

Artur MAZUR

ŁADOWARKA KOPALNIANA Z SYSTEM CAN-BUS

Streszczenie: Wprowadzenie do górniczych maszyn kołowych, z napędem spalinowym, silników spełniających wymogi określone dla poziomu emisji spalin STAGE IIIA, stało się podstawą do wdrożenia nowego systemu sterowania i komunikacji o zwiększonej odporności na warunki podziemnej eksploatacji złóż rud miedzi.

Zastosowano system sterowania z użyciem magistrali CAN-BUS z protokołem komunikacyjnym ISO-SAE J1939. Wprowadzony system sterowania i monitoringu maszyny podlega procesowi stałej modernizacji ze względu na coraz większe doświadczenia w zakresie eksploatacji w warunkach górniczych oraz z powodu zmieniających się potrzeb klienta w zakresie ostatecznej konfiguracji maszyny.

Ostatecznym celem modernizacji jest stworzenie całkowicie mechatronicznej ładowarki. Wymaga to nie tylko zmiany elementów wykonawczych, ale przede wszystkim optymalizacji systemu sterowania i kontroli. W artykule przedstawiono obecną konfigurację systemu CAN-BUS oraz zasady jej aplikacji z uwzględnieniem warunków górniczych oraz przyjęte koncepcje optymalizacji systemu pod kątem stworzenia mechatronicznej ładowarki kopalnianej.

Słowa kluczowe: maszyny mobilne, mechatronika, górnictwo

1. WSTĘP

W roku 2007, DFM Zanam-Legmet Sp. z o.o. w Polkowicach, rozpoczęła seryjną produkcję ładowarek kopalnianych wyposażonych w zintegrowane układy mechatroniczne na bazie magistrali typu CAN-BUS, z wykorzystaniem protokołu komunikacyjnego wg standardu ISO / SAE J1939. Jest to prawdopodobnie pierwsza polska tego typu ładowarka kopalniana.

2. MECHATRONIKA A EKSPLOATACJA ŁADOWAREK KOPALNIANYCH PRZEGUBOWYCH

Wg ASME [1] Mechatronics „Mechatronika to synergiczna kombinacja mechaniki, elektroniki, automatyki i informatyki. Wszystkie te dyscypliny są zintegrowane w jeden proces projektowy. Mechatronika łączy proces podejmowania skomplikowanych decyzji z funkcjonowaniem systemów fizycznych. Unikalna funkcjonalność systemów mechatronicznych jest determinowana przez oprogramowanie informatyczne” [1].

Ładowarka kopalniana jest z reguły maszyną mobilną przegubową, która ze względu na konieczność dostosowania do ekstremalnych warunków eksploatacyjnych oraz złożoną funkcjonalność, jest dobrym przykładem produktu, w którym mogą mieć zastosowanie układy mechatroniczne.

Do składowych warunków eksploatacji, nazwanych powyżej ekstremalnymi, należą:

- a. praca w warunkach ograniczonej widoczności (ładowarka podlega dodatkowym obciążeniom dynamicznym wynikającym z uderzeń ładowarką o ociosy wyrobisk),
- b. niestandardowe obciążenia łyżki układu roboczego związane z wykorzystywaniem ładowarki jako obrywaka i równiarki,

- c. stała temperatura otoczenia powyżej 33 °C z wilgotnością powietrza kopalnianego powyżej 95%,
- d. konieczność bezwzględnego stosowania kabin klimatyzowanych operatorów,
- e. praca nawet do 24 h na dobę (non-stop), a stąd konieczność zasilania układu klimatyzacji kabiny i układu elektrycznego oświetlenia poprzez pracujący silnik spalinowy (rozwiązanie standardowe),
- f. agresywne środowisko ze względu na zasolenie wód kopalnianych (brak odporności na korozję elementów wykonanych ze stopów aluminium),
- g. wymagania dotyczące emisji spalin i hałasu zgodne z normami górniczymi i europejskimi odnoszącymi się do niedrogowych maszyn mobilnych.

Wprowadzenie od 2006 r. nowych wymagań w zakresie emisji spalin maszyn niedrogowych, wymusiło wprowadzenie silników spalinowych zgodnych z zapisami „dyrektywy spalinowej” Unii Europejskiej dla poziomu STAGE III A. Silniki spalinowe przemysłowe przeznaczone do zastosowań mobilnych, spełniające ww. normę są powszechnie sterowane i monitorowane przez elektroniczne jednostki mikroprocesorowe (np. typu „EMR” dla silników firmy DEUTZ). Komunikacja z tymi jednostkami sterującymi jest standardowo możliwa z wykorzystaniem protokołu ISO / SAE J1939.

Oprócz sterowania pracą silnika i monitorowania jego stanu, możliwa jest również realizacja specjalizowanych, opcjonalnych funkcji, tj.:

- a. elektroniczne sterowanie prędkością obrotową silnika tzw. „e-gaz”,
- b. podwyższanie prędkości „wolnych obrotów” silnika ze względu na dodatkowe obciążenia wynikające z włączenia dodatkowych odbiorników,
- c. warunkowe ograniczanie obrotów maksymalnych silnika,
- d. inna charakterystyka pracy silnika ,
- e. praca ze stałą prędkością obrotową silnika dla zmiennego obciążenia (w pewnych wybranych zakresach obciążeń).

Nowe warunki eksploatacyjne maszyn kopalnianych, związane głównie z wydłużoną pracą maszyn (od 18 do 24 h/ dobę), zmieniły również wymagania względem stosowanych do tej pory rozwiązań technicznych dla maszyn kopalnianych. Koncentrują się one na następujących zagadnieniach:

- A. Obniżenie całkowitej emisji spalin,
- B. Obniżenie emisji ciepła,
- C. Zwiększenie niezawodności maszyn oraz skrócenie czasu przestojów serwisowych,
- D. Zwiększenie wydajności układów chłodzenia silników, zmienników oraz skraplaczy,
- E. Zaawansowane sterowanie pracą wentylatorów układu chłodzenia silnika i zmiennika,

Spełnienie powyższych wymagań możliwe jest jedynie poprzez zastosowanie rozwiązań mechatronicznych zwiększających poziom kontroli poszczególnych zespołów maszyny. Umożliwiają one realizację działań synergicznych oraz wprowadzania nowych rozwiązań funkcjonalnych np.: opcji START&STOP dla silnika spalinowego czy bardziej skomplikowanych systemów typu „mild hybryd” przyczyniających się do zmniejszenia emisji ciepła i spalin. Prototyp ładowarki z ww. funkcjami został zaprezentowany na Targach EXPO-MINING 2008 (Sosnowiec – Kraków). Wstępne obliczenia wykazały, że zastosowanie funkcji „START&STOP” wraz z napędem elektrycznym kompresora systemu klimatyzacji kabiny umożliwi redukcję emisji ciepła na poziomie, co najmniej 10 MW w ciągu pierwszego roku eksploatacji ładowarki w warunkach podziemnej kopalni rudy miedzi.

3. SYSTEMY MECHATRONICZNE DOSTĘPNE NA RYNKU POLSKIM DLA CYWILNYCH ROZWIĄZAŃ MOBILNYCH

Na rynku polskim obecne są co najmniej cztery komercyjne systemy przeznaczone dla cywilnych rozwiązań mobilnych, oparte na technologii CAN-BUS:

- BODAS™ (znak towarowy Bosh – Rexroth AG Germany) [2],
- KIBES™ (znak towarowy Siemens VDO Automotive AG Germany) [3],
- IQAN™ (znak towarowy Parker Hannifin Corporation USA) [4],
- PLUS+1™ (znak towarowy SAUER-DANFOSS USA) [5].

Wszystkie powyższe rozwiązania mogą pracować wg protokołu komunikacyjnego ISO / SAE J1939, jak również wg protokołu CANopen zgodnie ze standardami CiA.

Dla potrzeb produktów wytwarzanych przez DFM Zanam-Legmet Sp. z o.o., wybrano rozwiązanie firmy SAUER-DANFOSS. Jednymi z głównych przyczyn wyboru systemu PLUS+1™ były: wysoki stopień ochrony wszystkich komponentów systemu (IP67) oraz brak aluminium w konstrukcji zewnętrznych osłon modułów sterujących systemu PLUS+1™.

4. PIERWSZA POLSKA ŁADOWARKA KOPALNIANA Z SYSTEMEM CAN-BUS – LKP-903

Głównym produktem firmy DFM Zanam-Legmet Sp. z o.o., oprócz wozów odstawczych, są ładowarki serii 0900 o ładowności od 9 do 11 t. Ze względu na konieczność modernizacji ww. produktów, polegającej na wprowadzeniu nowych silników, zgodnych ze standardem STAGE IIIA, aplikacji nowej kompaktowej kabiny dla operatorów oraz innego systemu zawieszenia członu napędowego, wprowadzono nową wersję ładowarki o oznaczeniu LKP-0903. Zakres modernizacji, a w szczególności niewielka szerokość kabiny, wymusił zmianę układu sterowania ładowarki, a w konsekwencji zmianę całego układu elektrycznego maszyny. Postanowiono więc, po analizie dostępnych rozwiązań komercyjnych oraz potencjału konstrukcyjnego firmy wprowadzić **bez fazy prototypowania** nowy układ komunikacji oraz sterowania oparty na sieci CAN-BUS, z wykorzystaniem systemu PLUS+1™ firmy SAUER - DANFOSS.

- a) Założenia konstrukcyjne dla układu sterowania i monitoringu maszyny:
- b) budowa modułowa układu,
- c) wprowadzenie elektronicznego sterowania silnikiem poprzez sieć CAN-BUS za pomocą sterownika pedałowego tzw. E-GAZu,
- d) minimalizacja pulpitu sterowniczego oraz poprawienie ergonomii stanowiska operatora,
- e) unifikacja podzespołów oraz oprogramowania tak, aby rozwiązanie opracowane dla ładowarki LKP-0903 mogło być zaaplikowane we wszystkich pozostałych produktach DFM Zanam-Legmet Sp z o.o. z uwzględnieniem analiz ekonomicznych,
- f) zbudowanie interfejsu graficznego komunikacji systemu z operatorem maszyny na zasadzie piktogramów,
- g) opracowanie własnego interfejsu serwisowego,
- h) skonstruowanie skrzynek sterowniczych z systemem wymiany powietrza i odprowadzania wilgoci oraz odpornych na przypadkowe uderzenia odłamków skalnych.

- i) opracowanie sterowania sygnalizacją świetlną maszyny bezpośrednio z modułów systemu PLUS+1™,
- j) wprowadzenie tzw. „klimatyzacji automatycznej” kabiny z wykorzystaniem modułów systemu PLUS+1™,
- k) stworzenie rzeczywistego częściowego modelu systemu elektrycznego w celu testowania oprogramowania oraz badania reakcji poszczególnych odbiorników – układ testowy.

Wszystkie powyższe założenia konstrukcyjne zostały zrealizowane dla pierwszych dwóch egzemplarzy maszyn LKP-0903. W kolejnych ładowarkach, wprowadzono dodatkowe ulepszone oprogramowanie oraz dodatkowe elementy układu, takie jak:

- a) nowe oprogramowanie drogomierza,
- b) prędkościomierz,
- c) nowe czujniki ciśnień układu zmiennika momentu w systemie napędowym ładowarki,
- d) dodatkowe diagnostyczne czujniki układu klimatyzacji,
- e) rozszerzony interfejs serwisowy z możliwością kalibracji czujników ciśnień,
- f) zegar czasu rzeczywistego z wyróżnieniem czasu zimowego i letniego,
- g) zmodernizowane czujniki temperatury piast napędowych.

W celu określenia optymalnej struktury systemu mechatronicznego ładowarki, zastosowano metodę DSM (Design Structure Matrix)[6] służącą do definiowania struktur modułowych. Ostateczna modułowa struktura układu mechatronicznego ładowarki przedstawiona została na rysunku nr 1.



Rys. 1. Modułowa struktura układu mechatronicznego ładowarki LKP-0903

Układ mechatroniczny ładowarki LKP-0903 składa się z czterech modułów.

1. EMR – jednostka sterująca silnika spalinowego (STAGE III A) – wyposażenie oryginalne silnika.
2. MS1 – moduł sterujący związany z członem roboczym ładowarki.
3. MS2 – moduł sterujący związany z członem napędowym ładowarki.
4. MS3 – moduł sterujący główny układu mechatronicznego ładowarki.

Konstrukcja techniczna modułów MS1 i MS2 jest identyczna. Różnią się jedynie zainstalowanym oprogramowaniem w poszczególnych modułach.

Moduł główny MS3 jest wyświetlaczem LCD, który jest jednocześnie panelem komunikacyjno – sterującym, przeznaczonym dla operatora i serwisu fabrycznego. Moduł MS3 został przedstawiony na rys. nr 2.



Rys. 2. Moduł MS3 – pulpit sterujący ładowarki LKP-0903 wraz z panelem LCD

Tworząc oprogramowanie dla modułu sterującego MS3, przyjęto założenie, że komunikacja z operatorem zostanie ograniczona do piktogramów, ze względu na to, że w realnych warunkach eksploatacyjnych utrudnione jest czytanie opisów tekstowych. Jednocześnie ze względów ergonomicznych zredukowano ilość przycisków sterujących, znajdujących się poza panelem LCD poprzez maksymalne wykorzystanie przycisków oryginalnego panelu systemu PLUS+1™.



Rys. 3. Pulpit sterujący ładowarki TORO 7 firmy SANDVIK (Finlandia) [7]

W porównaniu z najnowszymi wyrobami innych producentów, udało się zminimalizować ilość przycisków sterujących. Rys. 3 przedstawia pulpit sterujący ładowarki TORO 7 firmy SANDVIK MINING and CONSTRUCTION OY (Finlandia) wyposażonej w układ z magistralą CAN-BUS [7].

Jak łatwo zauważyć, pulpit ładowarki TORO wyposażony jest w 24 przyciski funkcjonalne oraz 5 przycisków na wyświetlaczu. W ładowarce LKP-0903 z kolei na pulpicie sterującym znajduje się 10 przycisków funkcjonalnych poza wyświetlaczem oraz 14 przycisków na wyświetlaczu, z czego wykorzystywanych jest przez operatora jedynie 9 przycisków wyświetlacza. Odpowiedni dobór kształtu i kolorów przycisków funkcjonalnych, umieszczonych poza wyświetlaczem LCD, ułatwia wykorzystanie panelu i ogranicza liczbę pomyłek dokonywanych przez operatora ładowarki LKP-0903.

5. ODPORNOŚĆ SYTEMU NA RZECZYWISTE WARUNKI EKSPLOATACJI

W roku 2008 doszło do zawału skał stropowych nad jednym z egzemplarzy ładowarki LKP-0903. Ładowarka została całkowicie zasypana skalami stropowymi górotworu. Po wydobyciu operatora z kabiny oraz odsłonięciu ładowarki, układ elektryczny ładowarki został zdiagnozowany przez włączenie jednostki głównej systemu (MS3), który w tym przypadku nie wykazał błędu w układzie. Następnie dokonano próby zapalenia silnika. Próba powiodła się, jednak ze względu na niewielkie mechaniczne uszkodzenie turbosprężarki silnika nie kontynuowano dalszej pracy ładowarką.

Rysunek nr 4 pokazuje stan modułu sterującego MS1 na ładowarce po zawale skał stropowych. Prawidłowe zaprojektowanie skrzynek elektrycznych i ich osłon pozwala zwiększyć odporność układu nawet na ekstremalne obciążenia mechaniczne, m. in. opisane powyżej.



Rys. 4. Moduł sterujący MS 1 po zawale skał stropowych

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Jak wynika z doświadczeń z aplikacji systemów mechatronicznych dla mobilnych maszyn górniczych, możliwe jest zaprojektowanie trwałego układu mechatronicznego, **bez fazy prototypowania** pod następującymi warunkami:

- a. właściwy wybór dostępnego systemu na rynku i rozpoznanie zasad jego użytkowania,
- b. dokładne zapoznanie się ze standardem komunikacji,
- c. przygotowanie częściowego modelu układu mechatronicznego przeznaczonego do testowania i badania reakcji poszczególnych elementów układu,
- d. przygotowanie oprogramowania serwisowego systemu wraz z przeszkoleniem personelu serwisowego
- e. upoważnienie serwisantów do aktualizacji oprogramowania na maszynie,
- f. zaprojektowanie odpowiednich skrzynek – obudów dla modułów sterujących,
- g. konstrukcja modułowa systemu z dużą unifikacją podzespołów,
- h. uwzględnienie w konstrukcji systemu możliwości rozszerzania systemu o nowe funkcje i opcje wyposażenia,
- i. czytelna komunikacja systemu z operatorem, najlepiej na zasadzie piktogramów,
- j. odporność układu na ekstremalne obciążenia mechaniczne i czynniki środowiskowe.

7. LITERATURA:

- [1] ASME MECHATRONICS www.elearn.asme.org/courses/Mechatronics.htm
- [2] Aktualna strona:
http://catalog.asme.org/Education/OnlineInstructorLeadCourse/MECHATRONICS_LEVEL_1_ONLINE.cfm.
- [3] Bosch Rexroth Sp. z o.o. Warszawa; materiały techniczne i publikacje: „Driver&Control local” nr 03/2007.
- [4] Drabpol Sp. z o.o. Częstochowa; materiały techniczne i szkoleniowe: KIBES – SIEMENS VDO Automotive; 2007/2008.
- [5] Parker Polska Sp. z o.o. Warszawa; materiały techniczne i szkoleniowe: System IQAN; 2008.
- [6] SAUER-DANFOSS Co.; “PLUS+1™ Customizing Control for your mobile machinery”; 2008; www.sauer-danfoss-daikin.com/8/9840_PLUS1_OVERVIEW_BROCH8.pdf.
- [7] Steward, D.V.; The design Structure System: A Method for managing the Design of Complex Systems; IEE Transaction on Engineering Management, vol. EM-28, August 1981.
- [8] SANDVIK MINING and CONSTRUCTION OY. TURU; Podręcznik Operatora TORO 7; TKU-B01146-RU 5006; 12/2006.

MINE LOADER PROVIDED WITH THE CAN BUS SYSTEM

Abstract: Implementation of engines to wheeled mine machines with diesel drive that meet requirements specified for emission of combustion gases STAGE IIIA has become the grounds to implement new control and communication system of increased resistance to conditions of underground mining of copper ores deposits.

The CAN bus with ISO-SAE J1939 communication protocol control system has been used. The implemented control and monitoring system of the machine is subject to permanent modernization due to increasing experience within the scope of mining conditions as well as due to changing needs of customers within the scope of final machine configuration.

The final goal of modernization is to create the completely mechatronic loader. This not only requires changing the executive elements but, first and foremost, optimizing the system of control. The paper presents current configuration of the CAN bus as well as principles of its application taking into consideration mining conditions as well as assumed concepts of optimizing the system as regards creating the mechatronic mine loader.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Stanisław WASILEWSKI