

Kierunki modernizacji górnich wyciągów szybowych przeprowadzonych w latach 2014-2015

dr inż. Adam Zygmunt
Wyższy Urząd Górniczy
Departament Energomechaniczny

mgr inż. Marek Szczygieł
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Artykuł jest kontynuacją rozważań przedstawionych w 1996 r. w publikacji pt. "Dekapitalizacja techniczna elementów wyciągów szybowych zagrożeniem bezpieczeństwa pracy" [1], w której scharakteryzowano i poddano analizie trzy grupy górniczych wyciągów szybowych. Sklasyfikowano je w zależności od przedziału czasowego ich budowy, prezentując następnie dla każdej grupy koncepcje kierunków modernizacji, szczególnie w zakresie maszyn wyciągowych.

W artykule pozytywnie zweryfikowano ówczesne koncepcje zmian, wskazując równocześnie na aktualne trendy modernizacji elementów wyciągów szybowych. Oceniono wpływ przeprowadzonych modernizacji na poprawę poziomu bezpieczeństwa użytkowania wyciągów szybowych. Omówiono zagadnienia techniczne zmierzające do podniesienia poziomu bezpieczeństwa eksploatacji wyciągów szybowych.

Słowa kluczowe: górnicze wyciągi szybowe, modernizacje

Keywords: mine shaft hoists, modernizations

Abstract:

The paper is the continuation of considerations presented in 1996 in the paper entitled "Technical decapitalisation of the components of mine shafts as the hazard to work safety" [1], in which three groups of mine shaft hoists were characterized and analysed. They were classified according to time of their manufacture and then the direction of modernization was given for each group, focusing especially on hoisting machines.

The previous concepts of changes are positively verified and current trends in modernization of the components of shaft hoists are indicated. The impact of implemented modernizations on improvement of safety of use of shaft hoists is assessed. The technical issues aiming at increasing the safety of use of shaft hoists are discussed.

1. Zmiany w wyposażeniu technicznym wyciągów szybowych w latach 1996-2015

W pierwszej dekadzie lat 90-tych, czasie przemian ustrojowych i gospodarczych, nadzór górniczy podsumował zaistniałe w poprzednim okresie niebezpieczne zdarzenia (awarie), które wystąpiły w ruchu górniczych wyciągów szybowych i dostrzegł, iż w przeważającej większości były one następstwem, jak to wówczas określono, „*dekapitalizacji technicznej elementów wyciągów szybowych*” [1]. Dla zdiagnozowania problemu „*przeanalizowano łącznie 570 wyciągów szybowych eksploatowanych w szybach zglębionych*”, bez uwzględnienia „*wyciągów szybkowych oraz wyciągów eksploatowanych przez przedsiębiorstwa budownictwa górniczego*”. W toku analizy zaproponowano „*podział wyciągów szybowych na trzy zasadnicze grupy, w oparciu o kryterium czasu eksploatacji oraz kryterium promowanych na przestrzeni lat rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych wyciągów szybowych, a mianowicie:*

grupa I - wyciągi szybowe zbudowane przed 1945 rokiem,

grupa II - wyciągi szybowe zbudowane w latach 1945-1972,

grupa III - wyciągi szybowe zbudowane po roku 1972,

(datę budowy wyciągu szybowego przyjęto wg daty zainstalowania maszyny wyciągowej)".

Dla uzmysłowania ówczesnej skali problemu należy przypomnieć, że w 1996 r. oceniono, iż wyciągami szybowymi transportuje się rocznie około 200 milionów ton kopalin użytecznych, dobowo korzysta z nich około 200 tysięcy pracowników zatrudnionych w podziemiach kopalń. Łączna liczba wyciągów szybowych (w tym szybikowych) wynosiła 744. Maksymalna głębokość szybów osiągała (...) w Polsce 1250 m. Największa prędkość jazdy naczyń wyciągowych wynosiła 20 m/s, a maksymalna masa transportowana 30 Mg".

W wyniku przeprowadzonej analizy poszczególnych grup wyciągów szybowych, ustalono liczbę wyciągów według stanu na koniec 1996 r.

Autorzy ówczesnej publikacji "Dekapitalizacja techniczna elementów wyciągów szybowych zagrożeniem bezpieczeństwa pracy" stwierdzając „brak dokładnego rozeznania przebiegu eksploatacji systemów maszynowych transportu pionowego w całym okresie ich eksploatacji”, zgłosili na podstawie własnych doświadczeń następujące sugestie [1]:

1. Grupa maszyn wyciągowych zbudowanych po 1972 r. w zasadzie nie wymaga modernizacji, a jedynie usunięcia ewentualnych błędów fabrycznych (np. błąd w układzie sterowania hamulców tarczowych z agregatem sterowniczo-pompowym firmy R. BOSCH). Jednak w przypadku maszyn intensywnie eksploatowanych, realizujących główne zadania wydobywcze i pracujących w wyciągach szybowych, dla których przewiduje się dalszą, długoletnią eksploatację, należy rozważyć, czy wszystkie podzespoły tych maszyn będą w stanie sprostać stawianym im zadaniom w okresie przewidywanej eksploatacji. Jeżeli w wyniku takiej analizy dojdzie się do wniosku, że określone elementy maszyny wyciągowej ulegną naturalnemu zużyciu przed terminem planowanej likwidacji wyciągu szybowego, to należy wybrać właściwą porę do ich wymiany, unikając sytuacji, w której zajdzie potrzeba wymiany kosztownych podzespołów na krótko przed likwidacją wyciągu. Przy okazji takiej wymiany celowym jest wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań zapewniających poprawienie właściwości eksploatacyjnych z uwagi na możliwość diagnozowania poszczególnych elementów i szerokiej wizualizacji stanów ich pracy.
2. Maszyny wyciągowe zbudowane do 1945 r. w zasadzie należy wycofać z eksploatacji, zwłaszcza w tych przypadkach, w których zakłada się dalszą długoletnią eksploatację wyciągów szybowych. W przypadkach nieodległych terminów planowanych likwidacji wyciągów szybowych, ich maszyny wyciągowe powinny być poddawane wzmożonej kontroli technicznej.
3. Najbardziej predysponowane do modernizacji są maszyny wyciągowe grupy II budowane w latach sześćdziesiątych, z początkowego okresu stosowania układów Leonarda II-go stopnia."

W konkluzji analizy problemu autorzy publikacji zasugerowali praktyczne wskazówki dla podejmowanych przedsięwzięć w zakresie modernizacji górniczych wyciągów szybowych, wskazując, że:

„najbardziej właściwą wydaje się modernizacja maszyn i urządzeń, umożliwiająca wprowadzenie nowych systemów zabezpieczeń z nowymi funkcjami i formami oddziaływania.”

Oceniając dzisiaj ówczesny temat należy uznać, że przedsięwzięcia inwestycyjne, podejmowane w minionym okresie, w szczególności w zakresie modernizacji maszyn wyciągowych lub zastępowanie ich nowymi, były w większości zgodne z sugestiami autorów publikacji z 1996 r. [2, 4]

Jednocześnie trzeba podkreślić, iż doświadczenia użytkowników górniczych wyciągów szybowych, jak również prowadzone przez nadzór górniczy analizy przyczyn i okoliczności zaistniałych zdarzeń awaryjnych, wyznaczały odmienne kierunki modernizacyjne [3, 4].

Dla określenia skali problemu bezpieczeństwa eksploatacji górniczych wyciągów szybowych, nieodzowne jest podanie liczby eksploatowanych obecnie górniczych wyciągów szybowych i ich funkcji w ruchu zakładów górniczych.

Wg danych Specjalistycznego Urzędu Górniczego (czerwiec 2015 r.) obecnie eksploatowanych jest **338** górniczych wyciągów szybowych (g.w.sz.), w tym:

- **203** wyciągi z jazdą ludzi,
- **63** wyciągi skipowe (bez jazdy ludzi),
- **48** g.w.sz. wyciągów pomocniczych,
- **2** wyciągi ratownicze CSRG + **1** wyciąg Stacji Ratowniczej KGHM Polska Miedź S.A.,
- **19** g.w.sz. wyciągów pomocniczych z wciągarką wyciągu ratowniczego CSRG, uruchamianych „według potrzeb” w celu przeprowadzenia kontroli obudowy szybu lub jej naprawy,
- **3** wyciągi zbudowane w oparciu o własne wciągarki użytkownika, również uruchamiane „według potrzeb”.

Można stwierdzić, że górnicze wyciągi szybowe zbudowane przed 1945 r. (grupa I wg klasyfikacji autorów) praktycznie przestały istnieć. W eksploatacji pozostają zmodernizowane górnicze wyciągi szybowe lub wyposażone w nowe maszyny wyciągowe wyciągi szybowe grupy II i III. Przeprowadzone modernizacje maszyn wyciągowych były zgodne z wnioskami użytkowników, dotyczącymi zapewnienia zarówno bezpieczeństwa użytkownika, jak i wydajności, sprawności oraz efektywności wydatkowanych środków finansowych na ich utrzymanie w pełnej sprawności technicznej [5].

W dalszej części niniejszego artykułu przedstawiono sposób realizacji wybranych modernizacji górniczych wyciągów szybowych w zakresie maszyn wyciągowych oraz urządzeń sygnalizacji i łączności szybowej, przeprowadzonych w latach 2014-2015.

2. Maszyna wyciągowa 4L-4000/3900 skipowego wyciągu szybowego

Prezentowana maszyna wyciągowa jest elementem górniczego wyciągu szybowego w przedziale skipowym szybu, który charakteryzują następujące parametry:

Szyb	- wydobywczy
Maszyna wyciągowa	- 4L-4000/3900
Naczynia wyciągowe	- dwa naczynia skipowe
Rodzaje pracy wyciągu szybowego:	
wydobycie	- prowadzenie wydobywania (1 poziom)
jazda manewrowa	- prowadzenie jazd manewrowych na całej drodze jazdy naczyń wyciągowych,
jazda niewydobywcza	- prowadzenie jazd niewydobywczych pomiędzy zrębem a poziomami: technologicznym i wydobywczym,
rewizja szybu	- prowadzenie rewizji szybu (z urządzeniem ECHO-S),

jazda brygad szybowych
prace szybowe

- prowadzenie jazdy brygad szybowych (ECHO-S),
- rewizja bębna pędnego,
- rewizja kół odciskowych w wieży,
- rewizja lin, naczyń wyciągowych,
- prowadzenie prac technologicznych,

Droga jazdy:

- ok. 1000 m

Prędkości jazdy:

- 16,0 m/s dla wydobywania,
- 8,0 m/s dla jazdy manewrowej i niewydobywczą,
- 4,0 m/s dla jazdy brygad szybowych,
- 1,0 / 0,5 m/s dla rewizji szybu,
- 0÷0,5 m/s; 0÷1,0 m/s dla rewizji lin nośnych, wyrównawczych, kół odciskowych, bębna pędnego,
- 0÷0,3 m/s dla rewizji naczyń,
- 2 m/s dla jazdy bez regulatora jazdy (1 m/s w strefie dojazdowej wyznaczonej przez łączniki magnetyczne kontroli prędkości) oraz w przypadku wykrycia ruchu nie technologicznego - opuszczania nadwagi.

Bęben pędny maszyny wyciągowej (rys. 1) jest spawaną konstrukcją powłokową, wykonaną z niestopowej stali konstrukcyjnej S355J2G3 i złożony z dwóch elementów przykręconych do kołnierza wału. Jest on napędzany bezpośrednio obcowzbudnym silnikiem prądu stałego o mocy 3900 kW i posiada dwie tarcze hamulcowe czterosegmentowe.



Rys. 1. Maszyna wyciągowa 4L-4000/3900 [8]

Proces hamowania realizowany jest przez zespół siłowników hydraulicznych BSFG 408-A00-02 z okładzinami hamulcowymi MICKE 1203, zgrupowanymi na 4 stojakach hamulcowych. Siłowniki hamulca są zasilane z elektrohydraulicznego zespołu sterowniczo-zasilającego. Pod belkami łożysk wału głównego i belkami stojana silnika napędowego maszyny wyciągowej zastosowano podkładki z tworzywa EPY firmy Marine Service Jaroszewicz s.c. ze Szczecina. Jest to dwuskładnikowe tworzywo chemoutwardzalne przeznaczone

czone na podkładki fundamentowe maszyn i urządzeń wymagających precyzyjnego i trwałego posadowienia na fundamentach metalowych i betonowych. Odznacza się ono dużą wytrzymałością na ściskanie, odpornością na pękanie i starzenie, dobrze tłumi drgania i ogranicza rozprzestrzenianie się niepożądanych dźwięków. Posiada także dużą odporność na obciążenia dynamiczne. Podkładki z tworzywa EPY zastosowano w połowie lat 90-tych w dwóch maszynach wyciągowych, a w bieżącej dekadzie w trzech maszynach wyciągowych KGHM Polska Miedź S.A. O.ZG „Rudna” w Polkowicach.

Silnik napędowy zasilany jest z dwóch nienawrotnych przekształtników tyrystorowych typu DCS 800 połączonych szeregowo. Obwód wzbudzenia silnika zasilany jest z rewersyjnego przekształtnika wzbudzenia typu DCS 800. Maszyna przystosowana została do zasilania z sieci 6 kV przez dwa transformatory przekształtnikowe 6000 V/430 V, o grupach połączeń Dyn11 i Dd0. Zasilanie umożliwia pracę z 12-pulsowym oddziaływaniem napędu na sieć zasilającą 6 kV. Obwód wzbudzenia zasilany jest z sieci o napięciu 400 V poprzez dławiki, dla ograniczenia załamań komutacyjnych napięcia.

W przypadku awarii w torze zasilania jednego z przekształtników tyrystorowych istnieje możliwość pracy awaryjnej z wykorzystaniem drugiego przekształtnika wchodzącego w skład ww. układu zasilającego. W tym stanie następuje ograniczenie o połowę wartości prędkości rozwijanej przez maszynę, nie występuje natomiast ograniczenie co do udźwigu. Dla rezerwacji zasilania obwodu wzbudzenia szafę wyposażono w rezerwowy przekształtnik o identycznych parametrach i ręczną przełącznicę, umożliwiającą sprawne przełączenie zasilania uzwojenia wzbudzenia silnika napędowego.

W maszynie wyciągowej zastosowano cyfrowy regulator jazdy, pełniący równocześnie funkcję kompletnego układu kontroli prędkości. Całość układów sterowania, regulacji i zabezpieczeń zrealizowano poprzez zastosowanie sterowników programowalnych i innych podzespołów firmy ABB. Wszystkie ważne funkcje, odzwierciedlające stany pracy maszyny wyciągowej, objęto układem wizualizacji ekranowej (rys. 2). Rejestrację sygnałów dwustanowych i analogowych zapewnia cyfrowy aparat rejestrujący AR-4c.



Rys. 2. Monitory systemu wizualizacji na stanowisku sterowniczym maszyny wyciągowej [8]

Agregaty hydrauliczne zespołu sterowniczo-zasilającego (rys. 3) realizują następujące rodzaje hamowania:

- hamowanie manewrowe, czyli umożliwienie regulacji wartości siły hamującej przy ręcznym sterowaniu maszyny wyciągowej poprzez udrożnienie spływu oleju z siłowników, realizowane elementami podzespołu hamowania manewrowego; regulacja wartości siły hamującej dokonywana jest poprzez zmianę wartości ciśnienia w siłownikach hydraulicznych hamulca; wartość ciśnienia zadaje maszynista wyciągowy poprzez zmianę położenia drążka (nastawnika) steru hamulca na stanowisku sterowniczym maszyny wyciągowej; regulacja wartości ciśnienia w hamulcu dokonywana jest w ograniczonym od dołu zakresie (tak jak podczas hamowania bezpieczeństwa) do wybranej wartości ciśnienia resztkowego; pełen zakres regulacji wartości ciśnienia w hamulcu możliwy jest tylko przy prędkości mniejszej niż V_{d2} , równej 1,0 m/s; hamowanie manewrowe możliwe jest także w trakcie hamowania bezpieczeństwa, w ograniczonym od dołu zakresie wartości ciśnienia oleju, tak jak podczas hamowania bezpieczeństwa,
- hamowanie zatrzymujące (STOP), czyli wysterowanie pełnej wartości siły hamującej, realizowane elementami podzespołu hamowania manewrowego, w celu zatrzymania i unieruchomienia maszyny wyciągowej, uruchamiane jest programowo podczas:
 - automatycznego sterowania maszyną wyciągową, przy dojeździe do skrajnych poziomów technologicznych i inicjowanego po wytraceniu prędkości poniżej wartości V_{d2} ,
 - zdalnego uruchamiania maszyny wyciągowej podczas przeprowadzania rewizji szybu, prac szybowych, jazdy brygady szybowej, rewizji lin wyciągowych, rewizji kół linowych oraz rewizji naczyń wyciągowych, po otrzymaniu sygnału o zatrzymaniu,
 - awaryjnego zatrzymania maszyny wyciągowej za pomocą jej napędu, zainicjowanego programowo po wytraceniu prędkości ruchu przez wyciąg szybowy do prędkości V_{d2} ,
- hamowanie bezpieczeństwa, realizowane zmienną w czasie, samoczynnie regulowaną wartością siły hamującej; hamowanie występuje po przerwaniu obwodu bezpieczeństwa w przypadku prędkości większej od V_{d1} , w warunkach podnoszenia nadwagi, przy załączonym rodzaju pracy „wydobycie”; regulowana wartość opóźnienia hamowania bezpieczeństwa wynosi około 2 m/s^2 ; po wytraceniu prędkości do wartości V_{d1} następuje hamowanie pełną wartością siły hamującej; w przypadku nie wystąpienia oczekiwanej wartości opóźnienia hamowania bezpieczeństwa, uszkodzenia układu nadzorowania opóźnienia lub po przekroczeniu określonego położenia w szybie przez naczynia wyciągowe, występuje hamowanie bezpieczeństwa stałą wartością siły hamującej, wynikającą z wartości ciśnienia resztkowego Pr_1 ,
- hamowanie bezpieczeństwa, realizowane stałą wybieraną wartością siły hamującej; wartości siły hamującej są zróżnicowane i wynikają z wyregulowanych wartości ciśnień resztkowych Pr_1 lub Pr_2 ; hamowanie bezpieczeństwa stałą wartością siły hamującej występuje po przerwaniu obwodu bezpieczeństwa, w przypadku prędkości większej od V_{d1} ; wariant wartości siły hamującej wybierany jest w zależności od wartości i kierunku ruchu nadwagi; po wytraceniu prędkości do wartości V_{d1} lub po upływie maksymalnego, obliczeniowego czasu hamowania bezpieczeństwa, występuje hamowanie pełną wartością siły hamującej hamulca.



Rys. 3. Dwuagregatowy zespół sterowniczo-zasilający tarczowego hamulca maszyny wyciągowej [8]

Dla rodzaju pracy „wydobycie”, gdy naczynia wyciągowe znajdują się w strefie stacji końcowych i prędkość wyciągu jest mniejsza od V_{d2} , w siłownikach hamulca zostaje obniżone ciśnienie oleju do wartości wywołującej zbliżenie okładzin szczęk hamulca do tarczy hamulcowej, bez wytwarzania siły hamującej.

Hamulec maszyny wyciągowej jest wyposażony w następujące urządzenia kontrolne:

- czujniki kontroli stanu siłowników i zużycia okładzin ciernych, zabudowane w każdym z siłowników hamulcowych,
- dwa czujniki temperatury do monitorowania i kontroli temperatury czoła tarcz hamulcowych, zabudowane na stojakach hamulca,
- dwa czujniki do kontroli bicia osiowego tarcz hamulcowych, zabudowane na stojakach hamulca.

Część elektryczna maszyny wyciągowej składa się z zespołów funkcjonalnych realizujących:

- a) zasilanie elektryczne 400 V_{AC},
- b) zasilanie obwodu głównego silnika napędowego,
- c) zasilanie obwodu wzbudzenia silnika napędowego,
- d) sterowanie maszyny wyciągowej, w skład którego wchodzi:
 - cyfrowy regulator jazdy, oparty o dwa sterowniki firmy ABB,
 - stanowisko sterownicze do ręcznego sterowania maszyną wyciągową, w którym zabudowano elementy informacyjne, wskaźniki, mierniki i elementy operacyjne do jej sterowania,
 - elektrohydrauliczny zespół sterowniczo–zasilający realizujący dwuwariantowe hamowanie bezpieczeństwa lub opcję stałego opóźnienia podczas ciągnięcia obciążonego skipu,
- e) zabezpieczenia maszyny wyciągowej, w skład których wchodzi:
 - obwód bezpieczeństwa wykonany w technice przekaźnikowej - przekaźniki, których zestyki czynne włączono w obwód bezpieczeństwa, będące elementami pośredniczącymi urządzeń kontrolnych, jak np. wyłączniki krańcowe albo elementami wykonawczymi układów zabezpieczeń, zrealizowanych przez sterowniki logiczne,

- cyfrowy system zabezpieczeń zrealizowany programowo w redundantnym zespole sterowników logicznych PLC, na który składają się zabezpieczenia zgrupowane w obwodach:
 - bezpieczeństwa,
 - awaryjnego zatrzymania za pomocą napędu,
 - blokowania maszyny wyciągowej,
 - ograniczenia prędkości jazdy,
 - sygnalizacji informacyjno-awaryjnej.
- wyłącznik szybki w obwodzie głównym silnika napędowego.

Napęd maszyny wyciągowej stanowi nowy, obcowzbudny silnik prądu stałego typu PW-116/03, wyprodukowany przez firmę DFME Sp. z o.o. we Wrocławiu, o następujących parametrach:

– moc	3 900 kW
– napięcie	870 V
– prąd znamionowy	4 820 A
– prędkość obrotowa	76,4 obr/min
– moment znamionowy	487 kNm
– napięcie wzbudzenia	180/90 V
– prąd wzbudzenia	100/200 A
– klasa izolacji	F

Dla chłodzenia silnika napędowego przewidziano centralę wentylacyjną, wyposażoną w zespół filtrów na ssaniu dla wstępnego oczyszczenia powietrza. Silnik indukcyjny o mocy 45 kW wentylatora zasilany jest z rozdzielnic 400 V_{AC} poprzez przemiennik częstotliwości – falownik.

Wyposażenie elektryczne maszyny wyciągowej zawiera urządzenia kontrolujące działanie elementów górniczego wyciągu szybowego i podzespołów maszyny wyciągowej, które tworzą układy kontroli i zabezpieczeń. W przypadku wykrycia zagrożenia w ruchu wyciągu szybowego lub nieprawidłowego działania urządzeń kontrolujących, następuje zadziałanie wybranego zabezpieczenia, w zależności od charakteru zagrożenia.

System zabezpieczeń zrealizowany został klasycznie - w technice przekaźnikowej i programowo - za pomocą mikroprocesorowej techniki cyfrowej.

Sterowniki PLC niezależnie od siebie dokonują analizy sygnałów związanych ze sterowaniem i inicjujących proces: hamowania bezpieczeństwa, awaryjnego zatrzymania napędem lub powodujących blokowanie maszyny wyciągowej. Zebrane dane przesyłane są za pomocą magistrali dwukierunkowej i porównywane w sterownikach. W przypadku wystąpienia niezgodności, oba urządzenia generują sygnał błędu. Zainicjowanie zadziałania właściwego zabezpieczenia maszyny wyciągowej realizowane jest niezależnie przez każdy ze sterowników na podstawie jego własnych danych, a jej skutkiem jest odwzbudzenie przekaźnika wyjściowego, przynależnego do danego sterownika. Zestyki przekaźników pobudzonych przez obydwie sterowniki połączone są szeregowo, zatem zainicjowanie zabezpieczenia maszyny przez dowolny ze sterowników zostanie zrealizowane, a ewentualna niezgodność zostanie wykryta dzięki kontroli stanów przekaźników wyjściowych, ze skutkiem powodującym zablokowanie maszyny wyciągowej od utraty redundancji.

Podsumowując, system zabezpieczeń maszyny wyciągowej, w którym zastosowano:

- a) układy zabezpieczeń, wykonane w różnorodnych technikach, takich jak technika przekaźnikowa i cyfrowa,
- b) sterowniki programowalne, realizujące większość zabezpieczeń w sposób zdwojony,
- c) wielokrotne, na różnych poziomach kontrole współbieżności działania programów i elementów wykonawczych obwodów zabezpieczeń, wykonanych w technice przekaźnikowej i cyfrowej,
- d) powszechnie stosowane w technice mikroprocesorowej zabezpieczenia pracy cyfrowych sterowników programowalnych,

zapewnia z wystarczającym poziomem niezawodności działanie zabezpieczeń tworzących system zabezpieczeń.

Ponadto należy zwrócić uwagę, iż w opisywanym wyciągu szybowym zastosowano indywidualnie zaprojektowane urządzenie sterowniczo-sygnalowe, w którym rodzaj pracy „wydobycie” w sterowaniu ręcznym prowadzone jest z wykorzystaniem sygnalizacji pośpiesznej „gotów”. Sygnał akustyczny i optyczny do odjazdu ze stacji załadowniczej generowany jest automatycznie po wykonaniu załadunku i potwierdzeniu poprawnego rozładunku, przy braku innych blokad technologicznych. Użytkownik zwrócił producentowi US-S uwagę, iż w czasie prowadzenia wydobywania, podczas odjazdu naczyń skipowych zdarzają się przypadki i sytuacje niestandardowe, polegające w szczególności na wątpliwości obsługi za- albo rozładunku odnośnie do stanu przewodnic krążkowych, poprawności zamknięcia klapy skipowej czy zawieszenia się części urobku w skipie. Dla umożliwienia sygnalistom szybowym sprawnego i jednoznacznego nadania jednouderzeniowego sygnału wykonawczego do maszynisty maszyny wyciągowej po wykonaniu czynności kontrolnych, bądź w celu zrealizowania manewrów naczyniem wyciągowym, bez konieczności zmiany rodzaju pracy, zastosowano sygnalizację jednouderzeniową bezpośrednią; maszynista wyciągowy może uprawnić wyłącznie jedno ze stanowisk sygnałowych, wraz ze wskazaniem naczynia wyciągowego, przy czym na uprawnionym stanowisku sygnałowym wyświetlona jest jednoznaczna informacja, do którego skipu będą odnosić się nadawane sygnały; analogicznie zrealizowano przekazanie ww. informacji dla maszynisty wyciągowego.

W związku z pozytywną oceną użytkownika tak zrealizowanej jednouderzeniowej sygnalizacji bezpośredniej w rodzaju pracy „wydobycie” zwiększono liczbę uprawnionych stanowisk do prowadzenia jazd niewydobywczych, w stosunku do wymienionych powyżej.

3. Alternatywne zasilanie silników napędowych maszyn wyciągowych

Przetwornica EL-TTP1 została zbudowana jako mobilny zespół urządzeń realizujący zasilanie obcowzbudnych silników prądu stałego maszyn wyciągowych pracujących w układzie Leonarda (rys. 4). Zastępuje ona typowy zestaw elektromaszynowy - silnik napędowy z prądnicą sterującą (lub prądnicami sterującymi), dostarczając wyprostowane 12-pulsowo napięcie do zasilania obwodu głównego. Efekt ten uzyskano przez równoległe połączenie dwóch mostków tyrystorowych, zasilanych z uzwojeń wtórnych transformatora o różnych grupach połączeń. Oddziaływanie przetwornicy na sieć zasilającą 6 kV jest 12-pulsowe, przy jednoczesnym sterowaniu mostków tyrystorowych.



Rys. 4. Tyrystorowa przetwornica przewoźna EL-TPP1 [8]

Czterokwadrantowe przekształtniki tyrystorowe umożliwiają pracę silnikową i generatorową zasilanego silnika napędowego a praca z odzyskiwaniem energii do sieci odbywa się poprzez zmianę kierunku prądu obwodu głównego i nie jest wymagany rewers prądu wzbudzenia silnika napędowego.

Jest to szczególnie cenne w przypadku zasilania silników prądu stałego, których bieguny główne nie są pakietowane. Obwód wzbudzenia zasilanego silnika napędowego zasilany jest z układu macierzystego (dotychczasowego), bądź opcjonalnie z niesterowanego mostka diodowego.

Zabudowanie kompletu urządzeń przetwornicy na podwoziu naczepy umożliwia jej przemieszczanie po drogach i tym samym zasilanie silników głównych maszyn wyciągowych wielu górniczych wyciągów szybowych.

Podstawowe dane techniczne przetwornicy EL-TPP1 są następujące:

- | | |
|---|---------------------------------|
| – znamionowy prąd wyprostowany $I_{d_{rm}}$ | 4 kA |
| – znamionowe napięcie wyprostowane $U_{d_{rm}}$ | 336 V |
| – trójfazowe napięcie zasilania | 6 kV (50 Hz) |
| – napięcie zasilania obwodów pomocniczych | 400/230 V _{AC} (50 Hz) |
| – napięcie zasilania instalacji oświetleniowej, wentylacji i ogrzewania | 400/230 V _{AC} (50 Hz) |
| – masa całkowita | ok. 15 Mg |

Podstawowe elementy przetwornicy EL-TPP1 to:

- wyłącznik 6 kV wraz z przyłączem zasilającym i odpływem kablowym do transformatora przekształtnikowego T1,
- trójzwojeniowy transformator przekształtnikowy T1,
- przekształtniki tyrystorowe PG1 i PG2 (rys. 5),
- wyłącznik szybki Wsz,
- dławik wyrównawczy L,
- szafa sterowania SST,
- podzespoły i urządzenia pomocnicze dla zrealizowania wentylacji, ogrzewania i oświetlenia.

Zabudowane w wydzielonej tylnej części przyczepy pole 6 kV to 1-półowa rozdzielnica, wykonana jako wolnostojąca dwuczłonowa, z członem stałym i wysuwym. W przedziale

aparatom pola zabudowano wyłącznik, przekładniki prądowe, przekładnik Ferantiego składowej zerowej prądu dla zrealizowania zabezpieczenia ziemnozwarciowego oraz uziemnik. W przedziale przyłączowym zamontowany jest przekładnik napięciowy oraz przekaźnik kontroli napięcia, służący do blokowania załączenia uziemnika w polu. Pole wyposażone jest w blokady mechaniczne i elektromechaniczne dla wyeliminowania nieprawidłowych czynności obsługowych. Zanik napięcia zasilającego 6 kV powoduje wyłączenie wyłącznika dzięki zastosowaniu tzw. cewki zanikowej.



Rys. 5. Wnętrze tyrystorowej przetwornicy przewoźnej EL-TPP1 [8]

Dane techniczne pola 6 kV przetwornicy to:

- napięcie znamionowe 12 kV
- napięcie robocze 6 kV
- prąd znamionowy ciągły szyn zbiorczych 630 A
- prąd znamionowy ciągły pól zasilających 630 A
- prąd znamionowy ciągły pól odpływowych 630 A
- prąd znamionowy 1s 16 kA
- prąd znamionowy szczytowy 40 kA
- stopień ochrony IP4X
- zintegrowany zespół zabezpieczeń z funkcją sterownika pola MICOM.

Z pola 6 kV zasilany jest suchy trójzwojeniowy transformator przekształtnikowy z uzwojeniami aluminiowymi o parametrach:

- moc pozorna 1 800 kVA
- napięcie strony pierwotnej $6\,000\text{ V} \pm 2 \cdot 2,5\%$
- napięcie strony wtórnej 2 x 320 V
- prąd strony pierwotnej 173,5 A
- prąd strony wtórnej 2 x 1625,7 A
- napięcie zwarcia 6,0%
- masa 4,2 Mg
- stopień ochrony IP00
- grupa połączeń Dd0yn5

Transformator został dobrany jako element zasilania przekształtników tyrystorowych dla osiągnięcia wymaganych parametrów wyjściowych obwodu napędowego silnika maszyny wyciągowej, tj. wartości średniej prądu wyprostowanego $I_{d\text{rm}}$ 4 kA, przy napięciu $U_{d\text{rm}}$ 336 V. Parametry te osiągnane są z uwzględnieniem ograniczenia dopuszczalnego kąta sterowania fazowego impulsów bramkowych tyrystorów, dla zapobieżenia powstania tzw. przerzutu falownikowego.

Rewersyjny układ przekształtnikowy z równoległym połączeniem mostków zbudowano z wykorzystaniem przekształtników, sterowanych programowo, o następujących parametrach:

- typ 4-kwadrantowy
- napięcie zasilania max 400 V_{AC}
- prąd zasilania 1660 A_{AC}
- napięcia wyjściowe 420 V_{DC}
- prąd wyjściowy 2 000 A_{DC}.

Każdy z przekształtników posiada wentylator chłodzący. Z uwagi na zabudowę elementów przetwornicy EL-TPP1 w zamkniętej przyczepie, dla zapewnienia właściwych parametrów powietrza chłodzącego przekształtników tyrystorowych zabudowano instalację wentylacyjną.

Z uwagi na przyjętą konfigurację równoległego połączenia mostków tyrystorowych, zasilanych napięciami z przesunięciem fazowym, dla uzyskania 12-pulsowego napięcia wyprostowanego, mostki połączone są przez dławik sprzęgający o strukturze „T”. Indukcyjność dławika ogranicza wartość składowej zmiennej 6-pulsowej prądu do ok. 10% wartości prądu wyprostowanego.

Przekształtniki zapewniają osiągnięcie wymaganych parametrów prądowo-napięciowych. Mostki tyrystorowe zabezpieczono przed przepięciami od łączy zewnętrznych poprzez zabudowanie układów ochrony przepięciowej.

W celu zapewnienia ochrony mostków tyrystorowych od skutków zwarć zewnętrznych, zabudowano w obwodzie głównym wyłącznik szybki WSz o danych:

- prąd znamionowy wyłącznika 4 200 A_{DC}
- napięcie znamionowe 1 000 V_{DC}
- zakres nastawy wyzwalacza 2,0 ÷ 8,0 kA

Podstawową funkcją realizowaną przez wyłącznik szybki jest zabezpieczenie nadprądowe obwodu głównego, skutkujące jego przerwaniem oraz skutecznym zgaszeniem łuku elektrycznego. Dostępny zakres wyzwalacza prądowego zastosowanego wyłącznika szybkiego pozwala na uzyskanie zadziałania zabezpieczenia nadprądowego przy prądzie o wartości 5,2 kA, tj. wartości większej o 30%, w stosunku do znamionowego prądu wyprostowanego. Znamionowy prąd wyłącznika szybkiego jest o 5% większy od wartości zakładanego prądu znamionowego przetwornicy EL-TPP1.

Zastosowane przekształtniki to modułowe urządzenia energoelektroniczne, których sterowanie i zabezpieczenia zrealizowano programowo z wykorzystaniem techniki mikroprocesorowej. Fabrycznie zaimplementowane programy realizują cyfrowe układy regulatora prędkości obrotowej zasilanego silnika ze sprzężeniem napięciowym, tachometrycznym lub inkrementalnym, wypracowując wartość momentu zadanego niezbędnego do zrealizowania prędkości zadanej. Przyjmując stały strumień wzbudzenia, regulację momentu silnika realizuje się poprzez zmianę prądu obwodu głównego. Cyfrowo zrealizowany regulator prądu wypracowuje sygnał napięcia zadanego z uwzględnieniem sygnału lokalnego sprzężenia prądowego, wypracowanego w oparciu o przekładniki prądowe zainstalowane w torze zasilania mostków. Efektem końcowym działania cyfrowego układu

sterowania mostkami tyrystorowymi jest wygenerowanie 6-ciu impulsów bramkowych, opóźnionych fazowo o kąt α w stosunku do punktu naturalnej komutacji. Dzięki zastosowaniu nawrotnych mostków o przeciw równoległym układzie tyrystorów, pracujących z blokadą impulsów bramkowych, możliwa jest pełna 4-kwadrantowa praca silnikowo-generatorowa z odzyskiwaniem energii do sieci zasilającej. Sterowniki przekształtników skomunikowano w konfiguracji PG1-master, PG2-slave. Zadania sterownicze i regulacyjne realizowane są w programie przekształtnika PG-1. Programowe zabezpieczenia realizowane są niezależnie w każdym przekształtniku. W zależności od rodzaju wykrytego błędu i stopnia zagrożenia dla bezpiecznej pracy przekształtników, możliwe są następujące reakcje:

- czasowe blokowanie impulsów bramkowych tyrystorów,
- zablokowanie impulsów bramkowych wraz z odzwubudzeniem przekaźnika AP1 lub AP2, skutkujące przerwaniem obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej poprzez zestyk przekaźnika PZPT,
- w przypadku zadziałania zabezpieczenia nadprądowego przekształtników, występuje sytuacja jak wyżej, a ponadto, poprzez odzwubudzenie przekaźnika GP1 lub GP2 wyłączenie wyłącznika 6 kV przetwornicy EL-TPP1.

Parametryzacja oprogramowania niezbędna do prawidłowego uruchomienia zespołu przekształtnikowego odbywa się za pomocą paneli operatorskich zainstalowanych na szafach przekształtników. Możliwe jest również opcjonalne wykorzystanie dedykowanego programu narzędziowego, usprawniającego prace związane z uruchomieniem i eksploatacją przekształtników. Fabryczne oprogramowanie sterowników zawiera szereg gotowych bloków funkcyjnych i elementów logicznych, dzięki którym można skonstruować dodatkowe sterowanie. Producent przetwornicy EL-TPP1 wykorzystał tę właściwość do zrealizowania sterowania wentylacją pomieszczenia, z uwzględnieniem temperatury bloków tyrystorowych i otaczającego powietrza. Oprogramowanie fabryczne sterowników przekształtników zawiera szereg podprogramów umożliwiających sprawne przeprowadzenie optymalizacji nastaw regulatorów dla silnika aktualnie zasilanego z przetwornicy EL-TPP1. Skraca to znacznie czas niezbędny na przeprowadzenie prac rozruchowych i zapewnia bezpieczeństwo oraz powtarzalność stosowanych metod optymalizacyjnych, co przy uwzględnieniu mobilności przetwornicy i możliwości zasilania różnych silników napędowych maszyn wyciągowych jest cechą szczególnie pożądaną. Mikroprocesor sterownika wykorzystuje 3 obszary pamięci:

- wymagającą podtrzymania RAM, zwaną też pamięcią roboczą,
- nie wymagającą podtrzymania ROM, zwaną też pamięcią Flash,
- opcjonalnie przenośną kartę pamięci.

Cenną zaletą jest możliwość wykonania kopii na zewnętrznej karcie pamięci aktualnego oprogramowania sterowników przekształtników. Producent przekształtników oferuje aktualizacje oprogramowania sterowników, które można wykonać z wykorzystaniem zewnętrznej karty pamięci.

Opisywane przekształtniki są standardowo stosowane do zasilania silników w przenośnikach taśmowych, windach, dźwigach, kolejach linowych, napędach przecinarek, przewijarek, nawijarek. Stanowią elastyczny, modułowy system napędowy dla wymagających aplikacji przemysłowych. Wykorzystuje się je do realizacji złożonych procesów wymagających od układów zasilających silnik precyzyjnej regulacji położenia, prędkości i momentu, takich jak: wyłaczarki, zwijarki/rozwijarki, napędy master/slave, prasy, maszyny drukarskie, młyny.

W celu włączenia przetwornicy EL-TPP1 do układów maszyny wyciągowej, należy wykonać połączenie kablowe 6 kV i połączenia silnoprądowe obwodu głównego oraz zasilania

0,4 kV. Na stanowisku sterowniczym maszyny wyciągowej należy zabudować pulpit przetwornicy EL-TPP1. Pulpit należy połączyć kablem sterowniczym z listwą zaciskową w przetwornicy.

Parametry kabla 6 kV, wynikające m.in. z warunków zasilania istniejących w punkcie podłączenia, określone są każdorazowo w dokumentacji technicznej włączenia przetwornicy do układów maszyny wyciągowej. Połączenia silnopiędowe obwodu głównego są wykonywane z wykorzystaniem wiązek przewodów 1-żyłowych o przekroju 240 mm², o łącznej obciążalności prądowej wynikającej z parametrów zasilanego silnika.

Z istniejącej struktury układów maszyny wyciągowej pobierane są następujące sygnały:

- stan załączenia obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej - równolegle do cewki istniejącego w maszynie wyciągowej przekaźnika wykonawczego obwodu bezpieczeństwa podłącza się cewkę przekaźnika PPHB,
- stan zahamowania maszyny wyciągowej - równolegle do cewki istniejącego w maszynie wyciągowej przekaźnika stanu zahamowania maszyny wyciągowej podłącza się cewkę przekaźnika PPCZ,
- sygnał analogowy prędkości zadanej, z uwzględnieniem działania regulatora jazdy - z układu zadawania i regulacji prędkości maszyny wyciągowej należy pobrać napięcie, które jest proporcjonalne do prędkości zadanej, z uwzględnieniem ograniczeń wprowadzanych przez regulator jazdy.

Do obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej należy wprowadzić zestyk przekaźnika PZPT zabezpieczeń przetwornicy EL-TPP1. Sugerowany przez producenta punkt włączenia do obwodu bezpieczeństwa, to połączenie zestyku pomocniczego wyłącznika 6 kV i zestyku wyłącznika odśrodkowego przetwornicy macierzystej. Opcjonalnie możliwe jest wykorzystanie drugiego zestyku przekaźnika PZPT dla zrealizowania zwielokrotnienia oddziaływania zabezpieczeń przetwornicy EL-TPP1 na obwód bezpieczeństwa maszyny wyciągowej.

W celu umożliwienia maszyniście maszyny wyciągowej wykonanie przewidzianych czynności niezbędnych do załączenia przetwornicy EL-TPP1, na stanowisku sterowniczym maszyny wyciągowej instaluje się pulpit sterowniczy przetwornicy. Z jego wykorzystaniem możliwe jest załączenie lub wyłączenie transformatora zasilającego układ przekształtnikowy, załączenie lub wyłączenie wyłącznika szybkiego oraz wprowadzenie ograniczenia prędkości do wartości prędkości dojazdowej lub prędkości rewizji (tzw. łącznik jazdy manewrowej). Na pulpicie sterowniczym, w sposób optyczny, sygnalizowane są stany:

- wyłączenia transformatora T1,
- wyłączenia wyłącznika szybkiego WSz,
- awarii przekształtnika PG1 lub PG2,
- przekroczenia pierwszego stopnia kontroli temperatury transformatora T1,
- obniżenia wartości rezystancji doziemnej obwodu głównego.

Informacje o stanach awaryjnych przekształtników tyrystorowych dostępne są na ekranach paneli operatorskich.

Ponieważ przetwornica EL-TPP1 wyposażona jest we własne pole 6 kV, w sytuacjach awaryjnych, wymagających wyłączenia zasilania 6 kV, wyłączany jest wyłącznik mocy w ww. polu. Wyłączenie następuje w następujących przypadkach:

- wykrycia przeciążenia, zwarcia międzyfazowego lub zwarcia doziemnego przez zintegrowany zespół zabezpieczeń zainstalowany w polu 6 kV,
- zadziałania łącznika krańcowego otwarcia klap wydmuchowych przedziału wyłącznika pola 6 kV,

- użycia przycisku awaryjnego wyłączenia na polu 6 kV,
- zadziałania łącznika krańcowego otwarcia drzwi do pomieszczenia transformatora T1,
- użycia przycisku awaryjnego wyłączenia WP na drzwiach przekształtnika PG1,
- zadziałania kontroli nadprądowej w przekształtniku PG1 lub PG2, wymagającej wyłączenia zasilania mostków tyrystorowych dla ochrony przed skutkami zwarcia wewnętrznego,
- przekroczenia temperatury transformatora T1 - II stopień.

W przypadku zadziałania kontroli ochron przepięciowych przekształtników, zestyk przekaźnika KOP blokuje możliwość załączenia wyłącznika 6 kV zasilającego transformator przekształtnikowy T1.

Producent opcjonalnie przewidział możliwość wyprowadzenia układu bezpotencjałowych zestyków do obwodu tzw. cewki wybijakowej pola zasilającego przetwornicę EL-TPP1. Pole to traktowane jest jako odpływ kablowy, a jego zabezpieczenia dobiera się z uwzględnieniem parametrów zasilania i zastosowanego kabla 6 kV. Dlatego wyłączenie awaryjne tego pola ograniczono do następujących przypadków:

- użycie przycisku awaryjnego wyłączenia na polu 6 kV,
- zadziałanie łącznika krańcowego przyłącza kablowego na polu 6 kV,
- zadziałanie łącznika krańcowego otwarcia klap wydmuchowych przedziału wyłącznika pola 6 kV.

Zastosowanie przetwornicy EL-TPP1 umożliwia utrzymanie dotychczasowych warunków prowadzenia ruchu wyciągu szybowego, bądź wymaga ograniczenia:

- prędkości jazdy - gdy wartość napięcia obwodu głównego silnika maszyny wyciągowej przy prędkości maksymalnej jest większa od napięcia wyprostowanego przetwornicy EL-TPP1 U_{dm} określonego na 336 V,
- masy transportowanej lub przyśpieszeń i opóźnień napędu - gdy wartość prądu obwodu głównego silnika maszyny wyciągowej w czasie rozruchu jest większa od prądu wyprostowanego przetwornicy EL-TPP1 I_{dm} wynoszącego 4 kA.

Mikroprocesorowy układ sterowania i zabezpieczeń przekształtników zapewnia dużą precyzję regulacji prędkości obrotowej zasilanego silnika. Dla zrealizowania zasilania silników różnych maszyn wyciągowych, producent zdecydował się na układ regulacji prędkości obrotowej zasilanego silnika z wykorzystaniem ujemnego sprzężenia zwrotnego - napięcia, proporcjonalnego do napięcia obwodu głównego, uzyskanego za pośrednictwem separatora napięciowego SN2. Napięcie do separatora pobierane jest z oszynowania obwodu prądu stałego wewnątrz przetwornicy EL-TPP1, co zapewnia ciągłość sprzężenia niezależnie od powstania ewentualnych uszkodzeń w okablowaniu pomiędzy przetwornicą a punktem przyłączowym. Wykorzystanie sprzężenia napięciowego wiąże się z powstaniem uchybu regulacji prędkości obrotowej silnika maszyny wyciągowej, szczególnie zauważalnego podczas jazdy z nadwagą (obniżenie prędkości ustalonej przy ciągnięciu, zwiększenie przy opuszczaniu w stosunku do prędkości jazdy z naczyniami pustymi). Jednak zastosowanie sprzężenia tachometrycznego dla przewoźnej przetwornicy EL-TPP1 wydaje się niecelowe i jest dodatkowo obciążone zagrożeniami wynikającymi z następstw utraty sygnału ujemnego sprzężenia zwrotnego w torze regulacji prędkości. Lokalne sprzężenie prądowe pozwoliło uzyskać efekt tzw. pułapu prądu w obwodzie głównym, co chroni elementy energoelektroniczne przekształtników przed przegrzaniem lub uszkodzeniem, dając dodatkowe właściwości regulacyjne układu napędowego.

W czasie hamowania bezpieczeństwa maszyny wyciągowej, której silnik napędowy jest zasilany z przetwornicy EL-TPP1, odmienny jest przebieg momentu elektrodynamicznego silnika niż przy zasilaniu z prądnicy sterującej. Po uzyskaniu informacji o odzwbudzeniu przekaźnika obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej, zestyki przekaźnika PPHB blokują przekształtniki PG1 i PG2 (blokada impulsów bramkowych) i zanik momentu napędowego rozwijanego przez silnik główny jest praktycznie natychmiastowy. Przy zasilaniu silnika głównego z przetwornicy macierzystej, podczas hamowania bezpieczeństwa następował proces odzwbudzenia maszyn tworzących obwód główny układu Leonarda - silnika napędowego i prądnicy (prądnic) sterujących, który musiał być rozciągnięty w czasie dla zapewnienia ochrony przepięciowej uzwojeń maszyn. Z uwagi na nierozwieranie obwodu głównego, w początkowym etapie hamowania bezpieczeństwa występował moment elektrodynamiczny silnika, napędzający bądź hamujący, zależnie od wartości i kierunku działania nadwagi oraz kierunku jazdy. W związku z tym, podczas włączania przetwornicy do układów maszyny wyciągowej niezbędne jest przeprowadzenie rejestrowanych prób hamowania bezpieczeństwa, celem potwierdzenia poprawności dotychczas stosowanych nastaw hamulcowych.

Należy zwrócić uwagę, iż zasilanie silnika napędowego maszyny wyciągowej z przetwornicy tyrystorowej prowadzi do uzyskania wymiernych korzyści ekonomicznych, polegających nie tylko na zmniejszeniu kosztów energii elektrycznej (eliminacja strat biegu jałowego), jak również kosztów eksploatacyjnych (np. wymiana zużytych szczotek prądnic sterujących, przeglądy maszyn głównych układu Leonarda, itd.)

4. Przewoźna maszyna wyciągowa pomocniczych wyciągów szybowych

Przewoźna maszyna wyciągowa B-1100/EL-1 przeznaczona jest do eksploatacji w jednokońcowych górniczych wyciągach szybowych pomocniczych. Zabudowa jej na przyczepie umożliwiła transport drogowy (rys. 6). Przyczepa z maszyną wyciągową jest przystosowana do posadowienia na fundamencie. Budowa części elektrycznej maszyny wyciągowej umożliwia zasilanie napięciem $3 \times 500 \text{ V}_{AC}$ lub $3 \times 400 \text{ V}_{AC}$.



Rys. 6. Przewoźna maszyna wyciągowa B-1100/EL-1 [8]

Maszyna wyciągowa jest sterowana:

- ręcznie, ze stanowiska sterowniczego,
- automatycznie, w trybie zdalnego uruchamiania z regulacją prędkości.

Zasadniczymi elementami maszyny wyciągowej są:

- bęben przystosowany do wielowarstwowego nawijania liny nośnej, zamocowany do wału głównego osadzonego w dwóch łożyskach tocznych,
- silnik prądu stałego, napędzający bęben nawojowy poprzez sprzęgło elastyczne, przekładnię zębatą oraz sprzęgło zębate, zasilany z sieci prądu przemiennego przez przekształtnik tyrystorowy,
- hamulec tarczowy z siłownikami odwodzonymi hydraulicznie,
- transformator zasilania 500/400/230 V,
- swobodnie programowalne sterowniki PLC,
- elektrohydrauliczny jednoagregatowy zespół sterowniczo-zasilający hamulca,
- układ wizualizacji oraz sygnalizacyjny stanów awaryjnych i stanów pracy poszczególnych podzespołów maszyny wyciągowej.

Maksymalna prędkość jazdy naczynia wyciągowego zależy od:

- numeru kolejnej warstwy nawijanej lub odwijanej liny na bębnie,
- wartości napięcia zasilania.

Przy zasilaniu z sieci o napięciu 500 V_{AC} prędkość liny nośnej zmienia się od 1,3 m/s, dla warstwy pierwszej do 1,55 m/s, dla warstwy siódmej (zewnątrznej), natomiast przy zasilaniu z sieci o napięciu 400 V_{AC} odpowiednio od 1,0 m/s do 1,2 m/s.

Bęben maszyny wyciągowej ma dwie tarcze hamulcowe. Proces hamowania realizowany jest poprzez zespół dwóch par hydraulicznie odwodzonych siłowników z bezazbestowymi okładzinami hamulcowymi, zamocowanymi na dwóch stojakach hamulcowych. Wartość siły hamującej sterowana jest ciśnieniem oleju wytwarzanym w zespole sterowniczo-zasilającym.

W układzie hydraulicznym hamulca zastosowano urządzenie umożliwiające wywołanie spadku ciśnienia oleju poprzez udrożnienie jego dodatkowej drogi spływu w instalacji hydraulicznej hamulca, powodując bezpieczne zatrzymanie wyciągu.

Bęben nawojowy maszyny wyciągowej, zamocowany śrubami do kołnierzy wału głównego, napędzany jest obcowzbudnym silnikiem prądu stałego zasilanym z sieci prądu przemiennego przez przekształtnik tyrystorowy. Przetwarza on energię prądu przemiennego w energię prądu stałego. Zmianę kierunku wirowania, jak i pracę z hamowaniem odzyskowym realizuje się poprzez zmianę kierunku przepływu prądu twornika silnika.

Układ sterowania maszyny wyciągowej zbudowany jest w oparciu o swobodnie programowalne sterowniki PLC oraz cyfrowo sterowany przekształtnik tyrystorowy. Za pomocą sterowników PLC zrealizowano cyfrowy regulator jazdy, pełniący równocześnie funkcję układu kontroli prędkości.

Wszystkie ważne funkcje odzwierciedlające stany pracy maszyny wyciągowej objęte są systemem wizualizacji.

Część mechaniczna maszyny wyciągowej została zaprojektowana i sprawdzona wytrzymałościowo dla obciążeń wynikających z następujących warunków eksploatacji górniczego wyciągu szybowego:

- | | |
|----------------------------------|----------|
| – maksymalna prędkość jazdy | 1,55 m/s |
| – nominalna średnica liny nośnej | 22 mm |

– maksymalna siła statyczna w linie nośnej	45 kN
– maksymalna siła zrywająca linę nośną	441 kN
– maksymalny moment obciążenia od siły w linie	24,75 kNm
– kąt nachylenia odcinka skośnego liny nośnej pomiędzy kołem linowym a linopędnią maszyny wyciągowej w stosunku do poziomu	24,0° ÷ 44,6°

Na przyczepie zamocowane są: rama posadowienia z ww. częściami maszyny wyciągowej, agregat zespołu sterowniczo-zasilającego hamulca i dwie szafy z wyposażeniem elektrycznym, które znajdują się w wydzielonym, większym pomieszczeniu na przyczepie oraz stanowisko sterownicze, usytuowane w mniejszym. Pomieszczenia osłonięto dachem i izolowanymi ścianami dla zabezpieczenia przed negatywnymi warunkami klimatycznymi.

Przyczepa z zabudowaną maszyną wyciągową B-1100/EL-1 jest przystosowana do posadowienia jej na fundamencie (rys. 7).

Fabrycznie przyczepa wyposażona jest w cztery zestawy podporowe, które przeznaczone są do podniesienia przyczepy, w celu odciążenia kół jezdnych podczas postoju. Przestrzeń powstałą pomiędzy podniesioną przyczepą a fundamentem wypełniona jest drewnianymi belkami i montuje się wsporniki, a następnie opuszcza się na nie przyczepę. Rama maszyny wyciągowej, po posadowieniu przyczepy na drewnianych belkach oraz wspornikach, stabilizowana jest i mocowana do fundamentu za pomocą 10 cięgieł wyposażonych w śruby rzymskie.



Rys. 7. Przewoźna maszyna wyciągowa B-1100/EL-1 [8]

Część elektryczna maszyny wyciągowej składa się z elementów realizujących:

- zasilanie elektryczne,
- sterowanie maszyny wyciągowej,
- zabezpieczenia maszyny wyciągowej,
- sygnalizację stanu i obrazowanie parametrów pracy maszyny wyciągowej,
- cyfrowy regulator jazdy CRJ-1-M,
- sterowanie hamulca.

Maszyna wyciągowa przewoźna B-1100/EL-1 może być zasilana napięciem przemiennym 3 x 500 V_{AC} lub 3 x 400 V_{AC}. Kabel zasilający jest wprowadzony do przyłącza maszyny wyciągowej na rozłącznik, wyposażony w bezpieczniki topikowe.

Możliwe są trzy stany zasilania przewoźnej maszyny wyciągowej:

- całkowite wyłączenie zasilania - poprzez otwarcie rozłącznika bezpiecznikowego lub poprzez wypięcie kabla zasilającego,
- „postój” – maszyna jest zasilana napięciem 3 x 500 V_{AC} lub 3 x 400 V_{AC}, lecz otwarty jest łącznik postoju – zasilone są wtedy tylko obwody oświetlenia, ogrzewania i klimatyzacji pomieszczeń maszyny wyciągowej oraz zasilacz awaryjny UPS urządzenia sygnalizacji szybowej,
- „praca” – maszyna jest zasilana napięciem 3 x 500 V_{AC} lub 3 x 400 V_{AC} i zamknięty jest łącznik postoju, co powoduje, że wszystkie elementy maszyny wyciągowej oraz urządzenia sygnalizacji szybowej są zasilone.

W celu dostosowania pozostałych urządzeń zabudowanych w maszynie wyciągowej do dwóch wartości napięcia zasilającego, zastosowano transformator dopasowujący, przetwarzający napięcie 3 x 500 V_{AC} na napięcie 3 x 400 V_{AC}. Przełączenie łącznika na pracę z zasilania 3 x 500 V_{AC} powoduje, że obwody 3 x 400 V_{AC} maszyny wyciągowej będą zasilane z transformatora.

Zasilanie maszyny wyciągowej napięciem 3 x 400 V_{AC} powoduje ograniczenie jej prędkości maksymalnej do 1,2 m/s wskutek zmniejszenia wartości napięcia obwodu głównego.

Układ sterowniczo-regulacyjny napędu zbudowano w oparciu o swobodnie programowalne sterowniki PLC oraz programowo sterowany przekształtnik tyrystorowy, zasilający obwód główny i obwód wzbudzenia.

Zastosowano programowo sterowany mikroprocesorowy napęd tyrystorowy dla silników prądu stałego, w układzie mostkowym przeciw równoległym, o danych technicznych:

- | | |
|---|---|
| – typ | czterokwadrantowy |
| – moc silnika zasilanego | 150 kW |
| – napięcie zasilające | 3 x 500 V _{AC} |
| – prąd wyprostowany ciągly | 350 A |
| – maksymalna przeciążalność prądem | 525 A przez 30 s, nie częściej niż 10 razy na godzinę |
| – prąd obwodu wzbudzenia silnika | 20 A |
| – napięcie zasilania obwodów wewnętrznych | 3 x 400 V, 50 Hz |
| – chłodzenie | wymuszone |

Maszyna wyciągowa B-1100/EL-1 może być sterowana ręcznie lub automatycznie w trybie zdalnego uruchamiania.

W sterowaniu ręcznym prędkość zadawana jest przez zadajnik w postaci sygnału prądowego –20...0...20 mA, wprowadzonego na wejście analogowe sterownika PLC2. Wartość prędkości zadanej przesyłana jest ze sterownika PLC2 do części cyfrowej przekształtnika tyrystorowego jako sygnał analogowy.

W trybie zdalnego uruchamiania możliwe jest zadawanie prędkości przyciskami kierunku jazdy w określonych przedziałach, od minimalnej prędkości liny nośnej ok. 0,1 m/s do maksymalnej, określonej dla danego rodzaju pracy.

Odhamowanie maszyny wyciągowej podczas zdalnego uruchamiania odbywa się po wcześniejszym zadaniu momentu, w kierunku pozwalającym utrzymać zmieniającą się nadwagę, zależnie od położenia naczynia w szybie (wyciąg jednokońcowy).

Zmiana rodzaju sterowania możliwa jest tylko przy zahamowanej maszynie i sterze hamowania manewrowego w położeniu „zahamowany”.

Układ regulacji prędkości zadaje, reguluje oraz ogranicza prędkość maszyny, w zależności od położenia naczynia wyciągowego w szybie. Elementem zadającym prędkość w sterowaniu ręcznym jest zadajnik umieszczony na stanowisku sterowniczym, służący jako źródło wartości zadanej względnej. Dla sterowania w trybie zdalnego uruchamiania, źródłem wartości zadanej jest krzywa jazdy wyliczona dla maksymalnych, dopuszczalnych parametrów, dla danego położenia naczynia w szybie oraz wybranego rodzaju pracy. Następnie sygnał prędkości zadanej przetwarzany jest przez elektroniczny układ zadawania i kontroli prędkości jazdy - regulator jazdy oraz cyfrowy układ regulacji prędkości w przekształtniku tyrystorowym.

Ustawienie cyfrowego regulatora jazdy w zakresie długości drogi jazdy naczynia wyciągu (z uwagi na różne miejsca eksploatacji przewoźnej maszyny wyciągowej) może dokonać obsługa za pomocą monitora dotykowego zabudowanego na stanowisku sterowniczym maszyny wyciągowej. Wartość położenia naczynia wyciągowego obliczona w cyfrowym wskaźniku głębokości uwzględnia zmianę średnicy kolejnych warstw nawijania liny nośnej.

Układ sterowania i regulacji prędkości pozwala na osiągnięcie maksymalnych poziomów prędkości liny nośnej, skojarzonych z rodzajem pracy wyciągu i wynoszących odpowiednio 0,3 m/s; 0,5 m/s; 1,0 m/s; 1,55 m/s (prędkość liniowa przy nawijaniu zewnętrznej, siódmej warstwy na bębnie nawojowym).

Na warunkach szczególnych, określonych przez kierownika działu energomechanicznego zakładu górniczego, w instrukcji ewakuacji ludzi z szybu, w celu umożliwienia kontrolowanego przemieszczenia naczynia wyciągowego w szybie, po wprowadzeniu hasła w panelu operatorskim, można uruchomić funkcję „grawitacyjne przemieszczanie naczynia”, pozwalającą na przemieszczenie naczynia wyciągowego bez udziału układu napędowego, z wykorzystaniem działania grawitacji i regulowanego momentu hamującego tarczowego hamulca maszyny wyciągowej [7].

W przypadku uszkodzenia w części elektrycznej napędu maszyny wyciągowej, przy zachowaniu sprawności działania hamulca, istnieje możliwość kontrolowanego, grawitacyjnego opuszczenia nadwagi. Jest to funkcja programowa, umożliwiająca np. opuszczenie załogi rewizyjnej znajdującej się w naczyniu wyciągowym do najbliższego poziomu. Uwzględniając fakt, iż maszyna wyciągowa stosowana jest w wyciągu jednokońcowym, praktycznie zawsze występująca nadwaga będzie wystarczająca do wywołania ruchu bębna.

W celu usprawnienia załączenia funkcji grawitacyjnego przemieszczania naczynia muszą być spełnione następujące warunki:

- maszyna wyciągowa zahamowana,
- obwód bezpieczeństwa maszyny wyciągowej - wyłączony.

Załączenie grawitacyjnego przemieszczania naczynia powoduje zablokowanie pracy przekształtnika tyrystorowego.

Po załączeniu grawitacyjnego przemieszczania naczynia, nie są uwzględniane programowo następujące zabezpieczenia:

- załączenie przekształtnika,
- sprawność napędu,

- kontrola awaryjnego zatrzymania za pomocą napędu,
- kontrola przed zmniejszeniem momentu obciążenia przy jeździe naczynia w dół,
- kontrola odhamowania zablokowanej maszyny,
- kontrola przekaźników sterowanych przez PLC,
- kontrola zestyków wejściowych do PLC,
- kontrola zahamowania przy awaryjnym zatrzymaniu napędem,
- kontrola podprądowa wzbudzenia silnika napędowego,
- kontrola nadprądowa wzbudzenia silnika napędowego (PKN1),
- kontrola nadprądowa obwodu głównego (M_NIG).

Po włączeniu funkcji grawitacyjnego opuszczania, warunkiem koniecznym dla przeprowadzenia tej procedury jest sprawność wszystkich układów, za wyjątkiem zabezpieczeń wymienionych powyżej oraz załączenie obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej.

W celu wykonania ruchu naczynia wyciągowego w warunkach kontrolowanego grawitacyjnego opuszczania nadwagi, należy za pomocą dźwigni hamulca uprawnić regulację ciśnienia w instalacji hamulca i zadać wartość prędkości nastawnikiem kierunku i zadania prędkości (ster jazdy). Prędkość opuszczania jest utrzymywana za pomocą wewnętrznego regulatora prędkości, zaimplementowanego w sterowniku PLC, który wypracowuje taką wartość sygnału sterującego dla zaworu proporcjonalnego, aby ciśnienie w instalacji hamulca zapewniało siłę hamującą, zdolną do zrealizowania opuszczania nadwagi z zadaną prędkością. Efektywna prędkość grawitacyjnego opuszczania nadwagi zawiera się w przedziale $0 \div 0,7$ m/s. Podczas grawitacyjnego opuszczania nadwagi układ zabezpieczeń monitoruje prędkość jazdy, a w przypadku przekroczenia prędkości 1 m/s, inicjuje przerwanie obwodu bezpieczeństwa.

Wyłączenie funkcji grawitacyjnego opuszczania nadwagi następuje po przywróceniu pełnej sprawności układu napędowego maszyny wyciągowej oraz potwierdzeniu tego faktu z systemu wizualizacji.

5. Podsumowanie

Przedstawione przykłady to rozwiązania innowacyjne, wykorzystujące najnowsze podzespoły automatyki sterowania. Zastosowanie swobodnie programowalnych sterowników PLC pozwala maksymalnie zwiększyć walory użytkowe wprowadzanych zespołów urządzeń. Możliwość dostosowania oprogramowania do potrzeb użytkownika, sprawna diagnostyka błędów, pełna wizualizacja procesu technologicznego, jakim jest ruch górniczego wyciągu szybowego i współpraca z pozostałymi elementami transportu pionowego, to niezaprzeczalne zalety wprowadzonych w ostatnich latach rozwiązań. Możliwość budowy zespołów urządzeń elementów górniczych wyciągów szybowych pozwala użytkownikom zrealizować zadania inwestycyjne metodą „drobnych kroków”, a użytkownikowi końcowemu zapewnia możliwość modernizacji elementów górniczego wyciągu szybowego w miejscach newralgicznych. Warunkiem powodzenia tak przyjętego procesu modernizacji jest konsekwencja działania, zmierzająca do osiągnięcia zamierzonego celu. Opóźnienia, bądź zmiany w kierunkach procesu modernizacji mogą jednak spowodować, iż finalny efekt nie będzie zgodny z oczekiwaniami. Dotyczy to w szczególności próby wykorzystania wyeksploatowanych podzespołów maszyn wyciągowych, często pozyskanych z likwidowanych zakładów górniczych. Oszczędności, okazują się iluzoryczne w zetknięciu z twardymi regułami konieczności zapewnienia pełnej sprawności maszyny wyciągowej, podstawowego elementu górniczego wyciągu szybowego.

Przedstawione przykładowe rozwiązania zespołów urządzeń maszyn wyciągowych zawierają aplikacje grawitacyjnego opuszczania nadwagi, możliwego do wykorzystania w przypadku ewakuacji ludzi z naczyń wyciągowych, w przypadku awaryjnego zatrzymania ruchu wyciągu wskutek uszkodzenia układu napędowego. W trakcie procedury dopuszczania do stosowania w zakładach górniczych zespołów urządzeń maszyn wyciągowych przedmiotowych wyciągów, pozytywnie oceniono zaproponowane rozwiązania, podkreślając jednocześnie celowość ich wprowadzenia, w celu zminimalizowania prawdopodobieństwa unieruchomienia naczynia wyciągowego i powstania sytuacji awaryjnej [6].

Na szczególną uwagę zasługuje fakt maksymalnego wykorzystania możliwości technicznych, jakie daje stosowanie w budowie zespołów maszyn wyciągowych swobodnie programowalnych sterowników logicznych PLC oraz wykorzystanie rozbudowanych, przyjaznych dla użytkownika aplikacji wizualizacji stanów pracy maszyn wyciągowych.

W najbliższej przyszłości należy oczekiwać kolejnych rozwiązań technicznych, umożliwiających podniesienie poziomu bezpieczeństwa użytkowania wyciągów szybowych. Oczekiwane są też nowe rozwiązania urządzeń bezprzewodowej sygnalizacji i łączności szybowej, umożliwiające przekazanie znacznie większej liczby sygnałów z poruszającego się naczynia wyciągowego i zapewnienia optymalnego pod względem bezpieczeństwa systemu sterowania i zabezpieczeń.

Literatura

- [1] Wojtowicz W., Zygmunt A.: Dekapitalizacja techniczna elementów wyciągów szybowych zagrożeniem bezpieczeństwa pracy. W: Transport Szybowy 96: Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Gliwice, 8-10 październik 1996. T.1. Gliwice: CMG KOMAG, 1996, s. 69-72.
- [2] Hansel J. i in.: Syntetyczna ocena poziomu technicznego i określenie kierunków modernizacji górniczych wyciągów szybowych eksploatowanych w Polsce W.: Metodyka kształtowania bezpieczeństwa transportu pionowego w polskich zakładach górniczych. Red. J. Hansel. Kraków: AGH. Zeszyty Naukowo-Techniczne AGH, 2007, z. 40, s. 84-105.
- [3] Hansel J.: Niezawodność i bezpieczeństwo systemów maszynowych transportu pionowego – wyniki wybranych prac naukowych Katedry Transportu Linowego AGH W: Transport Szybowy 2007: IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Szczyrk, 17-19 wrzesień 2007. T.!. Gliwice: CMG KOMAG, 2007, s. 13-28.
- [4] Kiercz M., Krajczok J., Szczygieł M.: Zmiany w górniczych wyciągach szybowych będące w latach 2004-2007 przedmiotem badań kontrolnych odbiorczych Urzędu Górniczego do Badań Kontrolnych Urządzeń Energomechanicznych. W: transport Szybowy 2007: IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Szczyrk, 17-19 wrzesień 2007. T.!. Gliwice: CMG KOMAG, 2007, s. 5-12.
- [5] Cholewa J., Hałupczok P., Małecki J., Oleksy A.: Ocena maszyn wyciągowych na podstawie ich wyposażenia i zastosowanych rozwiązań technicznych. W: Transport Szybowy 2007: IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Szczyrk 17-19 wrzesień 2007. T.1. Gliwice: CMG KOMAG, 2007, s. 35-40.

- [6] Kiercz M., Szczygieł M.: Zmiany w górniczych wyciągach szybowych w latach 2004-2007, przedmiotem badań kontrolnych odbiorczych urzędu Górniczego do Badań Kontrolnych Urządzeń energomechanicznych. W: Problemy Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Polskim Górnictwie: X Konferencja. Mysłowice, 27-28 marzec 2008. Katowice: WUG, 2008, s. 121-127.
- [7] Kiercz M., Szczygieł M.: Grawitacyjne opuszczanie nadwagi naczyń wyciągowych w przypadku awaryjnego zatrzymania ruchu maszyny wyciągowej górnictwa wyciągu szybowego. W: Transport szybowy: monografia. Red. nauk. A. Klich, A. Koziel. Gliwice: ITG KOMAG, 2009, s. 1-11.
- [8] Dokumentacja fotograficzna udostępniona przez firmy: MWM ELEKTRO Sp. z o.o. w Trzebini i PPUH „ELCAM” Sp. z o.o. w Świętochłowicach.

Czy wiesz, że

... analitycy z australijskiego oddziału brytyjskiej firmy badawczej Timetric opracowali szczegółową prognozę globalnego zapotrzebowania na węgiel do 2020 roku. Zgodnie z ich ocenami, najbliższe pięć lat to okres zmniejszania eksploatacji i wykorzystania węgla w krajach należących do światowych potentatów, czyli Chin i USA. Stały spadek zużycia węgla w ich gospodarkach obserwuje się od roku 2014. Jednak szacunki ekspertów wykazują, że nadal istnieją szanse na wzrost światowego wydobycia węgla o 1,6%, czyli osiągnięcie 8,6 miliarda ton w roku 2020. Będzie to możliwe głównie za sprawą krajów rozwijających się, w szczególności Indii. Jak wykazują badania, Indie planują systematyczne zwiększanie wydobycia własnych zasobów węgla oraz planują znaczny import tego surowca w analizowanym okresie. Przewidywany jest również wzrost wydobycia w Rosji i krajach wywodzących się dawnego Związku Radzieckiego.

World Coal 2016 nr 1 s.12