

Janusz SZPYTKO¹
Jerzy CHODACKI²

ANALIZA EWOLUCJI WYBRANYCH ZESPOŁÓW DŹWIGNIC

Przedmiotem artykułu jest analiza ewolucji wybranych systemów i środków transportu technologicznego na przykładzie wybranych zespołów dźwignic: konstrukcji nośnych, mechanizmów napędowych i ich elementów, silników, zasilania, sterowania mechanizmami i materiałów konstrukcyjnych.

EVOLUTION ANALYSIS OF SELECTED UNITS OF CRANE

The paper is reviewing known evolution process of selected units of cranes observed during last app. 40 years. Authors are focusing on: bridge constructions, driving mechanisms, used engines, supplying devices, control devices and used construction materials.

1. WSTĘP

Na przestrzeni lat nastąpiła ewolucja w zakresie przedmiotu transportu: od ładunków jednostkowych (sztukowych, postaciowych) do ładunków zunifikowanych zintegrowanych na bazie kontenera (EU palet). W rezultacie zastosowania w przemyśle koncepcji odchudzania (ang. *lean management*) i rozwoju automatyki i technologii informatycznych nastąpiła ewolucja w budowie środków transportu technologicznego.

Przedmiotem artykułu jest analiza ewolucji wybranych systemów i środków transportu technologicznego na przykładzie wybranych zespołów dźwignic.

2. KONSTRUKCJE NOŚNE DŹWIGNIC

Wiodącą w Polsce przez lata w zakresie dźwignic był OBRDiUT DETRANS w Bytomiu. Ewolucję konstrukcji dźwignic prześledzono na przykładzie konstrukcji żurawi portowych i suwnic bramowych.

Prace konstrukcyjne żurawi portowych realizowano w OBRDiUT DETRANS, w Dziale

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki; 30-059 Kraków; al. Mickiewicza 30.
Tel.: +48 12 6173103, Fax.: +48 12 6173531
E-mail: szpytko@agh.edu.pl

²Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki; 30-059 Kraków; al. Mickiewicza 30.
Tel.: +48 12 6173104

Rozwoju Konstrukcji Dźwignic Portowych od 1946 r. Tematyka projektowo-konstrukcyjna obejmowała żurawie portowe, stoczniowe i przemysłowe. Zaprojektowano żurawie portowe wypadowe czteroprzegubowe hakowe i chwytakowe posadowione na bramach, opracowano typoszereg żurawi drobnicowych hakowych jednoprzegubowych bramowych z obrotem na słupie obrotowym, typoszereg żurawi chwytakowych bramowych i przejezdnych na bramie wypadowych czteroprzegubowych z obrotem na słupie stałym, typoszereg żurawi stoczniowych wypadowych jednoprzegubowych, typoszereg żurawi ze stałym wycięgiem przeznaczonych do obsługi składowisk surowcowych chwytakowych przejezdnych po estakadzie lub bramie z obrotem na słupie stałym.

Projektowaniem suwnic bramowych zajmowano się od 1945 r. w OBRDiUT DETRANS, w Dziale Rozwoju Konstrukcji Suwnic Bramowych. Ze względu na budowę rozróżniono następujące konstrukcje: suwnice bramowe ciągarkowe chwytakowe, ciągarkowe hakowe, specjalne oraz kontenerowe. W oparciu o wykonane dokumentacje przeprowadzono typizację i unifikację suwnic bramowych otrzymując dwa typoszeregi i jedną unifikację. Pozwoliło to na opracowanie sześciu polskich norm i dwóch branżowych, określających parametry oraz warunki wykonania i eksploatacji. Prace projektowe doprowadziły do zmniejszenia mas konstrukcji nośnych bram, pracochłonności wykonania oraz wzrostu niezawodności. Konstrukcje nośne, początkowo kratownicowe nitowane, zastąpiono spawanymi skrzynkami, dwudźwigarowe zmieniono na jednodźwigarowe. Do zadań szczególnych zaprojektowano suwnice z wciągarkami hakowo-chwytakowymi oraz z wciągarkami hakowymi i przenośnikami stałymi i rewersyjnymi podwieszonymi pod dźwigarem. Suwnice bramowe specjalne projektowano na określone zamówienia i przeznaczone do wykonywania konkretnych zadań, jak obsługa zapór wodnych, odsiarczalni gazu, maszynowni elektrowni ciepłych. Zaprojektowano suwnice bramowe i półbramowe z żurawiem lub chwytakiem, mosty przeładunkowe z wciągarką przejezdną.

Projektowane do lat osiemdziesiątych XX wieku stalowe konstrukcje nośne dźwignic spełniały podstawowe wymagania, czyli zapewniały niezawodność i technologiczność. Niezawodność użytkową konstrukcji nośnej obejmowała jej własności wytrzymałościowe, trwałość oraz sztywność, a także łatwość ochrony przed korozją. Technologiczność kształtowanego ustroju obejmowała łatwość jego wykonania, możliwość przewozu na miejsce montażu oraz bezproblemowy montaż wraz ze spełnieniem wszystkich wymogów jego bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Oczekiwano, aby konstrukcja była materiałowo oszczędna i składała się z elementów prostych do wykonania i łatwych do połączenia określoną metodą. Konstrukcje nośne wykonywane były jako kratownice lub pełnościennie: blachownicowe i skrzynkowe. Stosowano połączenia nitowane lub spawane; połączenia nitowane stosowane były coraz rzadziej.

Konstrukcje nośne dźwignic przełomu lat XX i XXI wieku charakteryzują się prostotą budowy. W suwnicach pomostowych natorowych i podwieszanych, jedno- i dwudźwigarowych, ustroje nośne są wyłącznie konstrukcji pełnościennej. Nie konstruuje się dźwigarów kratownicowych. Główne elementy tych ustrojów, dźwigary i czołownice, często stanowią gotowe kształtowniki hutnicze o przekrojach otwartych, zamkniętych lub półotwartych. Wykorzystuje się kształtowniki gięte lub walcowane, spawane konstrukcje skrzynkowe. Czołownice łączone są z dźwigarami za pomocą śrub z napięciem wstępnym zapewniającym przenoszenie obciążeń siłami sprzężenia ciernego między łączonymi elementami. W przeciwieństwie do połączeń spawanych, umożliwia to przeprowadzenie

próbnego montażu u producenta w celu sprawdzenia prawidłowości geometrii całego ustroju nośnego, która ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia prawidłowej jazdy i zwiększenia trwałości kół jezdnych. W belkach czołownic koła jezdne osadzone są na wałkach łożyskowych tocznie lub jako zestawy kołowe mocowane za pomocą śrub lub sworzni.

Rynek producentów zapewnia szeroki asortyment produkowanych konstrukcji nośnych, przykładowo:

- suwnice pomostowe podwieszane, zwłaszcza dla przemysłu lotniczego, o udźwigu do 350 ton i rozpiętości do 80 metrów,
- suwnice wielokrotnie podwieszane na kilku torach; zastosowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych pozwala na przemieszczanie ładunku poprzecznie: z jednej do drugiej hali równoległej i następnej poprzez przejazd wciągarki z jednego mostu na drugi i trzeci po zaryglowaniu mostów na sąsiednich halach; mosty suwnic mogą być ryglowane w jedną całość bezpośrednio lub pośrednio przez część konstrukcji zamocowanej pod jezdnią między sąsiednimi halami,
- suwnice specjalistyczne, przykładowo do transportu płynnego metalu posiadają tłumiki, redukujące drgania, podnoszące bezpieczeństwo ich pracy,
- suwnice półbramowe posiadają koła bez obrzeży, brak jest jezdni dolnej na hali, koła jeżdżą po betonowej podłodze hali.

3. MECHANIZMY NAPĘDOWE I ICH ELEMENTY

Rozwiązania konstrukcyjne mechanizmów napędowych dźwignic projektowanych najczęściej do lat osiemdziesiątych XX wieku obejmowały łańcuchy kinematyczne właściwych zespołów/ elementów powstałe w rezultacie ukierunkowanych prac projektanta na ich wymiarowanie i następnie doborze z katalogów oraz projektowaniu pozostałych brakujących części. Elementy dźwignic produkowane były w typoszeregach wykorzystujących szereg Renarda.

Pod koniec lat 90-tych XX wieku konstrukcje mechanizmów dźwignic są bardziej zwarte. Przykładowo w rozwiązaniu wciągarek natorowych obudowa wciągnika jest elementem nośnym, powiązany po obu stronach z belkami jezdnyymi, w których jedna para kół jest napędzana centralnie przez motoreduktor. Mechanizmy jazdy o zwartej budowie posiadają motoreduktory z wolnoobrotowymi tulejami nasadzonymi na wałki kół napędzanych.. Mechanizmy posiadają często systemy monitorowania zapewniające bezpieczeństwo działania przy minimalnym zużyciu czy ewentualnym uszkodzeniu. Podstawowym elementem napędu wprowadzanym jest motoreduktor, stanowiący często element modułu mechanizmu.

Nowe wybrane rozwiązania konstrukcyjne stosowane w mechanizmach dźwignic i ich elementów wprowadzone w rozwiązania na przełomie XX i XXI wieku są następujące:

- na rynku dostępne są wciągarki seryjne o udźwigu do 400 ton, w układzie tandemowym dwu wciągarek udźwig wynosi do 800 ton,
- wszystkie wciągarki mogą być wyposażone we wciągnik pomocniczy na specjalnym wózku holowanym, połączonym z wózkiem głównym za pomocą sworzni,

- suwnice produkowane są jako seryjne - lekkie i średnie oraz procesowe - specjalistyczne; suwnice seryjne mają mechanizmy kompaktowe, natomiast procesowe tradycyjne, składane z elementów,
- moduły mechanizmów produkują się z wymiennymi elementami, przykładowo: koła jezdne, łożyska (nowość); połączenie wał - piasta jest wielowypustowe, co zapewnia łatwiejszy demontaż i wymianę elementów,
- stosowane są silniki sterowane przemiennikami częstotliwości o mocach od 15 do 132 [kW] lub sterowane tyrystorowo o mocach od 15 do 90 [kW],
- sterowanie mechanizmami ruchu dźwignicy przemiennikami częstotliwości wykorzystującymi wektorową technikę regulacji, umożliwiającymi automatyczne sterowanie pracą podsystemami wykonawczymi dźwignicy; posiadającymi monitor bezpiecznej pracy zbierający odpowiednie dane dotyczące bieżącej pracy podstawowych elementów i podzespołów podsystemu; rozwiązania takowe są przydatne w planowaniu procesów obsługowych oraz modernizacyjnych, wpływają na skrócenie czasów możliwych przestoju i kontrolę bieżących obciążeń wciągarki (przykładowo na podstawie sygnałów z tensometrycznego punktu pomiarowego na belce ramy wózka), odliczaniu teoretycznego czasu bezpiecznej pracy podsystemu według klasyfikacji FEM i generowaniu alarmów w przypadkach jego przekroczenia,
- motoreduktory zbudowane w układzie modułowym, które są nowym rozwiązaniem konstrukcyjnym zwartych przekładni zębatych walcowych, walcowo-stożkowych i planetarnych,
- elektromagnetyczne hamulce tarczowe; wywołują moment hamowania układem sprężynowym, luzowanie jest elektromagnetyczne, są zasilane prądem zmiennym lub prądem stałym,
- hamulce szczękowe, których zastosowanie jest uzasadnione w wielu konstrukcjach, w nowej wersji posiadają mniejsze gabaryty, przy jednoczesnym zachowaniu wymiarów przyłączeniowych oraz parametrów technicznych; zmniejszono liczbę czynności wykonywanych przez obsługę ułatwiającą kontrolę jego pracy; posiadają okładziny bezazbestowe, plecione lub prasowane; luz między szczękami zapewniają amortyzatory zamiast zderzaków; w dźwigni poziomej jest gniazdo umożliwiające ręczne odhamowanie hamulca za pomocą dźwigni,
- hamulec szczękowy mocowany jest do konsoli przekładni w ciężkich suwnicach procesowych,
- układy zasilające hamulce prądu stałego; prąd stały uzyskuje się poprzez prostowanie techniką półprzewodnikową prądu przemiennego,
- w praktyce stosowane są hamulce i sprzęgła proszkowe; elektromagnetyczne sprzęgło i hamulec proszkowy łączy w sobie cechy sprężyste sprzęgła hydrokinetycznego z ustaloną stabilnością pracy sprzęgła (hamulca) ciernego, moment obrotowy jest przekazywany przez specjalny, stopowy, suchy proszek ferromagnetyczny, którego lepkość można zmieniać przez modulowanie prądu cewki elektromagnesu; sprzęgła mogą wytrzymać ciągły poślizg przy dokładnie określonej i stabilnej wartości momentu obrotowego, wyznaczonego przez poziom wzbudzenia elektromagnesu; zastosowany proszek jest niewrażliwy na wzrost temperatury, dlatego sprzęgła posiadają stałą charakterystykę - moment obrotowy jest wprost proporcjonalny do prądu wzbudzenia,

- w mechanizmach jazdy stosowane są koła baryłkowe bez obrzeży z rolkami prowadzącymi; wózki podparte są trzypunktowo: jeżdżą na trzech kołach, a nie na czterech, geometrycznie idealnie rozwiązanie,
- w mechanizmach jazdy: zastosowano wahacze w układzie jezdny umożliwiające rozłożenie obciążeń na 6 kół jezdnych powodujące zmniejszenie nacisków na koła jezdne i szyny oraz lokalnych naprężeń zmęczeniowych w dźwigarach suwnicy, pozwalających w rezultacie na zmniejszenie masy dźwigarów konstrukcji,
- zastosowano nowe materiały konstrukcyjne: koła jezdne wykonuje się z żeliwa sferoidalnego, w systemach podwieszonych typu KBK i w żurawiach obrotowych słupowych i przyściennych, koła jezdne wykonuje się z tworzywa sztucznego przy łożyskowaniu tocznym (udźwig do 1 tony),
- rozwiązania w mechanizmach podnoszenia: liny dobierane są według norm FEM; poza przekładnią walcową, zastosowano dodatkowo przekładnię planetarną od strony silnika,
- w nowych konstrukcjach stosowane są liny o nowej konstrukcji: bez rdzenia, splotki o budowie zamkniętej zatopione są w tworzywie sztucznym nie stykając się ze sobą; lina jest elastyczna, brak jest tarcia między splotkami, przy przeginananiu na bębnie i krążkach przekrój okrągły odkształca się w owal eliptyczny, rowki na bębnie nacięte są w kształcie połowy elipsy, a nie okręgu,
- wciągniki linowe i łańcuchowe wyposażane są w silniki klatkowe o dwóch prędkościach lub z falownikiem; wciągniki mają modułową budowę, bez części spawanych, sterowanie za pomocą przekształtnika częstotliwości, z systemem monitorowania pracy w postaci pomiaru i analizy niezbędnych danych eksploatacyjnych,
- wciągniki łańcuchowe z wprowadzonymi elementami ułatwiającymi obsługę: licznik godzin pracy i łącze do diagnostyki; dzięki pozyskanym z układu monitoringu urządzenia informacji o jego stanie technicznym możliwe jest planowanie obsługi i czasu postoju systemu; elementy mechanizmu ruchu dźwignicy są bezobsługowe przez około 10 lat,
- zastosowano nowe rozwiązanie połączenia bębna linowego z przekładnią: za pomocą wału wolnobieżnego przekładni zakończonego kołnierzem skręcanym z płaszczem bębna (bęben jest bez osi).

Należy przypuszczać, że w kolejnych latach XXI wieku rozwijać się będą układy modułowe mechanizmów napędowych o dużej zwartości konstrukcji, ułatwiające remonty poprzez szybką wymianę uszkodzonego elementu, a ponadto układy monitorowania ich stanu technicznego w układach prewencyjnych obsług. Wprowadzanie rozwiązań mechatronicznych elementów/ zespołów dźwignic będzie możliwe po wypracowaniu właściwych dla warunków pracy dźwignic konstrukcji.

4. SILNIKI JAKO ŹRÓDŁO ENERGII W DŹWIGNICACH

W okresie do lat osiemdziesiątych XX wieku do napędu dźwignic stosowano przede wszystkim silniki elektryczne prądu stałego i prądu zmiennego o znormalizowanych napięciach, dla silników prądu stałego: 220 [V] i 440 [V], natomiast dla silników prądu zmiennego: 220 [V], 380 [V] i 500 [V]. Silniki prądu zmiennego trójfazowe pierścieniowe znalazły najszersze zastosowanie z powodu możliwości regulacji charakterystyki

mechanicznej silnika. Ponieważ charakterystyka mechaniczna silnika zależy od rezystancji obwodu wirnika to była możliwość wpływu na jej przebieg poprzez włączanie w obwód wirnika różnych zadawanych wielkości rezystancji.

Silniki prądu zmiennego trójfazowe klatkowe nie miały takiej regulacji i charakteryzują się tylko charakterystyką naturalną. Stosowano silniki jedno-klatkowe, dwu-klatkowe oraz z wirnikami głęboko żłobkowymi. W dźwignicach zabudowywano silniki o konstrukcji zamkniętej, mogące pracować wewnątrz i na zewnątrz oraz w otoczeniu zapyłonym. Ponieważ nie były całkowicie szczelne, nie mogły być użytkowane w atmosferze żrącej, łatwopalnej i wybuchowej. Mogły jednakże pracować w pozycji poziomej i pionowej, być mocowane na łapach lub kołnierzu. Silniki w dźwignicach służyły do pracy przerywanej i produkowane były dla względnego czasu pracy: 25%, 40%, 60% i 100%.

Na początku XXI wieku w dźwignicach obserwuje się zwiększanie zastosowania silników klatkowych z powodu możliwości płynnej regulacji prędkości. Natomiast możliwości w modernizacji konstrukcji silników są wyczerpane, ponieważ seria silników g jest ostatnią od około 1990 roku.

Napędy (silniki jako źródła energii) w dźwignicach zapewniają możliwość podnoszenia ładunku z co najmniej dwiema różnymi prędkościami poprzez silniki dwubiegowe umożliwiające skokową zmianę prędkości w stosunku do maksymalnie 1: 6, lub silniki jednobiegowe zasilane przez falownik z ciągłą regulacją prędkości. W napędach dwusilnikowych z silnikami o różnej mocy połączonych szeregowo przez reduktor możliwa jest skokowa zmiana prędkości w stosunku do maksymalnie 1:10. Stosowane są silniki jedno- lub dwu-biegowe klatkowe samohamowne o łagodnym rozruchu, które umożliwiają skokową zmianę prędkości w stosunku do maksymalnie 1:6. Przy zastosowaniu silników klatkowych samohamownych zasilanych z falowników umożliwiających także hamowanie zatrzymujące, hamulec mechaniczny spełnia funkcję hamulca postojowego i awaryjnego.

Wprowadzony system płynnej regulacji prędkości spowodował stosowanie silników klatkowych, zamiast powszechnie poprzednio używanych silników pierścieniowych z rozrusznikiem oporowym. Motoreduktory oraz silniki dźwignicowe do pracy przerywanej produkowane są jako:

- system modułowy składający się z elementów mechanizmów obejmujących przemienniki częstotliwości,
- elementy instalacji i zasilania, pozwalające konfigurować napędy dla każdego zapotrzebowania,
- silniki klatkowe z wirnikiem stożkowym lub wirnikiem cylindrycznym, z zabudowanym hamulcem dla mechanizmu jazdy i podnoszenia,
- silniki samohamowne,
- napędy z silnikami samohamownymi o stożkowym wirniku stosowane do wysokich prędkości i pozycjonowania z wysoką precyzją,
- wciągarki przeznaczone do szybkiego i częstego przenoszenia ładunków,
- silniki na łapach o dużej mocy stosowane w suwnicach procesowych, o małych i średnich mocach mocowane do przekładni, które to rozwiązania zmniejszają przekazywanie drgań i obciążenia mechanizmu masą silnika.

5. ZASILANIE MECHANIZMÓW DŹWIGNIC

W rozwiązaniach dźwignic w XX wieku do zasilania mechanizmów napędowych

dominowały przewody ślizgowe lub wielożyłowe przewody oponowe. Zwisowe przewody ślizgowe były rozpięte wzdłuż ściany hali lub wzdłuż konstrukcji nośnej dźwignicy za pośrednictwem izolatorów. Stosowano także sztywne przewody ślizgowe zamocowane za pomocą izolatorów do ścian hali lub odpowiedniego kanału. Przy zasilaniu wielożyłowym kablem oponowym jeden z jego końców był przyłączany do głowicy koła kablowego, a drugi za pomocą odpowiedniego wtyku do sieci zasilającej.

Produkcja szynoprzewodów izolowanych (koniec wieku XX, początek XXI) pozwala na zasilanie odbiorników ruchomych poruszających się wzdłuż linii prostej oraz po torach krzywoliniowych. Materiałem przewodzącym jest miedź, rzadziej aluminium z wprasowaną wkładką ślizgową ze stali nierdzewnej, stal nierdzewna oraz stop Datametall do transmisji danych. Elementy łączące segmenty szynoprzewodu zapewniają wysoką trwałość i niezawodność przepływu energii elektrycznej. Osłona z tworzywa sztucznego i zastosowane rozwiązania konstrukcyjne zabezpieczają przed możliwością bezpośredniego dotyku. Odbieraki prądowe posiadają kilka stopni swobody dla kompensacji tolerancji montażowych i odchyłek toru, zakres prędkości przemieszczania się odbieraków wynosi od 200 do 600 [m/min].

Tradycyjne zasilanie dźwignic (dominujące w drugiej połowie XX wieku) kablami giętkimi, płaskimi i okrągłymi, podwieszonymi do wózków kablowych przemieszczających się w specjalnych prowadnicach, przeznaczone jest nadal do trudnych warunków środowiskowych oraz do pracy w atmosferze zagrożonej wybuchem. Bębny kablowe przeznaczone są do automatycznego nawijania wielożyłowych kabli giętkich.

Produkcja nowych typów elementów zasilających to:

- szynoprzewody kasetowe służące do przekazywania energii i danych; wykonanie kasetowe zapewnia ochronę przed brudem i wilgocią; przewody elektryczne segmentów szyn są dostarczane z połączeniami wtykowymi, śrubowymi i jako przelotowe taśmy przewodzące; uchwyty szynowe i łączniki szyn są proste w montażu, przykładowo: zatraskowe i obrotowe,
- prowadnice ceowe wózków kablowych wykonane ze stali ocynkowanej,
- wózki kablowe z blachy stalowej lub tworzywa sztucznego z uchwytami, przegubami kulowymi i haczykami,
- bębny kablowo-silnikowe spiralnie nawojowe i szeroko nawojowe.

Prognozuje się, że zasilanie mechanizmów dźwignic szynoprzewodami będzie intensywnie doskonalone.

6. MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE

Konstrukcje nośne i ich elementy powinny być wykonywane z odpowiednich gatunków stali, a elementy nośne ustrojów muszą być wykonane ze stali o gwarantowanej jakości, potwierdzonej atestem. Wszystkie stale przeznaczone na elementy pracujące pod działaniem obciążeń ruchowych muszą mieć atesty ze stwierdzoną granicą plastyczności, natomiast stale niskostopowe powinny mieć dodatkowy atest określający skład chemiczny i wartość udarności. Ponadto konstrukcyjne stale węglowe zwykłej jakości poddane dużym obciążeniom dynamicznym lub o dużej przemienności, a pracujące w temperaturze poniżej -20 [°C], powinny mieć atest określający udarność. Konstrukcje nośne wykonuje się ze stali węglowych zwykłej jakości, stali konstrukcyjnych o podwyższonej jakości oraz stali niskostopowych. Podejmowane próby zastosowania w konstrukcjach nośnych dźwignic

metali lekkich (stopów aluminium) do lat osiemdziesiątych XX wieku, nie powiodły się z powodu braku technologii łączenia elementów mających wymaganą wytrzymałość i trwałość.

Pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX wieku wprowadzono stopy aluminium do materiałów stosowanych w konstrukcjach nośnych, ale tylko w szczególnych zastosowaniach, przykładowo układów podwieszonych typu KBK. Zestaw KBK jest wykonywany również z aluminium, tzw. KBK Aluline. Profile Aluline charakteryzują się małym ciężarem własnym i wyjątkową odpornością na warunki otoczenia. Są stosowane w suwnicach pomostowych i jednoszynowych wciągarkach podwieszanych, torach dla obciążeń do 1000 [kg]. Profile Aluline zapewniają łatwość montażu dzięki wysokiej precyzji procesu wyłaczania stosowanego w ich produkcji. W tych konstrukcjach usunięto podstawową przeszkodę w stosowaniu stopów lekkich, konieczność tradycyjnych połączeń elementów.

Zaczęto stosować nowe, a właściwie powrócono do niegdyś używanych materiałów na elementy mechanizmów. Koła jezdne produkuje się z dawno odrzuconych materiałów o nowej, wyższej jakości, żeliwa sferoidalnego. Koła jezdne z żeliwa sferoidalnego umożliwiają zmniejszenie oporów jazdy, a zatem zmniejszenie mocy zainstalowanych napędów. Zmniejsza się zużycie kół i szyn jezdnych i wydłuża ich trwałość. Koła z żeliwa sferoidalnego są odlewane, a zatem można je swobodnie kształtować, zmniejszając zakres obróbki wiórowej. Posiadają one wysoką wytrzymałość na ściskanie, dobrą obrabialność i twardość, korzystną mikrostrukturę oraz oczekiwaną wytrzymałość zmęczeniową i plastyczność. Plastyczność została osiągnięta poprzez uformowanie węgla w postaci kulek w pozostałej strukturze materiału. Wolny węgiel na zewnętrznych powierzchniach trących prowadzi do samosmarności. Żeliwo posiada wysoką odporność na ścieranie i zdolność tłumienia, czyli zapewnia cichobieżność. Przydatność ekonomiczna tych kół wynika ze zmniejszenia sił poziomych, co umożliwia lżejszą konstrukcję części nośnych, niskie opory jazdy oznaczają obniżoną moc zainstalowanych napędów. Założenia konstrukcyjne i właściwy dobór materiałów mają wpływ między innymi na poprawę niezawodności użytkowej mechanizmów jazdy.

Należy oczekiwać, że w konstrukcjach dźwignic będą w kolejnych latach XXI wieku stosowane materiały o wyższych parametrach wytrzymałościowych i właściwościach użytkowych, których cena maleje wraz z użyciem nowych technologii ich produkcji, w rezultacie których możliwa będzie oszczędność na zapotrzebowaniu energii w procesie użytkowania urządzenia jako skutek zmniejszenia masy systemu i jego elementów oraz oporów ruchu podczas realizacji celowych przemieszczeń ładunków.

7. STEROWANIE MECHANIZMAMI DŹWIGNIC

Jeszcze w latach osiemdziesiątych XX wieku w napędach mechanizmów dźwignic dominowały silniki prądu zmiennego trójfazowe pierścieniowe znalazły. Konieczność uzyskania ruchu organu wykonawczego mechanizmu dźwignicy obciążonego ładunkiem z założoną prędkością prawie niezależną od jego wartości powodowało wymóg stosowania silników o stałej lub prawie stałej sztywności charakterystyk mechanicznych. Płynność regulacji prędkości ruchu roboczego określał stosunek prędkości pracy silnika przy stałym obciążeniu dwu sąsiadujących charakterystyk, zwiększany się w rezultacie powiększenia

liczby charakterystyk, a maksimum osiągana się przy bezstopniowej regulacji prędkości. Ponieważ rozruch następował przy obciążeniu oporami użytecznymi oraz własnymi, to możliwy był przy wartości momentu początkowego rozwijanego przez silnik przekraczającego znacznie moment oporu. Ponieważ skokowe przyłożenie dużego momentu początkowego wywoływało powstanie wysokich wartości obciążeń dynamicznych, to pierwsza charakterystyka regulacyjna silnika ustalona była tak, aby powodowała tylko napięcie więzi sprężystych układu mechanizmu podnoszenia lub brak poślizgu bieżników kół jezdnych po szynie, natomiast następną umożliwiała właściwy rozruch układu. W procesach rozruchowych stosowano oporniki regulacyjne obwodu wirnika usytuowane w nastawniku regulowanym kołem lub dźwignią.

Nastawniki wykonywane były jako pierścieniowe lub krzywkowe. Do sterowania silnikami pierścieniowymi mechanizmów dźwignic stosowano typowe układy sterowania zaprojektowane w OBRDiUT Detrans: układ *ehz* stosowany przy sterowaniu bezpośrednim wyłącznie mechanizmów podnoszenia, układ *ehy* przekaźnikowo – stycznikowy przeznaczony tylko dla mechanizmów podnoszenia, układ *ey* asymetryczny przekaźnikowo – stycznikowy przeznaczony tylko dla mechanizmów podnoszenia, układ *bz2* asymetryczny przeznaczony do pracy silnika w każdym kierunku, układ *fhy* asymetryczny przekaźnikowo – stycznikowy przeznaczony dla mechanizmów podnoszenia, układ *azo* z użyciem dwu hamulców i układ faz symetryczny nastawnikowy pięciopółeniowy dla każdego kierunku ruchu.

Na początku XXI wieku tradycyjne sterowanie ręczne nastawnikami jest skutecznie wypierane przez nowocześniejsze i bezpieczniejsze układy zdalnego sterowania drogą radiową lub w podczerwieni, w których jest stosowana także technika cyfrowa. Najbardziej nowoczesne i złożone układy automatycznego sterowania oparte są wyłącznie na technice cyfrowej wykorzystującej odpowiednie sterowniki programowalne oraz instalacje światłowodowe w układach oczujnikowania, autodiagnostykę zapewniającą ciągłą regulację prędkości ruchów roboczych i pozycjonowanie organów wykonawczych dźwignic, umożliwiające ponadto eliminowanie wahań zawieszoności na cięgnach ładunku i omijanie stref kolizyjnych. Dobór zalecanej wersji wykonania i sterowania przemiennika wynika z funkcji napędu.

Do napędów jazdy suwnic pomostowych i bramowych o dużych rozpiętościach najważniejsze jest sterowanie wektorowe z możliwością koordynacji ruchu poszczególnych napędów. Zależnie od wymaganej dynamiki, sterowanie wektorowe lub z wykorzystaniem momentu obrotowego typu DTC (ang. *Direct Torque Control*) umożliwia także skracanie czasu cykli pracy środka transportu. Wymagania ciągowych mechanizmów podnoszenia ciężkich dźwignic uzasadniają stosowanie sprzężenia prędkościowego i położeniowego (enkoder), które umożliwiają płynną regulację prędkości od zera, przy pełnym momencie silnika bez szarpnięć przy rozruchu i hamowaniu. Sterowanie hamulcem mechanicznym przez falownik zapobiega w dźwignicach zwolnieniu hamulca przed rozwinięciem przez silnik wymaganego momentu.

Znane obserwowane w pierwszej dekadzie XXI wieku rozwiązania zastosowane w sterowaniu suwnicami obejmują między innymi:

- suwnice procesowe pracują w cyklu automatycznym, przykładowo przy materiałach sypkich i recyklingu; konstrukcje są bez kabiny, sterowanie odbywa się całym procesem z pomieszczenia poza halą,

- system sterowania suwnicami za pomocą dostosowanych do wymagań ergonomii kaset podwieszanych na kablach z poziomu zero hali,
- wciągniki można obsługiwać jedną ręką przez operatora, ponieważ zespół sterowania umieszczony jest sztywno w uchwycie i jest połączony z urządzeniem chwytym,
- zintegrowany system sterowania będący standardowym elementem wyposażenia umożliwi kontrolowanie poszczególnych parametrów pracy dźwignicy przez zdalne urządzenia diagnostyczne wyposażone między innymi w: pamięć błędów, rejestrator obciążeń, licznik godzin pracy oraz kontrolę bieżących parametrów obciążenia haka i stanu hamulców (wymiana danych odbywa się poprzez interfejsy wbudowane w elementy sterujące), ergonomiczne elementy sterujące z wyświetlaczem (ułatwiają eksploatację i zapewniają użytkownikom większą czytelność informacji, prezentując dane o cyklach konserwacyjnych i ostrzeżenia o przekroczeniu dopuszczalnego obciążenia),
- sterowanie synchroniczne suwnic układem radiowym: w serii standardowej układ posiada do 14 sygnałów przekaźnikowych oraz sterowanie konstruowane do przesyłu sygnałów analogowych z antenami kierunkowymi (przesył ma zasięg do 300 [m]),
- sterowanie rozproszone zintegrowane z samymi napędami: są to zintegrowane elektroniczne urządzenia łączeniowe silnika spełniające funkcje stycznika: sterowanie realizowane jest za pomocą interfejsu, często stosuje się urządzenia łagodnego rozruchu (ang. *softstarty*).

Przewiduje się, że sterowanie mechanizmami dźwignic będzie przedmiotem dynamicznego rozwoju z użyciem telematyki w najbliższej dekadzie.

8. UWAGI KOŃCOWE

Na podstawie przeprowadzonych analiz możliwe są następujące wnioski w zakresie rozwoju systemów i środków transportu przemysłowego na przykładzie dźwignic:

- aplikacje transportowo - przeładunkowe ładunków w procesach przemysłowych realizowane przez dźwignice różnego typu są nadal automatyzowane, a przemieszczanie mniejszych masowo ładunków jest zastępowane przez zautomatyzowane środki transportu podwieszanego,
- rośnie dynamicznie transport ładunków na bazie kontenerów wymagający wypracowania skutecznej metodyki (infrastruktura, środki transportowe, algorytmy decyzyjne) zarządzania terminalami dla różnych modów transportowych,
- konstrukcje nośne w dźwignicach zmieniają się niewiele, stosowane metody obliczeń pozwalają na wymiarowanie przekrojów bez zapasu wytrzymałościowego, wprowadza się nowe materiały tam, gdzie jest to możliwe,
- w mechanizmach napędowych dźwignic zastosowano silniki klatkowe, wprowadzono wymiennosc elementów w modułach mechanizmów, zastosowano nowe rozwiązania konstrukcyjne w mechanizmach jazdy oraz mechanizmach podnoszenia, zastosowano układy umożliwiające ciągłe sterowanie ruchami roboczymi,
- rozwijane są nowe techniki sterowania dźwignicami w układach automatyki z wykorzystaniem telematyki,
- doskonalone są urządzenia zabezpieczające w dźwignicach, rozwijane są układy monitoringu i diagnostyki ukierunkowanych na racjonalizację procesu eksploatacji dźwignic,

- prawne aspekty zapewnienia bezpieczeństwa dźwignic pozostają na przestrzeni lat bez większych zmian i ewoluują w kierunku nakładania określonych obowiązków na producentów i użytkowników dźwignic,
- istotnymi w dźwignicach są bezpieczeństwo i niezawodność eksploatacyjna urządzeń,
- podejście ergonomiczne do pracy operatora dźwignic wpłynęło na poprawę jego warunków pracy poprzez wzrost komfortu otoczenia pracy (przykładowo nowych kabin), doskonalone są zdalne sterowania procesem użytkowania urządzeń, również z użyciem telematyki.

Praca finansowana ze środków budżetowych na naukę jako projekt badawczy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chudzik R.: *Urządzenia transportu bliskiego w świetle Dyrektywy Maszynowej UE*. Transport Przemysłowy, nr 3, 2003.
- [2] Czasopismo *Maszyny Dźwigowo-Transportowe*, dawniej Biuletyn Informacyjny i Biuletyn Techniczny, OBRDiUT *Detrans*, Bytom, 1970 - 2004 (ISSN 1233-4197).
- [3] Czasopismo *Transport Przemysłowy*, 2000 - 2008 (ISSN 1899-5489).
- [4] DT: Czasopismo *Dozór Techniczny*: 3/1998, 3/1999, 3,4/2000, 5/2001, 4/2002, 4/2009 (ISSN 0209-1763).
- [5] Piątkiewicz A., Sobolski R.: *Dźwignice*. WNT, Warszawa, tom I (1977), tom II (1978).
- [6] Szpytko J.: *Integrated decision making supporting the exploitation and control of transport devices*. Monografie, UWND AGH, p.202, Kraków, 2004.
- [7] Katalogi producentów.
- [8] Normy: PN, PN ISO, PN-EN, PN-EN ISO.