

ppłk dr inż. **Marcin KLOSKE**¹
mgr inż. **Marzena PEPCZYŃSKA**²

Przyjęty/Accepted: 24.07.2013; Zrecenzowany/Reviewed: 04.09.2013; Opublikowany/Published: 30.09.2013

NAHELMOWE WYŚWIETLACZE INFORMACYJNE I AUTOMATYCZNE UKŁADY OCHRONY WZROKU

Helmet-mounted Displays and Automatic Systems of Sight Protection

Streszczenie

W pracy opisano możliwości zastosowania zaawansowanych technologii ciekłokrystalicznych w hełmach ochronnych ratowników. Zasadnicza część artykułu jest poświęcona nahełmowym wyświetlaczom informacyjnym HMD. Urządzenia tego rodzaju umożliwiają, w zależności od stopnia zaawansowania, wyświetlenie informacji alfanumerycznej, graficznej lub wideo przed twarzą ratownika. Ma to szczególne znaczenie w przypadku silnie ograniczonej widoczności w trakcie akcji ratunkowo-gaśniczej, np. w warunkach znacznego zadymienia. Wyświetlana informacja może dotyczyć rozkładu pomieszczeń w budynku, lokalizacji źródeł ognia, położenia osób poszkodowanych, a także ogólnego przebiegu akcji i komend ze stanowiska dowodzenia akcją. Dzięki temu ratownik jest znacznie lepiej zorientowany w sytuacji i może prowadzić skuteczniejsze działania. Ważnymi cechami HMD są: przezierność elementu wyświetlającego, umożliwiająca niezakłóconą obserwację wzrokową otoczenia przy jednoczesnym odczytywaniu przekazywanej informacji oraz niska masa zapewniająca komfort użytkowania hełmu. Omówiono podstawowe typy konstrukcji HMD stosowanych obecnie na świecie z uwzględnieniem układów rzutujących i mikrowyświetlaczy. Sformułowano możliwe niedogodności stosowania różnych rozwiązań HMD z punktu widzenia osobniczych cech wzroku ratownika. Zaproponowano wyposażenie co najmniej jednego członka zespołu ratowniczo-gaśniczego w hełm ochronny zawierający HMD. Wspomniano o możliwości wykorzystania HMD w układach trenerów wykorzystujących rzeczywistość wirtualną. W drugiej części artykułu omówiono wykorzystanie efektów elektrooptycznych występujących w ciekłych kryształach do budowy automatycznych systemów ochrony wzroku ratownika przed promieniowaniem świetlnym o dużym natężeniu, jakie może zaistnieć np. w wyniku wybuchu substancji pirotechnicznych lub palnych oraz na skutek celowego działania osób trzecich. Przedstawiono podstawy działania takich systemów oraz nowe możliwości ich konstrukcji w oparciu o najnowsze wyniki badań. Podkreślono możliwość opracowania obu dyskutowanych układów nahełmowych w warunkach krajowych.

Summary

This paper describes possibilities of an application of advanced liquid-crystal technologies in rescuer protective helmets. The main part of the paper is devoted to helmet-mounted-displays – HMD. Such devices make able, depending on the advancement level, visualization of alphanumeric, graphic or video information directly in front of the user face. This is especially important in case of extremely limited visibility during rescue and fire extinguishing action, e.g., under conditions of severe smoke. Visualized information may contain location of rooms and victims in the building, fire sources, moreover the general course of the action and orders from the commanding point. For this reason the rescuer is much better oriented in situation and can act more effectively. The important features of HMD are its transparence enabling undisturbed visual observation of the environment with reading of obtained information at the same time as well as low weight providing the comfort of helmet usage. The article describes the main types of HMD construction including projecting systems and microdisplays used worldwide nowadays. The possible disadvantages of different HMD types are presented from a rescuer's individual vision features point of view. The authors proposed to equip at least one member of the rescue team in helmet with HMD. Furthermore, it is also mentioned adopting HMD in training systems using virtual reality. The second part of the article discusses an application of electrooptical effects observed in liquid crystals for construction of automatic sight protection systems against radiation of high intensity light. Such flash can be caused by the explosion of pyrotechnic combustible materials moreover as the effect of third person action. The paper presents the principle of action of such systems as well as new possibilities based on the latest research results. The possibility of development of both discussed systems by Polish teams is underlined.

¹ Centralny Ośrodek Analizy Skażeń, ul. Radiowa 49, 01-499 Warszawa, Polska; wkład merytoryczny – 50% / Contamination Analysis Centre [editor's own translation]; Poland; the authors contributed equally to this work

² Instytut Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej, 00-908 Warszawa, Polska, tel. 22-683-9731, mpepczynska@wat.edu.pl; wkład merytoryczny – 50% / Military University of Technology; Poland;

Słowa kluczowe: wyświetlacze informacyjne, akcja ratowniczo-gaśnicza, ochrona wzroku;

Keywords: information displays, rescue and fire extinguishing action, sight protection;

Typ artykułu: artykuł przeglądowy;

Type of article: review article;

1. Wstęp

Wyspecjalizowane wyświetlacze informacyjne indywidualnego użytku: projekcyjne (*head-up displays* – HUD) i nahełmowe (*helmet-mounted displays* – HMD) pojawiły się najpierw w wojskowej technice lotniczej, a następnie w lotnictwie cywilnym i pojazdach samochodowych [1]. Powodem ich powstania była konieczność ciągłego dostarczania szczególnie ważnej informacji wizualnej pilotom, którzy jednocześnie musieli obserwować wzrokowo otoczenie. Inaczej mówiąc, pilot wyposażony w te urządzenia nie jest zmuszony do ciągłego zwracania wzroku w kierunku tablicy przyrządów. W wielu współczesnych samolotach bojowych, np. F/A-18, F-22, Eurofighter) używane są zarówno wyświetlacze typu HUD, jak i HMD, aczkolwiek najnowocześniejszy myśliwiec amerykański F-35 Lightning II zaprojektowano z wykorzystaniem wyłącznie HMD pilota. Przykładowe rozwiązania wyświetlaczy HUD i HMD pokazano na ryc. 1.

Tego typu systemy są również bardzo interesujące z punktu widzenia służb ratowniczych, ze względu na konieczność sprawnego działania w warunkach ograniczonej widoczności, np. silnego zadymienia, a zatem ograniczenia możliwości wzrokowego rozpoznania sytuacji.



Ryc. 1. Przykładowe rozwiązania wyświetlaczy informacyjnych typu HUD (po lewej) i HMD, stosowanych w samolotach F-16 i F-18 [2,3]

Fig. 1. The examples of HUD (left) and HMD information displays used in F-16 and F-18 fighters

Nawet w tak trudnych warunkach wyczerpujące informacje o otoczeniu i aktualnej sytuacji oraz rozkazy przełożonego powinny docierać do wykonawcy natychmiast i bez zakłóceń. Jedną z najważniejszych możliwości realizacji tego zadania jest właśnie zastosowanie wyświetlaczy HMD, dzięki którym operator ma możliwość uzyskania informacji nie tylko akustycznej, ale także wzrokowej, dotyczącej istotnych warunków wykonywanego zadania (np. rozkładu pomieszczeń w budynku) oraz sytuacji taktycznej (przyczyn i zakresu zagrożenia, szkód, obecności i położenia poszkodowanych itp.).

Z drugiej strony uczestnik akcji ratowniczej może być narażony na działanie silnych źródeł promieniowania świetlnego, np. podczas wybuchów substancji palnych i pirotechnicznych, co może w istotny sposób zaburzyć proces wzrokowej percepcji sytuacji taktycznej. Wynika stąd potrzeba zastosowania rozwiązań chroniących ratownika przed takim zagrożeniem.

2. Wyświetlacze HMD

Konstrukcję urządzeń zobrazowania informacji zintegrowanych z hełmem bądź okularami ochronnymi poprzedziło wprowadzenie systemów wyświetlających informację na powierzchni przezroczystej (HUD) – w szczególności na przedniej szybie statków powietrznych – zwłaszcza samolotów bojowych, a nawet samochodów wyższej klasy. Umożliwiały one obserwację otoczenia przy jednoczesnym dostarczeniu informacji szczególnie istotnych dla użytkownika. Rozwój technologii pozwolił na zastosowanie podobnego rozwiązania, początkowo dla pojedynczego żołnierza, a następnie również strażaków i pracowników (członków) innych służb ratowniczych, w postaci systemu wizualizacji informacji stanowiącego integralną część hełmu ochronnego i zwanego w skrócie wyświetlaczem HMD.

Celem wyświetlaczy HMD jest natychmiastowe dostarczenie użytkownikowi danych o znaczeniu krytycznym dla wykonania zadania w postaci wizualnej przy jednoczesnym zachowaniu możliwie pełnej zdolności wzrokowej obserwacji otoczenia. We wspomnianym przykładzie pilot ma przed oczami dane o np. prędkości, wysokości, położeniu względem horyzontu czy obecności celu, a jednocześnie w niezakłócony sposób może obserwować otoczenie.

Ratownik wchodzący do zadymionego lub pozbawionego oświetlenia obiektu często nie ma pełnej orientacji co do rozkładu pomieszczeń, dróg przeemieszczania i ewakuacji, miejsc prawdopodobnego

pobytu uszkodzonych oraz ewentualnych zagrożeń. Tę informację w postaci głosowej może pozyskać drogą radiową, ale rodzi to zagrożenie powstawania zniekształceń informacji, w postaci błędnego odsłuchania lub niepełnego zrozumienia, zwłaszcza w sytuacjach krytycznych, a także konieczność polegania w znacznym stopniu na wyobraźni, która w takiej sytuacji może nie być najlepszą podstawą do podjęcia właściwej decyzji. Właśnie z tego powodu dodatkowa informacja wizualna jest bardzo pożądana, gdyż pozwala na obiektywny przekaz i odczyt danych wymaganych do prowadzenia skutecznej akcji ratowniczej.

Nahelmowe systemy wizualizacji informacji – HMD mogą odbierać i przetwarzać zarówno informacje i rozkazy od dowódcy akcji, jak i zbierać dane z czujników, które mogą być umieszczone na kombinezonie ratownika (np. z detektorów substancji niebezpiecznych) lub w innych miejscach (np. z kamer). Te informacje przetworzone przez procesor są wizualizowane przed oczami użytkownika – proces ten może być zrealizowany na kilka sposobów.

Pierwszym z nich jest rzutowanie obrazu na przezroczystą osłonę hełmu (przyłbicę), która powinna odbijać wyłącznie światło o określonej barwie, tej właśnie, która ma nieść informację dla użytkownika. Ten system, zaczerpnięty z wyświetlaczy HUD, pozwala na ogół na wyświetlenie informacji monobarwnej, a ponadto o niezbyt wysokiej rozdzielczości. Nadaje się zatem do przekazywania prostych informacji alfanumerycznych i graficznych, czyli tekstu, piktogramów i innych znaków bądź schematów. Zaletą takiego rozwiązania jest natomiast możliwość jego implementacji w dotychczas stosowanych hełmach ochronnych.

Drugim rozwiązaniem, obecnie coraz częściej stosowanym, jest zastosowanie przeziernego mikrowyświetlacza informacyjnego umieszczonego przed jednym z oczu użytkownika lub nawet przed oboma z nich. W tym przypadku możliwe jest zobrazowanie barwne o wysokiej rozdzielczości, a zatem przekazanie użytkownikowi znacznie bardziej złożonej informacji, np. krótkich plików filmowych obrazujących konstrukcję obiektu czy obrazów pozyskanych za pomocą kamery pracującej w zakresie podczerwieni, która również może być zintegrowana z hełmem. Obraz barwny pozwala ponadto na wyróżnienie informacji szczególnie istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa ratownika i skuteczności akcji ratunkowej.

Od wielu lat prowadzone są także badania nad dostarczeniem informacji bezpośrednio na soczewkę oka za pomocą wiązek laserowych małej mocy. Wydaje się jednak, że ten sposób może być źródłem istotnych zaburzeń percepcji [4,5] wzrokowej użyt-

kownika i, jak na razie, nie jest powszechnie stosowany.

Na chwilę obecną jedynie dwa rozwiązania mogą posłużyć do konstrukcji wyświetlaczy HMD: technologia ciekłokrystaliczna (*Liquid Crystal Display* – LCD) oraz świecące diody organiczne (*Organic Luminescence Diodes* – OLED). Zdecydowana większość obecnie produkowanych urządzeń wykorzystuje ten pierwszy wariant. Jego zaletami są niski pobór mocy, bardzo dobra jakość zobrazowania, pomijalny wpływ na wzrok i samopoczucie użytkownika oraz stosunkowo niska cena. Należy jednak podkreślić, że wyświetlacze OLED są również perspektywiczne, gdyż wymagają mniej złożonego układu optycznego ze względu na to, iż działają w trybie aktywnym (emitują światło), podczas gdy przetworniki ciekłokrystaliczne są jedynie modulatorami światła.

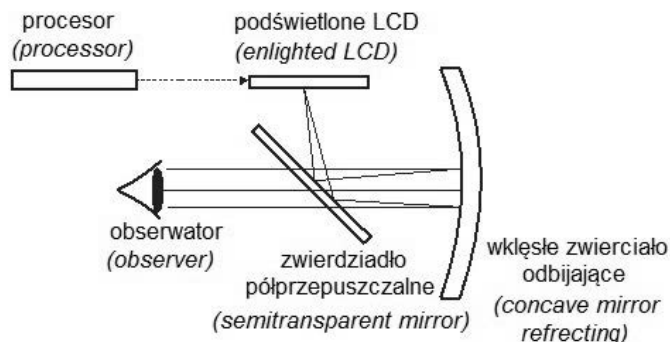
Warto tu wspomnieć, że prototyp hełmu dla ratowników zaopatrzony w HMD z wyświetlaczem ciekłokrystalicznym opracowano w ramach unijnego projektu HEMIND, w którym uczestniczyli również naukowcy z Wojskowej Akademii Technicznej [6].

Typowy ciekłokrystaliczny system HMD składa się z trzech elementów głównych (Ryc. 2 i 3), stosowanych we wszystkich dotychczasowych generacjach tych urządzeń:

- procesor wbudowany w konstrukcję hełmu ochronnego ma za zadanie pozyskiwanie i przetwarzanie danych z centrum kierowania akcją i z ewentualnych czujników oraz generowanie przetworzonego obrazu (informacji) na ekranie,
- przezierny ekran, który może mieć formę płaskiej lub wygiętej przezroczystej szyby, ewentualnie mikrowyświetlacza informacyjnego (okularu) umieszczonego przed okiem; umożliwi on wyświetlenie informacji, przy jednoczesnej niezakłóconej obserwacji wzrokowej otoczenia, może jednocześnie pełnić rolę ochrony wzroku użytkownika, przed ewentualnymi zagrożeniami zewnętrznymi, np. omówionym dalej błyskiem świetlnym.
- system zobrazowania, którym może być układ rzutowania obrazu na ekran, działający w trybie odbiciowym, stosowany jedynie w przypadku generowania informacji na szybie ochronnej hełmu, lub modulator światła wykorzystywany w przypadku mikrowyświetlaczy.

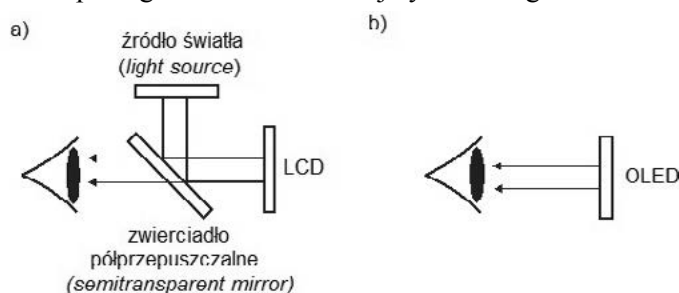
Dzięki niewielkiej masie HMD komfort użytkownika hełmu przez ratownika nie odbiega od normy. W szczególnych przypadkach stosuje się jedynie okulary ochronne, które dodatkowo mogą być wyposażone w układ optyczny powiększający obraz. W obu przypadkach daje to możliwość obserwacji informacji nie tylko cyfrowych lub tekstowych (al-

fanumerycznych), ale również wyświetlenia obrazu z kamer, plików filmowych czy animacji, prezentujących np. rozkład pomieszczeń w budynku z możliwością obrotu trójwymiarowego z jednoczesnym zobrazowaniem położenia użytkownika i lokalizacji osób poszkodowanych, źródeł ognia itp.



Ryc. 2. Schemat konstrukcji typowego wyświetlacza HMD
Fig. 2. The scheme of a construction of typical HMD

Zaawansowane wyświetlacze HMD mogą być wyposażone w systemy śledzenia ruchów gałek ocznych użytkownika wykorzystywane do sterowania położeniem kamer lub innych urządzeń, a także systemy wzmacniania obrazu w warunkach obniżonej widoczności, np. w nocy. Obecnie rozważa się wykorzystanie technik holograficznych dla uzyskania pełnego zobrazowania trójwymiarowego.



Ryc. 3. Zasada działania mikrowyświetlaczy:
a) modułujący z przetwornikiem LCD,
b) emisyjny z przetwornikiem OLED

Fig. 3. The principle of microdisplay action
a) modulating with LCD transducer,
b) emissive with OLED transducer

Zasadniczą cechą współczesnych wyświetlaczy HMD jest mały ciężar i konstrukcja nieutrudniająca użytkownikowi wykonywanie ruchów głowy.

Szczególnie istotnymi z punktu widzenia użytkownika parametrami wyświetlaczy HMD są: kąt widzenia determinujący pole obserwacji, który nie powinien być niższy niż 50 stopni kątowych w poziomie oraz kątowa rozdzielczość widzenia, która z kolei powinna wynosić co najmniej 4,4 minuty kątowe na piksel (najmniejszy element informacyjny) wyświetlacza. Ta ostatnia wartość jest równoważna obserwacji monitora o przekątnej 17 cali i rozdzielczości 800 x 600 z odległości 65 cm.

Warto tu zauważyć, że przyjmuje się, iż obserwator może poprawnie ocenić głębię obrazu, jeżeli kąt widzenia jest większy niż 20 stopni, aczkolwiek stopień percepcji jest cechą osobniczą. Typowa zdolność rozdzielcza oka ludzkiego wynosi około 1 minuty kątowej na najmniejszy rozróżnialny element obrazu (piksel), dla konkretnego użytkownika wartość ta może jednak różnić się o kilkadziesiąt procent.

Z punktu widzenia użytkownika istnieją trzy sposoby wyświetlenia obrazu w HMD:

- monoskopowy, gdy informacja jest obserwowana tylko jednym okiem; ten sposób jest stosowany w szczególności w przypadku okularów z pojedynczym mikrowyświetlaczem.
- biskopowy, gdy obydwójce oczu widzi tę samą informację; rozwiązanie takie jest typowe dla rzutowania obrazu na szybę hełmu lub okularów ochronnych z dwoma mikrowyświetlaczami,
- biskopowy, gdy obrazy obserwowane przez oczy są nieznacznie różne, co umożliwia realizację obrazu trójwymiarowego – 3D, a zatem stereoskopową ocenę głębi obrazu; ten rodzaj wyświetlenia informacji jest obecnie intensywnie badany ze względu na najbardziej realistyczne przedstawienie informacji wzrokowej.

Istotnym problemem dla użytkowników HMD jest to, że ustalona konstrukcyjnie odległość widzenia nie zawsze zgadza się z rzeczywistymi właściwościami wzroku konkretnej osoby, tzw. bodźcem konwergencyjnym wzroku spowodowanym przez krótko- lub długowzroczność. Nawet osoby pozbawione wad wzroku mogą mieć początkowo trudności z poprawnym odczytem informacji, co jest spowodowane akomodacją (dostosowaniem ostrości widzenia) oraz konwergencją (pozycją gałek ocznych) wzroku. Te zjawiska mogą powodować zdecydowane obniżenie ostrości widzenia, a nawet zaburzenia neurologiczne związane z brakiem korelacji między rzeczywistym obrazem a reakcją mózgu na sygnał wzrokowy. Uzyskanie poprawnej akomodacji jest zazwyczaj możliwe na drodze systematycznego treningu [7], jednak często obserwuje się zmęczenie akomodacyjne utrudniające dalszą obserwację w trakcie długotrwałego użytkowania wyświetlaczy stereoskopowych [8].

Warto podkreślić, że wyświetlacze HMD obecnie szeroko wykorzystuje się do zobrazowania sytuacji wirtualnej w systemach trenerów. W tym przypadku znalazła już zastosowanie technika zobrazowania trójwymiarowego. Dzięki temu ratownik działający podczas ćwiczeń w realnych warunkach terenowych widzi hipotetyczną sytuację, jaka mogłaby zaistnieć w czasie rzeczywistej akcji ratowniczej i podejmować odpowiednie decyzje oraz ćwiczyć właściwe zachowania [9]. W tym przypad-

ku obserwacja wzrokowa otoczenia jest zablokowana, a użytkownik widzi jedynie obraz wirtualny, wzbogacony o bodźce słuchowe przy zachowaniu rzeczywistych wrażeń dotykowych.

3. Automatyczne układy ochrony wzroku

Silny impuls świetlny wywołany wybuchem materiałów wysokoenergetycznych lub np. promieniowaniem lasera może spowodować czasowe, a w drastycznych przypadkach nawet trwale uszkodzenie wzroku ratownika. Innymi słowy może co najmniej na pewien czas wyłączyć ratownika z akcji lub znacznie ograniczyć sprawność jego działania. W celu uniknięcia takiego zagrożenia stosuje się automatyczne środki ochrony wzroku reagujące na pojawienie się zagrożenia (błysku świetlnego) w czasie umożliwiającym ochronę narządu wzroku [10].

Urządzenia tego rodzaju pojawiły się najpierw w wojskach krajów rozwiniętych w celu ochrony przed impulsem świetlnym wybuchu jądrowego czy konwencjonalnego ładunku, w szczególności przeznaczonego do porażenia wzroku, a następnie przed promieniowaniem laserowym. W ostatnich latach wzrosło zagrożenie działaniami terrorystycznymi, pojawia się zatem możliwość prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczych w takich warunkach. Coraz częściej donosi się o wypadkach porażenia przez „dowcipnisiów” wzroku pilotów i kierowców promieniowaniem laserowym [11], co może przelo-

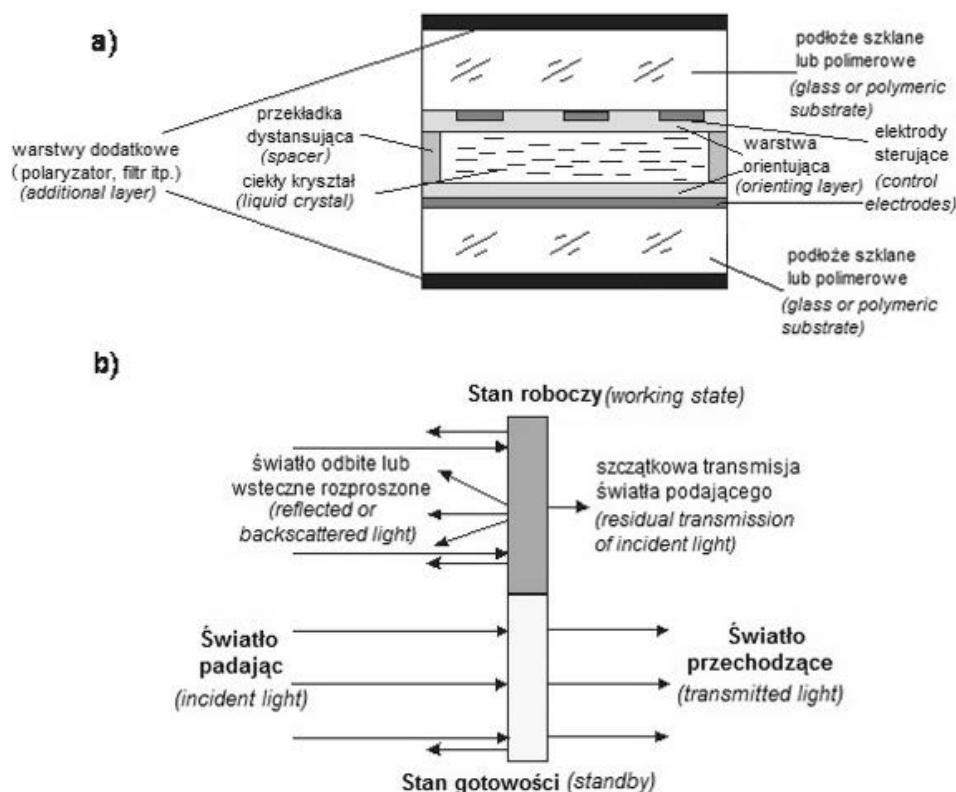
żyć się na działania sabotażowe, zwłaszcza w warunkach akcji ratunkowej po akcie terrorystycznym. Wydaje się zatem, że problem ochrony wzroku ratownika przed promieniowaniem świetlnym o nadmiernej energii staje się bardzo istotny.

Początkowo w tym celu stosowano przesłony mechaniczne, które jednak nie spełniały wymagań, gdyż były albo zbyt wolne, albo jednorazowego użytku, co oznaczało przynajmniej chwilową utratę zdolności obserwacji otoczenia do czasu usunięcia przesłony.

Obecnie jako elementy czynne automatycznych środków ochrony wzroku stosuje się przede wszystkim przetworniki ciekłokrystaliczne wykorzystujące różne efekty elektrooptyczne występujące w ciekłych kryształach. Pewną odmianą urządzeń tego rodzaju są automatyczne przyłbice spawalnicze przeznaczone do ochrony wzroku podczas spawania elektrycznego.

Przetwornik tego rodzaju ma za zadanie zapewnić dobrą widzialność otoczenia w sytuacji normalnej, bez zagrożenia oraz maksymalne zaciemnienie pola widzenia w przypadku wystąpienia błysku świetlnego o natężeniu zagrażającym ratownikowi. Ze względów ergonomicznych powinien być on zintegrowany z szybą hełmu lub okularów ochronnych.

W zależności od zastosowanego efektu elektrooptycznego światło padające o natężeniu przekraczającym założoną wartość jest tłumione, odbijane



Ryc. 4. a) Budowa przetwornika ciekłokrystalicznego stosowanego w filtrze optycznym do ochrony wzroku, b) zasada działania filtra ciekłokrystalicznego

Fig. 4. a) Construction of liquid-crystal transducer used in optical filter for sight protection, b) the principle of action of liquid-crystal filter

lub rozpraszane wstecznie. Nie wnikając w szczegóły fizyczne tych efektów elektrooptycznych można stwierdzić, że wszystkie one wykorzystują możliwość sterowania właściwościami optycznymi cienkiej (~10 μm) warstwy ciekłego kryształu za pomocą napięcia o wartości kilku woltów. Pozwala to na przełączenie od transparentnego stanu gotowości (wyłączonego) do nieprzezroczystego stanu roboczego w czasie rzędu co najmniej pojedynczych milisekund po otrzymaniu sygnału alarmowego z czujnika natężenia światła. Na ryc. 4 przedstawiony jest schemat budowy i zasada działania takiego urządzenia.

Istotnym ograniczeniem pierwszych generacji ciekłokrystalicznych układów ochrony wzroku było wykorzystanie klasycznych efektów elektrooptycznych wymagających światła spolaryzowanego, takich jak wykorzystywane w monitorach ciekłokrystalicznych, gdzie jednak stosuje się silne podświetlenie. Zastosowanie polaryzatorów powoduje bowiem zmniejszenie transparentności przetworników przeciwnych o ponad połowę, co oznacza, że w stanie gotowości widzialność jest znacznie ograniczona. Dopiero w ostatnim czasie odkryto nowe zjawiska elektrooptyczne, niewymagające stosowania polaryzatorów, które wkrótce staną się podstawą konstrukcji kolejnej generacji automatycznych układów ochrony wzroku działających w czasie rzędu mikrosekund.

4. Wnioski

Postęp technologii w latach ostatnich umożliwił konstrukcję hełmów ochronnych przeznaczonych dla ratowników, wyposażonych w zaawansowane systemy zobrazowania informacji, a także automatyczne systemy ochrony wzroku przed silnym impulsem promieniowania świetlnego, przy zachowaniu możliwości obserwacji wzrokowej otoczenia oraz komfortu użytkownika hełmu.

Urządzenia tego rodzaju umożliwiają dostarczenie użytkownikowi dodatkowej informacji wizualnej ułatwiającej skuteczne prowadzenie akcji ratowniczej.

Celowe jest wyposażenie przynajmniej niektórych członków zespołów ratowniczych w sprzęt tego rodzaju, przydatny do działania w warunkach silnego zadymienia lub innych czynników utrudniających lub uniemożliwiających obserwację wzrokową.

Wydaje się możliwe opracowanie krajowego rozwiązania nahałmowych wyświetlaczy informacyjnych oraz automatycznych systemów ochrony wzroku w oparciu o technologię ciekłokrystaliczną. Opracowanie i produkcja krajowych rozwiązań HMD są możliwe ze względu na dobrze rozwiniętą bazę badawczą w Wojskowej Akademii Technicznej i doświadczenia technologiczne Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów oraz firmy Maskpol S.A., związane z konstrukcją hełmów zawierających przetworniki ciekłokrystaliczne.

Literatura

1. Burch D. P., Braasch M.S., *Enhanced head-up display for general aviation aircraft*, Proceedings of AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference, 2002, Vol. 2, 11C61-11C611.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/File:HUD_view.jpg.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Joint_Helmet_Mounted_Cueing_System.jpg.
4. Schor C. M., Task L., *Effects of Overlay Symbolology in Night Vision Goggles on Accommodation and Attention Shift Reaction Time*, Aviation, „Space and Environmental Medicine”, 1996, 67, 1039–1047.
5. Inoue T., Ohzu H., *Accommodation and Convergence When Looking at Binocular 3D Images*, [in] *Human Factors in Organizational Design and Management III*, K. Noro and O. Brown, Jr. (eds), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1990, 249–252.
6. http://cordis.europa.eu/projects/rcn/63972_en.html.
7. Swanson E. A., Izatt A., Hee, M. R., Huang D., Lin P., Schuman J. S., Puliafito C. A. *In vivo retinal imaging by optical coherence tomography*, „Optics Letters”, 1993, 1 (21), 1864-1866.
8. Liang J., Williams D. R., Miller D. T., *Supernormal vision and high-resolution retinal imaging through adaptive optics*, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 14, No. 11, November 1997 2884-2892.
9. Hua H., Gao Ch., *A compact eyetracked optical see-through head-mounted display*, Proc. SPIE 8288, Stereoscopic Displays and Applications XXIII, 82881F (February 9, 2012); doi:10.1117/12.909523; <http://dx.doi.org/10.1117/12.909523>.
10. Kloske M., Kłosowicz S. J., *Modern battlefield and new materials for eye protection*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, 2010, (3), 355-374.
11. *JetBlue pilot's eye damaged in laser pointer attack on cockpit while he was landing... as blinding flashes from the ground grow at alarming rate*, „Daily Mail Online”, July, 17, 2012.

pplk dr inż. Marcin Kloske ukończył Wojskową Akademię Techniczną w 1996 roku, a następnie obronił doktorat przed radą Wydziału Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej WAT w 2003 r. Aktualnie pełni służbę wojskową na stanowisku Szefa Wydziału Reagowania Centralnego Ośrodka Analizy Skazań. Zainteresowania naukowe obejmują ciekłe kryształy i ich zastosowania oraz nowoczesne metody analizy instrumentalnej do identyfikacji skażeń.

mgr inż. Marzena Pępczyńska ukończyła studia na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie. Obecnie jest doktorantką na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej. Jej zainteresowania obejmują kompozyty polimerowe i ich aplikacje oraz nanotechnologię.