojazdów. Zidentyfikowano również parametry działania fali powstałej w wyniku eksplozji. Ponadto, na podstawie przykładowych badań eksperymentalnych zaprezentowano możliwości zastosowania czujników ciśnienia do identyfikacji omawianego zjawiska.

1. Wstęp

Podstawowym środkiem walki współczesnych konfliktów zbrojnych są ładunki wybuchowe. Największe zagrożenie dla pojazdów specjalnych i ich załóg stanowią miny lądowe, a w szczególności improwizowane urządzenia wybuchowe. W zależności od masy ładunku i rodzaju inicjacji, połączenie fali wybuchu oraz powstałych odłamków prowadzi do impulsowego obciążenia dna pojazdu. Impuls ten w kilka milisekund skutkuje wysokim przyspieszeniem, powodującym urazy, a nawet śmierć załogi. Konstrukcja pojazdów obciążona falą uderzeniową zmienia rozkład naprężeń, co przejawia się jej wychyleniem z położenia równowagi oraz odkształceniem plastycznym. Zatem standardem nowoczesnych konstrukcji pojazdów wojskowych, poruszających się w strefie konfliktu zbrojnego, jest zapewnienie odpowiedniego poziomu ochrony balistycznej. Podstawowym dokumentem określającym wymagania, co do ochrony balistycznej jest STANAG 4569. Istotą rozwoju metod i środków ochrony przeciwminowej jest identyfikacja wpływu oddziaływania fali uderzeniowej na konstrukcje pojazdu oraz jego załogę. Zasadniczymi parametrami fali uderzeniowej, wpływającymi na powstawanie zagrożeń dla otoczenia są impuls nadciśnienia i nadciśnienie fali uderzeniowej. Problem wyznaczania parametrów fali uderzeniowej wybuchu, powstałej po detonacji ładunków o różnej masie, kształcie oraz właściwościach fizyko – chemicznych, jest przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych.

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest przedstawienie możliwości zastosowania czujników ciśnienia do identyfikacji parametrów fali uderzeniowej wybuchu na konstrukcje kołowych pojazdów wojskowych, wykorzystywanych w działaniach bojowych w Afganistanie i Iraku.

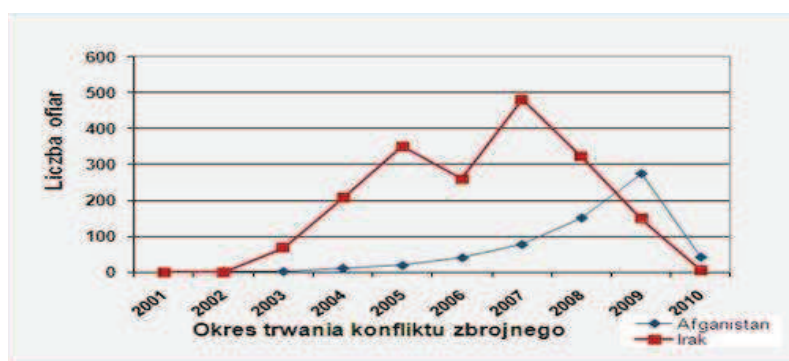
Zakres pracy obejmuje:

- analizę oddziaływania wybuchu min lądowych i improwizowanych urządzeń wybuchowych na pojazdy wojskowe i ich załogę,
- charakterystykę parametrów fali uderzeniowej wybuchu,

- przedstawienie możliwości zastosowania czujników ciśnienia PCB Piezotronics do identyfikacji parametrów fali uderzeniowej wybuchu.

3. Wpływ fali uderzeniowej wybuchu na kołowe pojazdy specjalne

W ciągu kilku lat trwania walk w Iraku i Afganistanie liczba ataków z użyciem min lądowych oraz improwizowanych urządzeń wybuchowych IED na wojska koalicji znacznie wzrosła. W ich wyniku śmierć poniosło lub zostało rannych wielu żołnierzy (rys. 1). Konstrukcja pojazdów wojskowych, wykorzystywanych w strefie działań zbrojnych, narażona jest na oddziaływanie fali uderzeniowej powstałej w wyniku wybuchu min lądowych oraz prowizorycznych ładunków wybuchowych pod kołami, kadłubem lub z boku pojazdu. Tego typu zagrożenia wymusiły określenie wymagań w zakresie ochrony balistycznej lekkich samochodów opancerzonych, wprowadzanych na wyposażenie sił zbrojnych.



Rys. 1. Liczba żołnierzy wojsk koalicyjnych w Iraku i Afganistanie, którzy zginęli w wyniku eksplozji IED i innych ładunków wybuchowych w latach 2001-2010 [1, 2]

W odpowiedzi na zaistniałą sytuację państwa, których wojska walczą w Iraku i Afganistanie, wprowadziły na wyposażenie pojazdy tzw. MRAP (Mine Resistant Ambush Protected), zapewniające poruszającym się nimi żołnierzom ochronę przed generowaną, przez detonację min i prowizorycznych urządzeń wybuchowych, falę uderzeniową wybuchu.

4. Parametry identyfikujące działanie fali uderzeniowej wybuchu

Podstawowymi parametrami fali uderzeniowej, określającymi jej mechaniczne oddziaływanie są:

- maksymalne nadciśnienie na czole fali uderzeniowej: $\Delta p^+ = p^+ - p_0$,
- maksymalne podciśnienie fali uderzeniowej: $p^- = p_0 - p_{..-}$,
- czas oddziaływania fazy nadciśnienia i podciśnienia,
- impuls ciśnienia [3].

Dodatkowo, jako charakterystykę fali uderzeniowej wyznacza się dodatni i ujemny impuls ciśnienia, będący całkami po czasie nadciśnienia i podciśnienia.

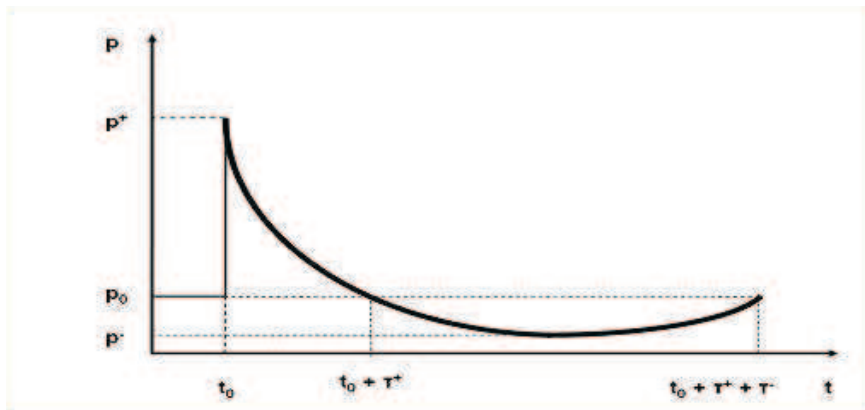
p_0 – wartość ciśnienia niezaburzonego ośrodka;

p^- – minimalna wartość ciśnienia fali uderzeniowej;

τ^- - czas trwania ujemnej fazy ciśnienia.

t_0 – moment rejestracji czoła fali uderzeniowej;

τ^+ - czas trwania dodatniej fazy impulsu ciśnienia. [3]



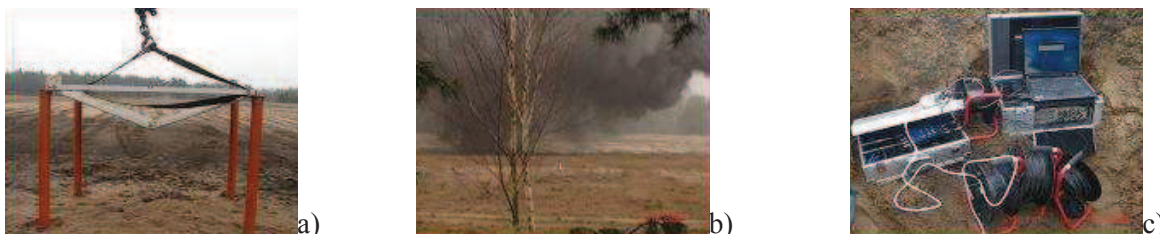
Rys. 2. Przebieg zmiany wartości ciśnienia w czasie [3]

5. Badania eksperymentalne

Czujniki ciśnienia można podzielić na dwie grupy:

- czujniki ciśnienia fali padającej, mierzące ciśnienie niezakłóconej fali mijającej swobodnie czujnik,
- czujniki ciśnienia odbitego, zazwyczaj wmontowywane w płaskie powierzchnie, na których następuje spiętrzenie fali [6].

Podczas przeprowadzania prób poligonowych, polegających na pomiarze parametrów fali uderzeniowej generowanej podczas detonacji ładunków wybuchowych, zastosowano czujniki ciśnienia PCB Piezotronics Inc. serii 138A. W połączeniu z odpowiednio szybkimi rejestratorami pozwalają na wyznaczenie przebiegu, zmiennych w czasie, wartości ciśnienia w ośrodku, wynikających z przejścia fali w wybranym punkcie przestrzeni.



Rys. 3. Eksperyment badawczy polegający na pomiarze charakterystyki fali uderzeniowej wybuchu: a) badany obiekt, b) wybuch ładunku c) zestaw oprzyrządowania do rejestracji pomiarów

Czujniki te są tak skonstruowane, że umożliwiają rejestrowanie nadciśnienia fali uderzeniowej przechodzącej. Są czujnikami elektromechanicznymi, przetwarzającymi ciśnienie czyli stosunek działającej siły do powierzchni elementu czynnego czujnika, na proporcjonalny sygnał napięciowy. Wyjściowy sygnał napięciowy uzyskiwany jest poprzez wykorzystanie efektu piezoelektrycznego [5].



Rys. 4. Czujniki ciśnienia PCB Piezotronics Inc. serii 138a zastosowane w badaniach doświadczalnych do identyfikacji parametrów fali uderzeniowej wybuchu

6. Podsumowanie

Problem oddziaływania fali uderzeniowej na pojazdy wojskowe jest zagadnieniem złożonym. Jego rozwiązanie wymaga znajomości wielu zagadnień z zakresu teorii fal uderzeniowych oraz jej wpływu na obiekty rzeczywiste. Zaprezentowana metodyka badań pozwala wyznaczyć parametry fali uderzeniowej wybuchu. Najistotniejszą kwestią w przypadku analizy oddziaływania fali uderzeniowej na pojazdy specjalne jest przeprowadzenie badań doświadczalnych i poligonowych.

Prace te mają na celu identyfikację wpływu oddziaływania fali uderzeniowej na konstrukcję pojazdu oraz jego załogę, co jest istotą rozwoju metod i środków ochrony przeciwwminowej.

Przystępując do dalszych badań doświadczalnych należy uwzględnić wnioski:

- charakterystyki fali uderzeniowej wybuchu zależą nie tylko od kształtu ładunku wybuchowego, ale również od odległości od niego oraz miejsca ustawienia (na lub pod powierzchnią gruntu, rodzaj gruntu - piaszczysty, gliniasty);
- w przypadku, gdy fala odbija się od przeszkody, ulega spiętrzeniu i wartość ciśnienia może wielokrotnie wzrosnąć (wartość ciśnienia zależy od kąta jej padania na obciążaną konstrukcję);
- wartość ciśnienia odbitego od płyty, której powierzchnia jest równoległa do ładunku wybuchowego, odwzorowują rozwiązania numeryczne otrzymane w przypadku ładunku sferycznego.

Literatura

1. Livingston I. S., Messera H. L., O'Hanlon M.: Reconstruction & Security in Post-9/11 Afghanistan, [online]. [Dostęp: 20.03.2010]. Dostępny w Internecie: www.brookings.edu/~media/Files/Programs/FP/afghanistan%20index/index.pdf.
2. Iraq Index, Tracking Variables of Reconstruction & Security in Post-Saddam Iraq, [online]. [dostęp: 20.03.2010]. Dostępny w Internecie: <http://www.brookings.edu/saban/~media/Files/Centers/Saban/Iraq%20Index/index.pdf>.
3. Kuczaj A. K.: Modelling of detonation products scattering from a cylindrical explosive charge, [online]. [dostęp: 20.03.2010]. Dostępny w Internecie: http://www.kuczaj.pl/pages/msc/akuczaj_MastersThesis.pdf.
4. Paszula J., Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J.: Zdolność do wykonywania pracy górniczych materiałów wybuchowych w teście wybuchu podwodnego „Górnictwo i Geoinżynieria”, 2004, Rok 28, Z. 3/1, s. 385 - 396,
5. Rosenkiewicz D.: Określenie dynamiki wybuchu środków pirotechnicznych. Praca naukowo-badawcza. Wrocław 2005.
6. Smith P. D., Hetherington J. G.: Blast and ballistic Loading of Structures. Oxford 2003.

APPLICATION OF THE PRESSURE SENSORS FOR IDENTIFICATION OF LOAD OF A WHEELED MILITARY VEHICLES BY SHOCK WAVE

Summary: In the article the main aspect of the identification of a shock wave load on the wheeled military vehicles, used in current hostilities in Iraq and Afghanistan, were introduced. Moreover, the influence of shock wave load on a vehicle structure and shock wave parameters were discussed. On the base of exemplary, experimental research possibilities of pressure sensors application for identification of discussed phenomena were presented.

ZASTOSOWANIE CZUJNIKÓW CIŚNIENIA DO IDENTYFIKACJI OBŁĄŻENIA KOŁOWYCH POJAZDÓW WOJSKOWYCH FAŁĄ UDERZENIOWĄ WYBUCHU

Piotr SASKA*, Edyta KANIA**
 * Zakład Inżynierii Wojskowej, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki we Wrocławiu
 ** Katedra Mechaniki, Stosowanej, Politechniki Śląskiej

WSTĘP

Charakterystyczną cechą konfliktów zbrojnych początku XXI wieku jest użycie ładunków wybuchowych jako zasadniczego środka walki z posiadającym przewagę technologiczną przeciwnikiem. Miny lądowe oraz improwizowane urządzenia wybuchowe są obecnie najsukceszniejszą, śmiercionośną bronią w niesymetrycznych konfliktach zbrojnych. Najbardziej znanym konfliktem tego typu jest wojna w Iraku i Afganistanie. Wojska państw NATO, biorąc udział w działaniach zbrojnych w obu krajach, poniosło technologiczną dominację w sprzęcie i uzbrojeniu ponadzą stosunkowo duże straty, będące wynikiem eksplozji min lądowych oraz improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED). Po detonacji urządzeń wybuchowych, w zależności od masy ładunku i rodzaju inicjacji, powstające połączenia fali wybuchu oraz powstających obłoków powoduje impulsowo obciążenie ciała pojazdu, impuls ten w kilka milisekund trwa i jest wysłany przyspieszeniem powodując urazy a nawet śmierć załogi. Wpływ fali uderzeniowej na konstrukcję pojazdów wojskowych jest przedmiotem badań w wielu ośrodkach naukowych. W ostatnich latach w wyniku rozwoju technologii czujników ciśnienia, coraz częściej wykorzystuje się czujniki ciśnienia do identyfikacji obłazów i ładunków wybuchowych. W niniejszym artykule przedstawiono możliwości zastosowania czujników ciśnienia PCB Piezotronics do identyfikacji parametrów fali uderzeniowej wybuchu i ładunku wybuchowego. Dokumentem stanowiącym podstawę do oceny balistycznej jest STANAG 4569.

CELI ZAKRES PRACY

Celem pracy jest przedstawienie możliwości zastosowania czujników ciśnienia do identyfikacji parametrów fali uderzeniowej wybuchu na konstrukcje kołowych pojazdów wojskowych, wykorzystywanych w działaniach bojowych w Afganistanie i Iraku.

- Zakres pracy obejmuje:
- analizę oddziaływania wybuchu min lądowych i improwizowanych urządzeń wybuchowych na pojazdy wojskowe i ich załogi,
 - charakterystykę parametrów fali uderzeniowej wybuchu,
 - przedstawienie zastosowania czujników ciśnienia PCB Piezotronics do identyfikacji parametrów fali uderzeniowej wybuchu.

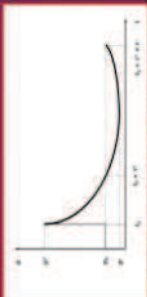
WPLYW FALI UDERZENIOWEJ WYBUCHU NA KOŁOWE POJAZDY SPECJALNE

Stosowana przez ugrupowania terrorystyczne taktyka polegająca na prowadzeniu działań nierównych i partyzanckich, których głównym celem są przemieszczające się pojazdy i ich załogi spowodowała, że zasadniczą kwestią do rozwiązania dla państw, których wojska walczą w Iraku i Afganistanie, stała się ochrona pojazdów wojskowych. W celu ochrony pojazdów i prowadzących ich żołnierzy, w Iraku i Afganistanie stosowano ładunki wybuchowe, w ciągu kilku lat twierdzenia urządzeń wybuchowych IED na wojska koalicji rosła w dużym tempie. W ich wyniku śmierć poniosło lub zostało rannym wielu żołnierzy wojsk koalicji. Konstrukcja pojazdów wojskowych, wykorzystywanych w strefie działań zbrojnych narodziła się na oddziaływanie fali uderzeniowej, powstającej w wyniku wybuchu min lądowych oraz prowadzących ładunków wybuchowych pod kołami, kadłubem lub z boku pojazdu. Tego typu zagrożenia wymusiły stworzenie odpowiednich wytycznych dla konstrukcji pojazdów, które miałyby być odporne na oddziaływanie fali uderzeniowej, wywołanej przez wybuch ładunku wybuchowego.



Rys. 1. Liczba żołnierzy wojsk koalicyjnych w Iraku i w Afganistanie, którzy zginęli w wyniku działań bojowych w latach 2001-2010

PARAMETRY IDENTYFIKUJĄCE OBŁĄŻENIE FAŁĄ UDERZENIOWĄ WYBUCHU



Rys. 5. Przebieg zmiany wartości ciśnienia w czasie

Podstawowymi parametrami fali uderzeniowej, określającymi jej mechaniczne oddziaływanie są:

- maksymalne nadszcienienie na czole fali uderzeniowej: $\Delta p = p - p_0$,
- maksymalne podciśnienie fali uderzeniowej: $\Delta p = p_0 - p$,
- czas trwania fazy nadszcienienia i podciśnienia.

Dodatkowo jako charakterystykę fali uderzeniowej wyznacza się dodatni i ujemny impuls ciśnienia, będący całkami z nadszcienienia i podciśnienia po czasie.

- p_0 – wartość ciśnienia atmosferycznego otoczenia;
- p – ciśnienie w punkcie pomiaru;
- t – czas trwania (przez) fazy ciśnienia;
- L – moment replacji czuła fali uderzeniowej;
- T – czas trwania dodatniej fazy impulsu ciśnienia;
- T' – czas trwania ujemnej fazy impulsu ciśnienia;

PODSUMOWANIE

Podczas przeprowadzenia prób poligonowych, polegających na pomiarze parametrów fali uderzeniowej, generowanej podczas detonacji ładunków wybuchowych zastosowano czujniki ciśnienia PCB Piezotronics Inc. serii 136A. W połączeniu z odpowiednio szybkimi rejestratorami pozwalają one wyznaczyć przebieg w czasie zmian ciśnienia w ośrodku wynikających z przejścia fali w wybranym punkcie przestrzeni. Czujniki ciśnienia można podzielić na dwie grupy:

- czujniki ciśnienia fali padającej, mierzące ciśnienie nieskierowanej fali mijającej swobodnie czujnik,
- czujniki ciśnienia odbitego, zaczynając mierzony w płaszczyźnie odbicia, na której następuje spójrzanie fali.

Czujniki ciśnienia fali odbitego, zaczynają mierzony w płaszczyźnie odbicia, na której następuje spójrzanie fali. Czujniki ciśnienia fali odbitego, zaczynają mierzony w płaszczyźnie odbicia, na której następuje spójrzanie fali. Czujniki ciśnienia fali odbitego, zaczynają mierzony w płaszczyźnie odbicia, na której następuje spójrzanie fali.

Wartość ciśnienia odbitego, od płytki, której powierzchnia jest równoległa do ładunku wybuchowego, oddają, rozciągania numeryczne otrzymane dla ładunku sterczynowego.



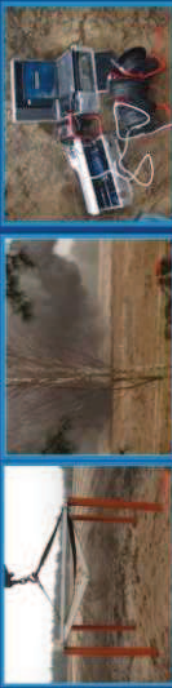
Rys. 2. Przekłady uszkodzonego pojazdu terenowego, zniszczonego przez eksplozję ładunku wybuchowego



Rys. 3. Przekłady uszkodzonego pojazdu terenowego, zniszczonego przez eksplozję ładunku wybuchowego (ładunek 80 kg)

Rys. 4. Wymaganie emulodporności oraz odłamkodporności pojazdów według umowy standardyzacyjnej STANAG 4569

BADANIE EKSPERYMENTALNE



Rys. 5. Stanowisko badawcze



Rys. 6. Ładunek wybuchowy

Rys. 7. Przykłady zastosowania czujników ciśnienia PCB Piezotronics do identyfikacji parametrów fali uderzeniowej wybuchu