

mgr inż. ANDRZEJ HERBUT  
KGHM S.A. Oddział Zakłady  
Górnictwo „Polkowice-Sieroszowice”  
mgr inż. LESZEK GAWRON  
mgr inż. MAREK MACIEJCZYK  
OPA-ROW sp. z o.o. Rybnik

## Modernizacja maszyny wyciągowej

*W artykule przedstawiono metodykę modernizacji maszyny wyciągowej polegającą na zastosowaniu bezpośredniego regeneratywnego przemiennika częstotliwości średniego napięcia, wymianie układu zasilania i sterowania maszyny oraz układu hamulca pneumatycznego. Omówiono również komputerowy system wizualizacji i rejestracji pracy maszyny wyciągowej.*

### WSTĘP

---

Podstawowym elementem górniczych wyciągów szybowych są maszyny wyciągowe. Muszą one charakteryzować się dużą niezawodnością działania oraz zapewniać wysoki poziom bezpieczeństwa, gdyż ich wadliwe działanie czy też awaria mogą doprowadzić do katastrofy wyciągu. W celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa oraz niezawodności pracy dokonuje się modernizacji maszyn wyciągowych z wykorzystaniem najnowszych technologii [1].

Modernizacja ta polega między innymi na zastąpieniu istniejącego układu oporowej regulacji prędkości obrotowej silnika asynchronicznego nowym układem zasilania silnika wyciągowego umożliwiającą bezstopniową regulację prędkości jazdy, który zrealizowany został w oparciu o bezpośredni regeneratywny przemiennik częstotliwości średniego napięcia (6 kV), [2]. Zmodernizowano również układ zasilania i sterowania maszyny wyciągowej oraz zastosowano elektropneumatyczny układ sterowania hamulca współpracujący z nowym układem sterowania maszyny wyciągowej. Wymieniono także układy sterowania i zabezpieczeń, zadawania i regulacji prędkości maszyny oraz układy sygnalizacji awaryjnej i informacyjnej maszyny wyciągowej. Modernizację wykonano w oparciu o sterowniki swobodnie programowalne, które w znacznym stopniu pozwoliły na zwiększenie precyzji sterowania i skuteczności oraz niezawodności zabezpieczeń.

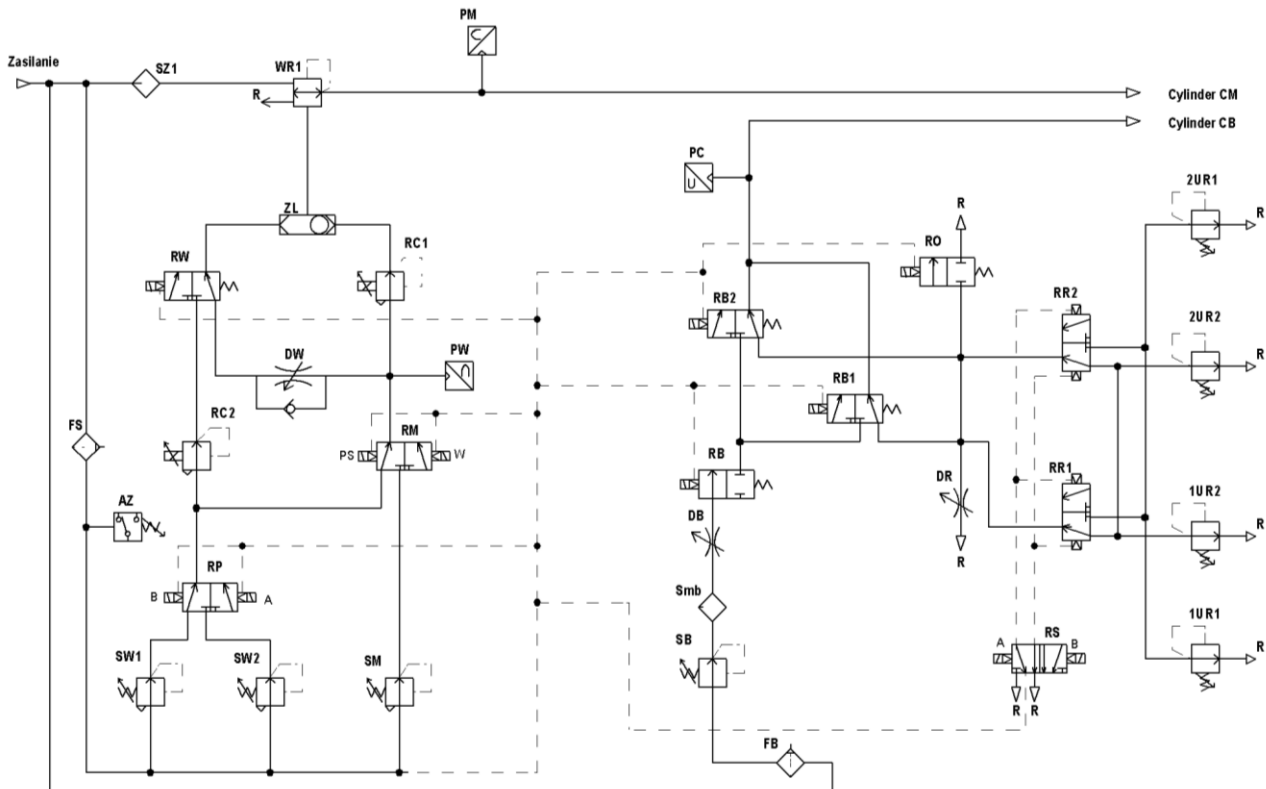
Zastosowano również komputerowy system wizualizacji i rejestracji pracy maszyny, wyświetlający na ekranie monitora informacje o stanie maszyny wyciągowej. System ten pozwala na łatwą kontrolę wszystkich parametrów pracy maszyny, jak również umożliwia szybką diagnostykę stanów awaryjnych.

### MODERNIZACJA UKŁADU HAMOWANIA

---

Do zmodernizowania hamulca wykorzystano elektropneumatyczny układ sterowania cechujący się wysoką niezawodnością i funkcjonalnością. Przeznaczony jest on do stosowania w maszynach wyciągowych wyposażonych w hamulce powietrzno-ciężarowe o działaniu naporowym o niesumujących się siłach. Realizuje on zarówno funkcje hamowania manewrowego, jak i hamowania bezpieczeństwa. Układ ten umożliwia dwuwariantowe hamowanie bezpieczeństwa z dwoma możliwymi do uzyskania siłami hamującymi zależnie od wartości aktualnej nadwagi. Struktura pneumatyczna zastosowanego układu została przedstawiona na rysunku 1.

Procedury sterowania hamulcem realizują sterowniki układu sterowania i zabezpieczeń maszyny wyciągowej, które za pośrednictwem elementów wykonawczych umieszczonych w szafie pneumatycznej sterują ciśnieniami w cylindrze manewrowym oraz cylindrze bezpieczeństwa.



Rys. 1. Schemat pneumatyczny układu sterowania hamulca

Elektropneumatyczny układ sterowania hamulca może zostać wykorzystany podczas awarii napędu lub układu zasilania maszyny do grawitacyjnego przemieszczania naczyń. Funkcja ta umożliwia ewakuację ludzi uwięzionych w zatrzymanym w szybie naczyniu poprzez przemieszczenie naczynia do dostępnego poziomu. Awaryjne przemieszczanie naczyń może być wykorzystywane jedynie w przypadku, gdy naczynia mają swobodę ruchu w szybie, tzn. uszkodzeniu nie uległy liny, naczynia, zbrojenie szybu oraz inny elementy ograniczające ten ruch. Naczynia muszą być także na tyle niezrównoważone, że nadwaga statyczna jest w stanie pokonać statyczne opory ruchu.

## MODERNIZACJA I USPRAWNIE STEROWANIA UKŁADEM NAPĘDOWYM

Obok modernizacji sterowania hamulca, drugim podstawowym celem modernizacji było usprawnienie układu napędowego, tak aby umożliwiał on bezstopniową regulację prędkości jazdy. W tym celu zastosowano bezpośrednio regeneratywny, czterokwadrantowy przemiennik częstotliwości średniego napięcia 6 kV o mocy 1400 kVA umożliwiający zwrot energii hamowania do sieci. Przemiennik ten jest samodziel-

nym elementem sterowania maszyny wyciągowej umożliwiającym zasilanie i regulację prędkości obrotowej silnika wyciągowej. Jest on zasilany bezpośrednio napięciem trójfazowym 6 kV, a jego wyjście podłączone jest do stojana silnika maszyny wyciągowej. W zależności od prędkości zadanej na jego wyjściu pojawia się napięcie o odpowiedniej amplitudzie i częstotliwości. Wielkości te są wyznaczone przez wewnętrzny układ regulacji prędkości przemiennika pracującego w zamkniętej pętli regulacji w celu osiągnięcia prędkości zadanej. Jako sprzężenie prędkościowe wykorzystany został sygnał z enkodera zainstalowanego na wale silnika maszyny wyciągowej podłączonego bezpośrednio do wejścia przemiennika.

Zastosowany przemiennik częstotliwości składa się między innymi z suchego transformatora wielouzwojeniowego zasilanego napięciem 6 kV i 18 kompletów trójfazowych uzwojeń wtórnych na napięcie 550 VAC o sześciu grupach połączeń dających napięcia przesunięte w fazie o  $\pm 5^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$  i  $\pm 25^\circ$  stopni. Do uzwojeń wtórnych transformatora przyłączone są cele mocy, z których każda zawiera wejściowy prostownik trójfazowy PWM, kondensatory obwodu pośredniego DC oraz jednofazowy falownik wyjściowy. Funkcjonalnie każda z 18 cel mocy stanowi kompletny jednofazowy regeneratywny przemiennik częstotliwości niskiego napięcia. Wyjścia cel są z kolei

łączone szeregowo po 6 dla uzyskania napięcia jednej fazy zasilania linii wyjściowej (około 3,5 kV). Taki układ połączeń zapewnia zbliżony do sinusoidy i pozbawiony przepięć komutacyjnych przebieg napięcia na zaciskach silnika.

Podstawę układu sterowania i zabezpieczeń maszyny wyciągowej stanowią dwa sterowniki programowalne PLC typu CompactLogix firmy Rockwell Automation. Są to sterowniki mikroprocesorowe 32-bitowe z układem pamięci RAM 1,5 MB, których zastosowanie zapewnia szybką realizację algorytmów sterowania, regulacji i zabezpieczeń. Do konfiguracji, programowania i uruchamiania oprogramowania sterowników CompactLogix przeznaczony jest pakiet oprogramowania RSLogix 5000 firmy Rockwell Software Inc. Umożliwia on w sposób prosty i przejrzysty programować sterowniki. Programy są zapisywane w nieulotnej pamięci procesora oraz na przemysłowej karcie pamięci CompactFlash, gdzie robiona jest kopia zapasowa oprogramowania. Sterowniki zasilane są napięciem 24V DC poprzez układ baterijnego podtrzymania UPS.

Każdy ze sterowników posiada własne karty rozszerzeń wejść/wyjść oraz sieć rozproszonych modułów wejść/wyjść sieci DeviceNet. Karty te służą między innymi do odczytu sygnałów z czujników i przetworników, jak również do sterowania elementami wykonawczymi, takimi jak np. przekaźniki, styczniki, zawory. Zastosowanie szybkiej sieci sprzętowej DeviceNet o szybkości do 500 kb/s pozwoliło na maksymalne uproszczenie okablowania, gdyż większość modułów wejść/wyjść można było umieścić bezpośrednio w podzespołach znajdujących się z dala od szafy sterującej. Takimi podzespołami są między innymi: elektropneumatyczny układ sterowania hamulca +HP, pulpit, pole rozdzielni 6 kV, skrzynka wejść/wyjść sygnałów sygnalizacji szybowej. Każdy zastosowany system sieciowy posiada układ kontroli i diagnostyki. Brak komunikacji lub zakłócenie z dowolnym modułem wywołane uszkodzeniem modułu lub połączeń sieciowych powoduje zadziałanie odpowiedniego zabezpieczenia. Do wymiany danych pomiędzy sterownikami wykorzystano sieć transmisyjną Ethernet, która pozwala na przesyłanie danych z prędkością 100 Mb/s. Zastosowanie tego typu połączenia umożliwia pełne wykorzystanie możliwości obliczeniowych obu sterowników. Sieć Ethernet służy także do połączenia sterowników z systemem wizualizacji i rejestracji, co daje możliwość przesyłania w czasie rzeczywistym wszystkich niezbędnych danych w celu ich wizualizacji i rejestracji.

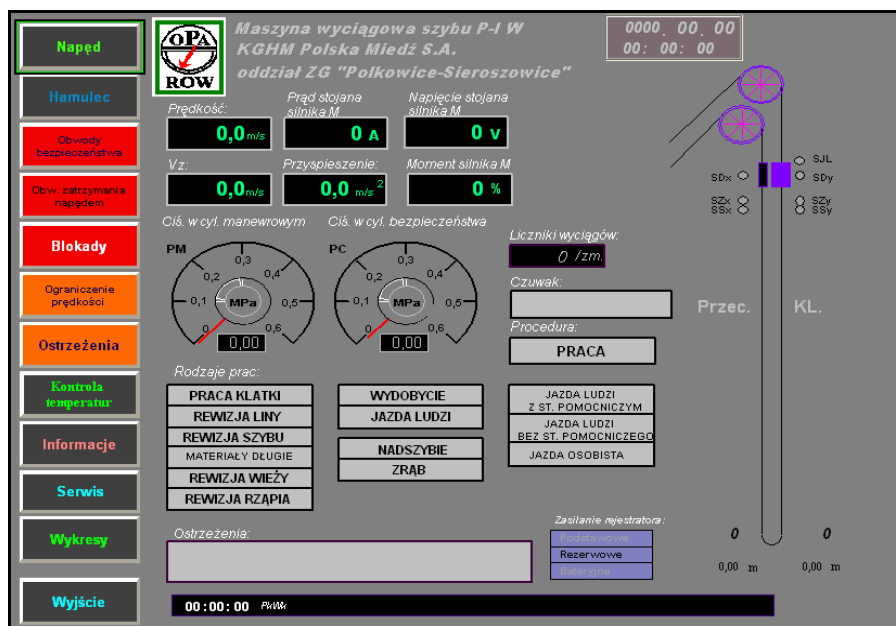
Poprzez zastosowanie dwóch sterowników zwiększony został istotnie poziom bezpieczeństwa. Wszystkie ważne parametry wyciągu szybowego

kontrolowane są przez przynajmniej dwa niezależne czujniki lub przetworniki. Dodatkowo poprawność sygnałów wejściowych i wyjściowych jest kontrolowana w każdym sterowniku. Sprawdzane są pętle prądowe czujników analogowych oraz prądowe pętle wyjściowe. Kontrolowana jest funkcjonalność (zmiana stanu) czujników dwustanowych, a także wyjściowe sygnały dwustanowe, czy to np. przez kontrolę czujników zaworów, czy za pomocą styków pomocniczych styczników wykonawczych. Każdy ze sterowników na podstawie sygnałów własnych czujników posiada kontrolę parametrów pracy maszyny i całego wyciągu szybowego, a w przypadku wykrycia nieprawidłowości działania może niezależnie od stanu drugiego sterownika wywołać dwoma niezależnymi sygnałami hamowanie bezpieczeństwa hamulcami. Prócz procedury awaryjnego hamowania każdy ze sterowników może wywołać również procedurę zatrzymania napędem, blokadę oraz ograniczenia prędkości.

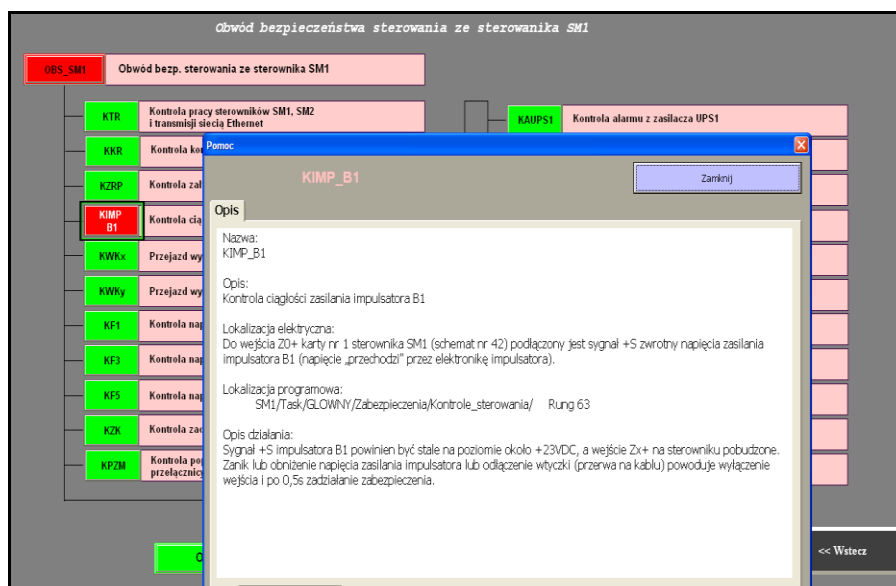
Do wyznaczania położenia naczyń wykorzystano dwa enkodery inkrementalne (impulsatory) – jeden sprzężony z wałem silnika wyciągowego, a drugi z wałem głównym maszyny. Każdy ze sterowników indywidualnie odczytuje sygnały za pomocą karty szybkiego licznika i na podstawie liczby zliczonych impulsów wyznacza położenie naczyń w szybie, jak i prędkość maszyny. Położenia naczyń są zapamiętywane w pamięci nieulotnej sterowników, co zapobiega utracie informacji o położeniu po zaniku zasilania. W przypadku, gdy położenia różnią się w obydwu sterownikach, wówczas następuje natychmiastowe zadziałanie odpowiedniego zabezpieczenia.

Układ regulacji prędkości znajduje się bezpośrednio w przemienniku częstotliwości. Sygnał zadania jest generowany w jednym ze sterowników układu sterowania maszyny. Sterownik ten, na podstawie położenia naczyń, oblicza dopuszczalną prędkość dla każdego naczynia w danym miejscu szybu i wyznacza tzw. diagram prędkości dopuszczalnej. Następnie na podstawie sygnału z drążka steru oraz diagramu prędkości dopuszczalnej wyznacza sygnał zadania do przemiennika częstotliwości regulującego prędkość obrotową silnika napędowego maszyny wyciągowej.

Do współpracy pomiędzy układem sterowania, regulacji i zabezpieczeń maszyny a obsługą służy system wizualizacji i rejestracji. Podstawowym elementem tego systemu jest komputer przemysłowy z monitorem wyposażonym w nakładkę dotykową oraz sterownik pomocniczy PLC. Wizualizowane i rejestrowane sygnały są pobierane z pamięci sterowników i przedstawiane na monitorze lub zapisywane na dyskach typu flash komputera. Komunikacja ze ste-



Rys. 2 Widok planszy głównej systemu wizualizacji



Rys. 3. Przykładowe informacje wyświetlane przez system w przypadku awarii

rownikami odbywa się za pośrednictwem sieci Ethernet. System ten jest całkowicie niezależny od układu sterowania, regulacji i zabezpieczeń.

## WIZUALIZACJA PRACY MASZYNY WYCIĄGOWEJ

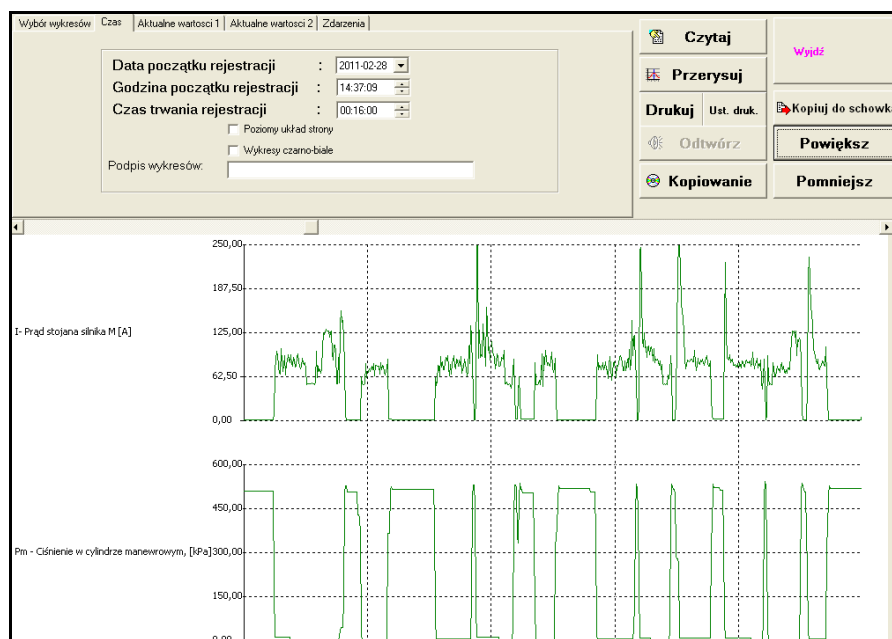
System wizualizacji z punktu widzenia użytkownika jest najistotniejszą częścią układu sterowania zapewniającym wysokie walory użytkowe. System wizualizacji zapewnia prezentację wszystkich parametrów zarówno analogowych, jak i dwustanowych,

a także umożliwia zmianę pewnych parametrów z poziomu wizualizacji. Na rysunku 2 przedstawiona jest plansza główna tego systemu.

System ten odpowiedzialny jest za wyświetlenie informacji o pobudzonych zabezpieczeniach i sposobie usunięcia ewentualnych awarii. Na monitorze komputera jest wyświetlona szczegółowa informacja, na podstawie sygnałów których czujników i przetworników sterowniki wygenerowały sygnał awarii. System identyfikuje także linie programu w sterownikach, w których nastąpiło wytworzenie sygnału awaryjnego wyłączenia czy blokady. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe informacje wyświetlane przez system w przypadku awarii.



Rys. 4. Ekran obsługi wyjść pomiarowych



Rys. 5. Przykładowe wykresy wyświetlane przez system z zastosowaniem funkcji „przeglądarki”

System wizualizacji umożliwia również i ułatwia przeprowadzenie kontroli i testów poprawności działania maszyny wyciągowej. Sterowniki wyposażone są w karty wyjściowe z rezerwowymi wyjściami analogowymi i dwustanowymi, na które za pomocą układu wizualizacji mogą być przesłane wybrane zmienne programu (np. prąd, napięcie, wzorce kontroli prędkości itp.) celem rejestracji na rejestratorze kontrolnym (rys. 4). Układ wizualizacji umożliwia także uruchomienie funkcji „oscylloskopu” wizualizowanych zmiennych sterowników. Z ekranów systemu wizualizacji dzięki możliwości ingerencji w programy sterowników możliwa jest kontrola poprawności działania zabezpieczeń.

Poza sygnałami dwustanowymi i analogowymi system wizualizacji i rejestracji ma możliwość rejestracji sygnałów akustycznych. Za pośrednictwem mikrofonu rejestrowany jest sygnał akustyczny dzwonu wykonawczego sygnalizacji szybowej, który jest zapisywany na dysku komputera w postaci pliku audio.

Przeglądanie zarejestrowanych sygnałów możliwe jest dzięki przeglądarce wykresów zainstalowanej na komputerze systemu wizualizacji i rejestracji. Program ten umożliwia odczyt zarejestrowanych wcześniej danych w postaci wykresów, jak również pozwala na ich wydrukowanie. Przykładowy obraz przeglądarki przedstawia rysunek 5.

Przeładowarka ta posiada również funkcję wyszukiwania zdarzeń, polegającą na wyszukiwaniu sygnałów dwustanowych, które w danym przedziale czasowym zmieniły swój stan. Pozwala to na szybkie znalezienie, które zabezpieczenie maszyny wyciągowej zostało zainicjowane w określonym czasie. Ułatwia to diagnozę usterki w sytuacjach awaryjnych. Aplikacja przeglądania plików zarejestrowanych w układzie wizualizacji może być również zainstalowana na innym komputerze i umożliwiać przegląd, edycję i wydruk dowolnych z zarejestrowanych danych.

## PODSUMOWANIE

---

Modernizacja maszyny wyciągowej z wykorzystaniem nowoczesnych technologii i rozwiązań technicznych zwiększy sprawność energetyczną, poziom

niezawodności działania i bezpieczeństwo pracy. Zastosowane rozwiązanie pozwala na prostą wizualizację stanów pracy głównych elementów maszyny z możliwością ich monitoringu „on-line” oraz podgląd zaistniałych zdarzeń podczas pracy normalnej i awaryjnej, co w znacznym stopniu poprawia precyzję sterowania oraz komfort obsługi wyciągu.

### Literatura

1. *Kosnocki E., Manitus J., Szklarski L., Szwiertnia W.*: Napędy elektryczne maszyn wyciągowych. PWN- 1957.
2. *Szklarski L., Zarudzki J.*: Elektryczne maszyny wyciągowe. PWN 1998.

*Recenzent: dr inż. Grzegorz Wiśniewski*

---

## MODERNIZATION OF A WINDING MACHINE

The article presents a methodology of a winding machine modernization. The methodology is based on the use of a medium-voltage regenerative converter, the replacement of the machine supply and control system along with the air-brake system. Additionally, a computer-based system for visualization and registration of the winding machine operations was described.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДЪЁМНОЙ МАШИНЫ

В статье представлена методика модернизации подъёмной машины, основанная на использовании непосредственного регенерированного преобразователя частоты среднего напряжения, замене системы питания и управления машины, а также системы пневматического тормоза. Рассмотрена также ая система визуализации и учёта работы подъёмной машины.