

Skrzynie biegów (przekładnie) i oleje przekładniowe stosowane w pojazdach elektrycznych

Gearboxes (gears) and gear oils used in electric vehicles

Dariusz Sacha, Agnieszka Skibińska, Magdalena Żółty, Ewa Barglik

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Koncepcja pojazdów elektrycznych pojawiła się po raz pierwszy na początku XIX wieku. Wtedy również powstały pierwsze pojazdy elektryczne, ale z uwagi na brak akumulatorów o wysokiej pojemności zaprzestano rozwoju tej koncepcji. Zastosowano ją jedynie w pojazdach szynowych i trolejbusach. Po prawie stuletniej przerwie, pod koniec XX wieku, powrócono do koncepcji pojazdów elektrycznych. Konstruktorzy pojazdów samochodowych wykorzystali znaczny postęp technologiczny w budowie akumulatorów, jaki nastąpił w XX wieku jako odpowiedź na potrzeby zmieniającego się świata. Postęp ten wymusił proekologiczne działania minimalizujące wpływ różnego rodzaju pojazdów samochodowych na środowisko naturalne, w następstwie czego opracowano różne koncepcje układów napędowych. Konstruktorzy zaproponowali szereg rozwiązań elektrycznych, elektryczno-spalinowych i innych, których zastosowanie zdecydowanie zmniejsza zużycie paliw pochodzących ze źródeł nieodnawialnych. W porównaniu z pojazdami z klasycznym (spalinowym) układem napędowym, pojazdy elektryczne są zdecydowanie bardziej ekologiczne i cechują się wieloma zaletami. Jedną z głównych jest znacznie wyższa efektywność zmiany energii w ruch obrotowy kół. Przenoszenie momentu obrotowego z silnika elektrycznego na koła pojazdu odbywa się z reguły za pomocą jednostopniowej przekładni lub skrzyni biegów. Zadaniem przekładni jest nie tylko przeniesienie ruchu, ale także zmiana jego parametrów. Odpowiednio dopasowana przekładnia, z właściwie dobranymi przełożeniami, jak również sposób ich zmiany mają znaczący wpływ na optymalne wykorzystanie siły napędowej silnika. W artykule opisano rodzaje stosowanych w pojazdach elektrycznych przekładni mechanicznych i olejów przekładniowych.

Słowa kluczowe: skrzynia biegów, przekładnia, olej przekładniowy, pojazdy elektryczne.

ABSTRACT: The concept of electric vehicles first emerged in the early 19th century, with the first electric vehicles appearing shortly thereafter. However, due to the lack of high-capacity batteries, further development of this concept was discontinued. Only rail vehicles and trolleybuses remained in use. However, after almost a hundred-year pause, the concept of electric vehicles was revisited at the end of the 20th century. Automotive designers leveraged the significant technological progress of the 20th century to address the needs of a changing world. This progress forced pro-ecological initiatives aimed at reducing the environmental impact of vehicles, resulting in the development of various drive system concepts. Engineers introduced a range of solutions, including electric, hybrid, and other systems that significantly reduce the consumption of fuels from non-renewable sources. Compared to vehicles with a traditional (combustion) drive system, electric vehicles are far more ecological and offer numerous advantages. One major advantage is the much higher efficiency in converting energy into rotational motion of the wheels. The intermediate element transmitting energy is typically a gearbox, whose task is to transfer torque from the active (driving) shaft to the passive (driven) shaft. A mechanical transmission not only transmits motion but also changes its parameters. A well-matched transmission with appropriately selected gear ratios, along with suitable method for changing them, significantly impacts driving efficiency. This article describes types of mechanical transmissions and gear oils used in electric vehicles.

Key words: gearbox, gear, transmission oil, electric vehicles.

Wstęp

Obecnie za zanieczyszczenie powietrza w 45% odpowiadają samochody spalinowe. Średnio jeden samochód osobowy zużywa rocznie 4 tony tlenu, emitując 800 kg tlenków węgla,

40 kg tlenków azotu i prawie 200 kg różnych innych węglowodorów (Cerovsky i Mindl, 2008; Parenagoa et al., 2022).

W porównaniu z pojazdami z klasycznym, spalinowym układem napędowym pojazdy elektryczne są zdecydowanie bardziej ekologiczne i cechują się wieloma zaletami. Jedną

Autor do korespondencji: A. Skibińska, e-mail: agnieszka.skibinska@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 03.07.2024 r. Zatwierdzono do druku: 24.10.2024 r.

z głównych jest znacznie wyższa efektywność zmiany energii w ruch obrotowy kół (90–98%) w porównaniu z efektywnością utleniania paliwa w silniku spalinowym (ZI do około 42%, ZS do około 45%). Dodatkowo generowany przez nie moment obrotowy dostępny jest dla użytkownika niemal od zerowej prędkości obrotowej (Hennek, 2018). Pozwala to na odpowiedni dobór parametrów silnika elektrycznego napędzającego pojazd, które zapewniają możliwość zmiany prędkości jazdy w wymaganym zakresie, nie stosując przy tym przekładni lub stosując prostą jednobiegową przekładnię bez biegu wstecznego. W ten sposób ograniczane są straty mechaniczne układu napędowego.

W skład układu napędowego pojazdów wchodzi źródło energii oraz element pośredniczący przekazujący energię od silnika do kół. Najczęściej źródło energii stanowi silnik spalinowy, silnik elektryczny lub też układ hybrydowy. Elementem pośredniczącym, przekazującym energię, jest z reguły przekładnia, której zadanie polega na przeniesieniu momentu obrotowego z wału czynnego (napędzającego) na wał bierny (napędzany). Przekładnia mechaniczna najczęściej nie tylko przenosi ruch, ale także zmienia jego parametry (np. prędkość obrotową). Stosowanie przekładni mechanicznych wynika m.in. z faktu, że silniki napędowe są przeważnie wysokoobrotowe, a napęd kół wymaga stosowania dużych momentów obrotowych przy małych prędkościach obrotowych.

Skrzynia biegów to rodzaj mechanizmu, który jest w stanie zmienić przełożenie układu napędowego i daje możliwość uzyskiwania odpowiedniej prędkości obrotowej w zależności od tego, jakie jest w danym momencie obciążenie oraz prędkość jazdy. Sprzęgło to z kolei element, który łączy skrzynię biegów z silnikiem. W pojazdach z silnikiem spalinowym jest to element niezbędny do wprawienia samochodu w ruch.

Podział skrzyni biegów ze względu na typ (Andrew, 2019) jest następujący:

- skrzynie manualne;
- skrzynie automatyczne stopniowe;
- skrzynie półautomatyczne stopniowe;
- skrzynie bezstopniowe.

Skrzynie biegów można podzielić ze względu na sterowanie (rysunek 1).

Skrzynie biegów stosowane w pojazdach spalinowych

Manualna skrzynia biegów

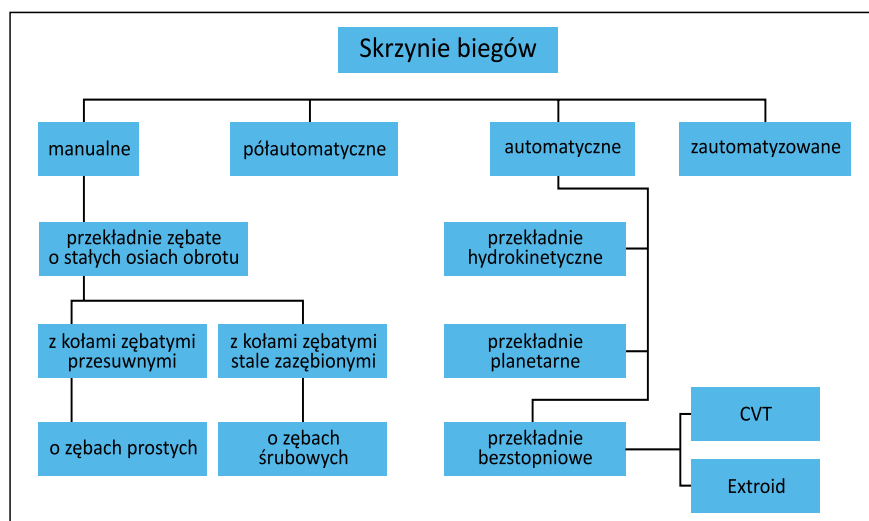
Manualna skrzynia biegów jest najprostszą konstrukcją skrzyni, stosowaną praktycznie od początku motoryzacji do czasów współczesnych. Manualna skrzynia biegów składa się z kół zębatach i mechanizmów ich przesuwu, które umieszczone są na wałkach głównym, pośrednim i sprzęgłowym. Wałki mocowane są do obudowy za pomocą łożysk i uszczelniaczy zapobiegających wyciekowi oleju przekładniowego. Wyrównywanie prędkości obrotowej załączanych elementów odbywa się za pomocą synchronizatorów i przesuwaków. Zaletą manualnej skrzyni biegów jest stosunkowo prosta konstrukcja, duża wytrzymałość oraz niska cena. Skrzynie te są praktycznie bezawaryjne. Wadą skrzyń manualnych jest konieczność obsługi ręcznej, czyli manualnego rozprzęgnięcia skrzyni z silnikiem w trakcie wykonywania czynności zmiany biegów.

Półautomatyczna skrzynia biegów

Półautomatyczna skrzynia biegów ma budowę bardzo podobną do omawianej wyżej manualnej skrzyni biegów. Skrzynia ta sterowana jest jednak przez siłowniki hydrauliczne wybieraka, napędzane pompą elektryczną. Dodatkowo wyposażona jest w czujniki wybranego przełożenia oraz sterownik elektroniczny. W półautomatycznej skrzyni biegów kierowca sam wybiera biegi, natomiast system sterowany przez mikroprocesor odpowiada za rozłączenie i załączenie sprzęgła w momencie zmiany biegu. Choć skrzynie te charakteryzują się niską ceną produkcji, jednak ich naprawy są dość kosztowne. Wadą półautomatycznych skrzyń jest ich powolne działanie.

Automatyczna skrzynia biegów

Zmiana biegów w skrzyni automatycznej dokonuje się samoczynnie w zależności od aktualnej prędkości pojazdu oraz innych



Rysunek 1. Ogólny podział skrzyń biegów ze względu na rodzaj sterowania (Gołębiowski i Stoeck, 2014)

Figure 1. General division of gearboxes by control (Gołębiowski and Stoeck, 2014)

danych spływających z różnych czujników. Skrzynie automatyczne posiadają układy planetarne przekładni zębatych, którymi sterują moduły elektroniczne oraz zespoły sterowania. Sterowanie w automatycznej skrzyni biegów dokonywane jest za pomocą elektrozaworów, natomiast za proces przekazywania napędu odpowiada konwerter momentu obrotowego i sprzęgło hydrokinetyczne. Skrzynie automatyczne cechuje stosunkowo wysoka awaryjność oraz wysokie koszty napraw.

Dwusprzęgłowa skrzynia biegów DSG (*drive shift gearbox*)

Działanie dwusprzęgłowej skrzyni biegów opiera się na równoległym połączeniu dwóch skrzyń biegów umieszczonych w jednej obudowie. Posiada ona dwa sprzęgła, które przekazują napęd za pomocą dwóch wałków sprzęgłowych. Jedna skrzynia ze sprzęgłem odpowiada za biegi parzyste, a druga za nieparzyste. W zależności od wybranego biegu jedno sprzęgło pracuje, a drugie jest rozłączone, a napęd przenoszony jest na odpowiednią parę kół zębatych. W momencie pracy jednej przekładni w drugiej następuje automatyczne przygotowanie biegu w górę lub w dół. Rozwiązanie takie zdecydowanie przyspiesza proces zmiany biegów bez szarpnięć.

Bezstopniowa skrzynia biegów CVT (*continuously variable transmission*)

Głównym elementem przekładni w skrzyni bezstopniowej jest wariator, czyli para kół pasowych składających się z dwóch stożkowych połówek. Między stożkami przebiega stalowy pasek z kilkuset ogniów. Każde koło pasowe ma określoną grubość, szerokość oraz kąt zbieżności. Pierwsze z nich znajduje się na wale wejściowym skrzyni biegów, a drugie na wyjściowym. Całością zawiaduje układ elektroniczny, tzw. sterownik skrzyni.

Skrzynie biegów stosowane w pojazdach elektrycznych

Obecnie projektanci i producenci pojazdów elektrycznych skupiają się na nowych lub zoptymalizowanych układach napędowych, które mogą osiągać mniejsze zużycie prądu. Aby obniżyć zużycie prądu i zwiększyć zasięg pojazdów elektrycznych, stosuje się różne typy silników elektrycznych o zróżnicowanej mocy.

Silniki elektryczne mogą rozwijać wysokie momenty obrotowe przy małych prędkościach. Jednak ich prędkość obrotowa dla optymalnej wydajności w odniesieniu do dostępnych energii i zużycia energii elektrycznej musi być wysoka. Przy średniej prędkości 88 km/h dzisiejszy silnik elektryczny porusza się z prędkością obrotową 10 000 obr/min. W celu zmniejszenia

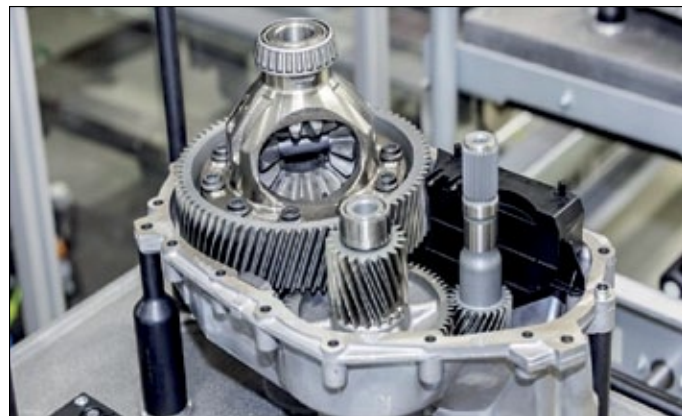
wielkości silników i ograniczenia zużycia metali ziem rzadkich producenci silników zapowiadają zwiększenie ich prędkości obrotowej do 20 000 obr/min w ciągu nadchodzących czterech lat i dalszego wzrostu do 30 000 obr/min przed rokiem 2030. Silniki o dużej prędkości wymagają nowego łożyskowania, rozwiązania problemów z uzwojeniem miedzianym, które musi być ciaśniejsze, odpowiednio dopracowane, by zmniejszyć wibracje spowodowane niewłaściwym wyważeniem.

Dodatkowo szybkoobrotowe silniki elektryczne wymagają stosowania odpowiednich przekładni. Przy prędkości pojazdu 88 km/h jego koła, w zależności od rozmiaru, wykonują średnio 778 obr/min, co przy prędkości obrotowej silnika 10 000 obr/min daje przełożenie przekładni 12,85. W przypadku stosowanych do tej pory silników spalinowych przy prędkości obrotowej silnika równej 1500 obr/min stosunek ten wynosi 1,93. Podczas zwiększania prędkości obrotowej silników elektrycznych stosunek ten będzie stopniowo ulegał podwyższeniu z 12,85 do 38,55 i więcej (Stadtfeld, 2020). Trend ten wymusza zastosowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych w układach napędowych, a w szczególności w budowie przekładni mechanicznych.

Badane są również inne elementy przekładni. Odpowiednio dopasowana przekładnia z dokładnie dobranymi przełożeniami, jak również sposób zmiany biegów (przełożenia) mają znaczący wpływ na optymalne wykorzystanie zgromadzonej w akumulatorach energii do napędu pojazdu.

Obecnie większość produkowanych samochodów elektrycznych korzysta z przekładni z pojedynczym biegiem do jazdy do przodu (rysunek 2). Od dłuższego czasu prowadzone są jednak prace nad przekładniami o większej liczbie przełożeń, które w założeniu mają zoptymalizować wykorzystanie dostępnej energii (rysunki 3 i 4).

Większość produkowanych obecnie pojazdów spalinowych oraz hybrydowych wykorzystuje konwencjonalne manualne



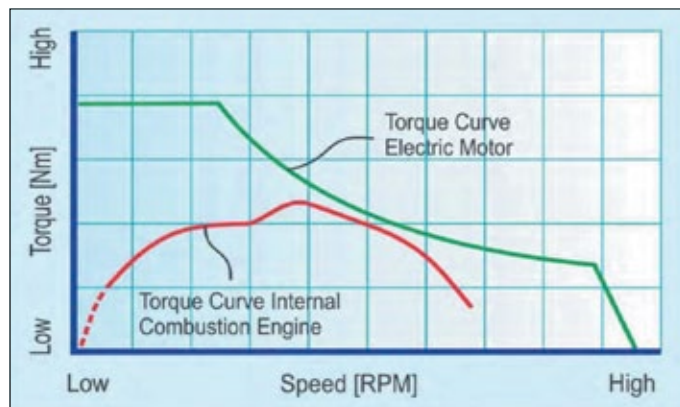
Rysunek 2. Jednobiegową przekładnią stosowaną w pojazdach elektrycznych (Spanoudakis et al., 2020)

Figure 2. Single-speed transmission used in electric vehicles (Spanoudakis et al., 2020)



Rysunek 3. Dwustopniowa i jednobiegowa przekładnia pojazdu elektrycznego o przełożeniu 12,5 (Giakoumis i Zachiotis, 2017)

Figure 3. Two-stage and single-speed electric vehicle transmission with a gear ratio of 12.5 (Giakoumis and Zachiotis, 2017)



Rysunek 5. Moment obrotowy w funkcji prędkości, silnik spalinowy i silnik elektryczny (Stadtfeld, 2020)

Figure 5. Torque as a function of speed, internal combustion engine and electric motor (Stadtfeld, 2020)



Rysunek 4. Czterostopniowa i dwubiegowa przekładnia pojazdu elektrycznego – maksymalne przełożenie 20 (Babula i Pietruszczak, 2017)

Figure 4. Four-speed and two-speed transmission of the electric vehicle - maximum ratio 20 (Babula i Pietruszczak, 2017)

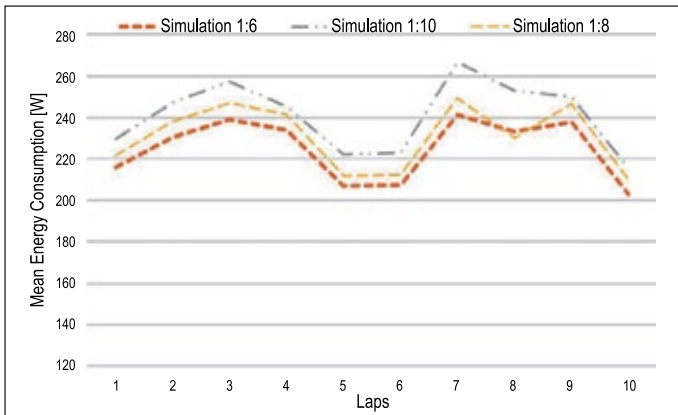
skrzyni biegów (MT) lub automatyczne (AT). Alternatywą dla nich są wprowadzone w ostatnim czasie przekładnie bezstopniowe (CVT).

Charakterystyka momentu obrotowego silnika elektrycznego jest zupełnie odmienna od silnika spalinowego (rysunek 5). Silnik elektryczny, niezależnie od tego, czy jest to silnik synchroniczny, czy też indukcyjny, może zapewnić maksymalną wartość dostępnego momentu obrotowego od chwili rozruchu. Maksymalny moment obrotowy dostępny jest aż do osiągnięcia pewnej prędkości obrotowej, a następnie w trakcie dalszego zwiększania prędkości obrotowej gwałtownie spada (Stadtfeld, 2020).

Aby wykorzystać wyżej wymienioną cechę silnika elektrycznego, większość dostępnych na rynku pojazdów elektrycznych stosuje układy napędowe, które są bezpośrednio połączone z kołami napędowymi poprzez jedno przełożenie redukcyjne (Becker, 2019). Nie jest to jednak stała zasada. W układach napędowych, w których zastosowano wysokowydajne silniki trakcyjne i akumulatory, często montowane są skrzynie 2-biegowe lub nawet n -biegowe, mające na celu zwiększenie dostępnego momentu obrotowego kół i skrócenie czasu przyspieszania. Wielobiegowa skrzynia biegów przyjęta dla elektrycznego układu napędowego zapewnia korzyści w zakresie zużycia energii w porównaniu z odpowiednikiem jednobiegowym (Chau i Chan, 2007). W przypadku korzystania

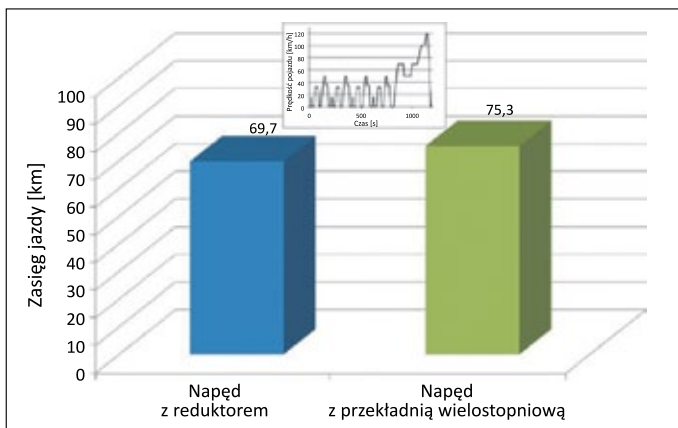
z dwubiegowej skrzyni biegów pierwszy bieg wybierany jest tak, aby zwiększyć moment obrotowy przy niskiej prędkości oraz poprawić przyspieszenie i zwiększyć zasięgi. Natomiast drugie przełożenie można stosować w celu zwiększenia zasięgu. Drugą główną zaletą zastosowania przekładni wielobiegowej jest teoretycznie wyższa wydajność pracy układu napędowego przez większą część cyklu jazdy (Becker, 2019) (rysunek 6). Teoretyczny zasięg takiego pojazdu mógłby się zwiększyć do 15%, a przyspieszenie i prędkość maksymalna mogłyby ulec poprawie nawet o 20%.

Na podstawie badań porównawczych z zastosowaniem dwóch układów napędowych z tym samym silnikiem elek-



Rysunek 6. Porównanie wyników symulacji średniego zużycia energii dla trzech różnych współczynników przekładni (1 : 6, 1 : 8, 1 : 10) (Spanoudakis et al., 2020)

Figure 6. Comparison of simulation results of average energy consumption for three different gear ratios (Spanoudakis et al., 2020)



Rysunek 7. Porównanie zasięgu jazdy pojazdu z napędem elektrycznym z różnymi przekładniami (Hajduga i Kieracińska, 2017)

Figure 7. Comparison of electric vehicle driving range with different transmission types (Hajduga and Kieracińska, 2017)

trycznym i dwiema różnymi przekładniami – jednobiegową i dwubiegową – stwierdzono poprawę zużycia energii o 5–10% na korzyść systemu dwubiegowego (rysunek 7).

Oleje przekładniowe do pojazdów elektrycznych

Zamiana silnika spalinowego na silnik elektryczny lub – jak w przypadku hybryd – włączenie silnika elektrycznego do przekładni zmienia środowisko pracy środka smarowego i w konsekwencji prowadzi do zmiany niektórych bieżących wymagań eksploatacyjnych oraz wprowadzenia nowych.

Oleje smarowe do przekładni i skrzyń biegów zostały opracowane tak, by spełniać rygorystyczne wymagania. Olej smarowy do konwencjonalnego pojazdu z automatyczną skrzynią biegów zawierającego skrzynie AT, DCT lub CVT powinien

zapewniać odpowiednie smarowanie, przenoszenie momentu obrotowego przez uruchamianie i przełączanie sprzęgieł, ochronę przed zużyciem i korozją, przy zachowaniu wysokiej odporności termicznej i odpowiedniej stabilności oksydacyjnej. Oleje te również pośredniczą w usuwaniu generowanego nadmiaru ciepła w skrzyni przekładniowej i podczas załączania sprzęgła. Zaobserwowano, że oleje z dodatkiem nanocząstek krzemionki mają znacznie większą przewodność cieplną (Shaikh et al., 2007; Jin et al., 2014).

Oleje przekładniowe w większości przypadków pracują pod dużym obciążeniem i dlatego muszą zawierać zwiększoną ilość dodatków przeciwzużyciowych (EP) oraz przeciwzatarciowych (AW) (Akin i Tekin, 2016; Sniderman, 2017). Muszą również charakteryzować się odpowiednią rezystancją elektryczną i wytrzymałością dielektryczną przez cały okres użytkowania, aby zapobiec różnego rodzaju wylądowaniom elektrycznym i przebiciom (Wang i Wang, 2008; Gunderson et al., 2011; Hadden et al., 2016), które mogą powstawać na łożyskach, wałach i kołach zębatych bezpośrednio połączonych z silnikiem elektrycznym (Tischmacher et al., 2010; Di Piazza et al., 2011). Właściwą impedancję elektryczną i wytrzymałość dielektryczną można uzyskać, stosując odpowiednie dodatki (Sangoro et al., 2008; Somers et al., 2013; Flores-Torres et al., 2018; Gao et al., 2018). Napięcie przebicia czystych cieczy niepolarnych takich jak PAO i olejów mineralnych mieści się w zakresie około 10 kV i o rząd wielkości przewyższa napięcia przyłożone do łożysk silnika i elementów przekładni. Jednak napięcie przebicia dielektrycznego oleju drastycznie spada, gdy zawiera on zanieczyszczenia, takie jak woda lub dodatki smarowe, i może być tak niskie jak 100 V (Willwerth i Roman, 2013) lub jeszcze niższe w przypadku testów długotrwałych (Jeschke i Hirsch, 2014; Jeschke et al., 2015).

Ze względu na inną charakterystykę przebiegu wielkości rozwijanej mocy silnika elektrycznego i generowanego przez niego momentu obrotowego, będzie musiała również wzrosnąć wytrzymałość przekładni. Mechanizmy montowane w pojazdach elektrycznych są w szczególności przy ruszaniu pojazdu narażane na dużo większe przeciążenia niż te w spalinowych odpowiednikach (Guegan et al., 2019; Tsui, 2019). Duże obciążenie kół zębatych w momencie uruchamiania pojazdu, gdy nie są one pokryte filmem oleju przekładniowego, naraża je na szybszą degradację. Stosowane w tych warunkach oleje przekładniowe powinny sprostać tym wyzwaniom. Niezbędne zatem będzie opracowanie nowej specyfikacji smarowych olejów przekładniowych. Dzisiejsze pojazdy elektryczne i hybrydowe w dużej mierze wykorzystują obecne na rynku smary i oleje przekładniowe, które zapewniają jak dotychczas akceptowalne smarowanie, ochronę i wydajność. Jednak dążenie do dalszego wzrostu efektywności oraz redukcji emisji powoduje, że prace nad nowymi formułacjami są prowadzone przez cały czas.

Zapewne wkrótce pojawią się nowe rozwiązania mechaniczne i dostosowane do nich produkty smarowe zapewniające lepszą wydajność układu napędowego.

Obecnie konstrukcje przekładni są zmodyfikowanymi wersjami konwencjonalnych typów przekładni, a stosowane dotychczas środki smarowe nie uległy znacznym zmianom. Przykładem może być wykorzystanie w pojazdach hybrydach bezstopniowych skrzyń biegów (CVT) z silnikiem elektrycznym lub dwusprzęgłowej skrzyni biegów (DCT), w której znajduje się silnik elektryczny wbudowany w przekładnię w celu zapewnienia napędu lub wspierającego momentu obrotowego.

W tych rozwiązaniach olej przekładniowy musi spełniać wszystkie dotychczasowe wymagania dotyczące wydajności, a ponadto powinien umożliwiać najbardziej efektywne wykorzystanie silnika elektrycznego. Osiągnąć to można poprzez zoptymalizowane jego właściwości smarnych, elektrycznych, termicznych i ochronnych oraz zapewniających kompatybilność z materiałami konstrukcyjnymi. Oleje te często nazywa się dla odróżnienia e-AT, e-CVT i e-DCT.

Total Energies na swojej stronie internetowej podaje, że jako pierwsza firma na świecie wprowadziła na rynek dwie serie olejów zaprojektowanych specjalnie w celu zaspokojenia potrzeb pojazdów hybrydowych i elektrycznych: QUARTZ EV do samochodów osobowych oraz RUBIA EV do pojazdów ciężarowych. Oleje te posiadają następujące, specyficzne właściwości, aby sprostać wymaganiom napędów elektrycznych:

- właściwości dielektryczne – płyny stosowane w pojazdach elektrycznych muszą być izolujące, aby zapobiec powstawaniu łuku elektrycznego;
- zgodność ze stosowanymi materiałami – płyn musi być kompatybilny z różnymi typami materiałów, aby uniknąć korozji, pęcznienia czy pęknięcia;
- właściwości termiczne – silnik elektryczny i jego osprzęt muszą pracować w określonym zakresie temperatur. Dlatego bardzo ważną funkcją oleju jest zapewnienie wydajnego odprowadzania ciepła w temperaturach do 180°C;
- standardowe funkcje smarowania i właściwości przeciwzużyciowe – aby chronić różne części mechaniczne nowych układów napędowych (Total Energies).

Podsumowanie

Ciągły rozwój konstrukcji układów napędowych pojazdów elektrycznych oraz stosowanych przekładni mechanicznych pociąga za sobą konieczność opracowania nowych formułacji olejów przekładniowych spełniających oczekiwania zarówno konstruktorów, jak też użytkowników obecnych i nowo opracowywanych pojazdów elektrycznych.

Wraz z postępem technologicznym w zakresie e-mobilności środki smarowe muszą spełniać funkcje smarowania i ochrony przeciwzużyciowej, ale również muszą być odpowiednio dostosowywane w zakresie kompatybilności elektrycznej i materiałowej oraz zarządzania termicznego, by mogły być stosowane w elektrycznych zespołach napędowych (Stępień, 2023).

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Opracowanie założeń metodyki oceny stopnia degradacji olejów przekładniowych do pojazdów elektrycznych*, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0033/TE/2023, nr archiwalny: DK-4100-0013/2023.

Literatura

- Akin M., Tekin N., 2016. Preparation of Additive Package for Gear Lubricants and Determination of Tribological Properties. *Petroleum Chemistry*, 56(2): 175–180. DOI: 10.1134/S0965544116020109.
- Andrew J.M., 2019. The future of lubricating greases in the electric vehicle era. *Tribology and Lubrication Technology*, 75(5): 38–44.
- Babula M., Pietruszczak D., 2017. Wybrane aspekty ekologicznych pojazdów samochodowych. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 18(6): 50–54.
- Becker E.P., 2019. Lubrication and electric vehicles. *Tribology and Lubrication Technology*, 75(2): 60.
- Cerovsky Z., Mindl P., 2008. Hybrid electric cars, combustion engine driven cars and their impact on environment. *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*. DOI: 10.1109/SPEEDHAM.2008.4581321.
- Chau K.T., Chan C.C., 2007. Emerging energy-efficient technologies for hybrid electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4): 821–835. DOI: 10.1109/JPROC.2006.890114.
- Di Piazza M.C., Ragusa A., Vitale G., 2011. Power-loss evaluation in CM active EMI filters for bearing current suppression. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(11): 5142–5153. DOI: 10.1109/TIE.2011.2119456.
- Flores-Torres S., Holt D.G.L., Carey J.T., 2018. Lubricating Oil Compositions for Electric Vehicle Powertrains. U.S. Patent No. 0,100,117A1. Annandale M.J., ExxonMobil Research and Engineering Co.
- Gao Z., Salvi L., Flores-Torres S., 2018. High Conductivity Lubricating Oils for Electric and Hybrid Vehicles. U.S. Patent No. 0,100,115A1. ExxonMobil Research and Engineering Co.
- Giakoumis E.G., Zachiotis A.T., 2017. Investigation of a Diesel-Engined Vehicle's Performance and Emissions during the WLTC Driving Cycle – Comparison with the NEDC. *Energies*, 10(2): 240. DOI: 10.3390/en10020240.
- Gołębiewski W., Stoeck T., 2014. Tendencje rozwojowe w budowie skrzyń biegów samochodów osobowych w aspekcie zużycia paliwa. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 6: 132–137.
- Guegan J., Southby M., Spikes H.J.T.L., 2019. Friction modifier additives, synergies and antagonisms. *Tribology Letters*, 67: 83: 1–12. DOI: 10.1007/s11249-019-1198-z.
- Gunderson S., Fultz G., Snyder C., Wright J., Gschwender L., Heidger S., 2011. The effect of water content on the dielectric strength of polyalphaolefin (PAO) coolants. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 18(1): 295–302. DOI: 10.1109/TDEI.2011.570452.
- Hadden T., Jiang J.W., Bilgin B., Yang Y., Sathyan A., Dadkhah H., Emadi A., 2016. A review of shaft voltages and bearing currents

- in EV and HEV motors. *IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. DOI: 10.1109/IECON.2016.7793357.
- Hajduga A, Kieracińska A., 2017. The Use of Variable-Speed Mechanical Transmission in Electric Drives. *Archiwum Motoryzacji*, 75(1): 39–67. DOI: 10.14669/AM.VOL75.ART3.
- Hennek K., 2018. Perspektywy rozwoju i wykorzystania pojazdów elektrycznych. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19(6): 458–462 DOI: 10.24136/atest.2018.112.
- Jeschke S., Hirsch H., 2014. Investigations on the EMI of an electric vehicle traction system in dynamic operation. *Conference EMC Europe 2014*. DOI: 10.1109/EMCEurope.2014.6930943.
- Jeschke S., Tsiapenko S., Hirsch H., 2015. Investigations on the shaft currents of an electric vehicle traction system in dynamic operation. *Conference IEEE EMC 2015*. DOI: 10.1109/ISEMC.2015.7256248.
- Jin H., Andritsch T., Tsekmes I.A., Kochetov R., Morshuis P.H., Smit J.J., 2014. Properties of mineral oil based silica nanofluids. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 21(3): 1100–1108. DOI: 10.1109/TDEI.2014.6832254.
- Parenago O.P., Lyadova A.S., Maksimova A.L., 2022. Development of lubricant formulations for modern electric vehicles. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 95(6): 765–774. DOI: 10.1134/S1070427222060015.
- Sangoro J., Jacob C., Serghei A., Naumov S., Galvosas P., Kärger J., Wespe Ch., Bordusa F., Stoppa A., Hunger J., Buchner R., Kremer F., 2008. Electrical conductivity and translational diffusion in the 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate ionic liquid. *Journal of Chemical Physics*, 128(21): 214509. DOI: 10.1063/1.2921796.
- Shaikh S., Lafdi K., Ponnappan R., 2007. Thermal conductivity improvement in carbon nanoparticle doped PAO oil: an experimental study. *Journal of Applied Physics*. 101(6): 64302–64307. DOI: 10.1063/1.2710337.
- Sniderman D., 2017. The chemistry and function of lubricant additives. *Tribology and Lubrication Technology*, 73(11): 18–28.
- Somers A.E., Howlett P.C., MacFarlane D.R., Forsyth M., 2013. A review of ionic liquid lubricants. *Lubricants*, 1(1): 3–21. DOI: 10.3390/lubricants1010003.
- Spanoudakis P., Moschopoulos G., Stefanoulis T., Sarantinoudis N., Papadokokolakis E., Ioannou I., Piperidis S., Doitsidis L., Tsourveloudis N.C., 2020. Efficient Gear Ratio Selection of a Single-Speed Drivetrain for Improved Electric Vehicle Energy Consumption. *Sustainability*, 12(21): 9254. DOI: 10.3390/su12219254.
- Stadtfeld H.J., 2020. Introduction to Electric Vehicle Transmissions. *Gear Technology, September–October*, 42–50.
- Stępień Z., 2023. Specyfika środków smarowych do zespołów napędowych samochodów elektrycznych. *Nafta-Gaz*, 76(2): 131–140. DOI: 10.18668/NG.2023.02.07.
- Tischmacher H., Gattermann S., Kriese M., Wittek E., 2010. Bearing wear caused by converter-induced bearing currents. *IECON 2010 – 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. DOI: 10.1109/IECON.2010.5675212.
- Total Energies. Total Quartz EV Fluid i Total Rubia EV do pojazdów elektrycznych i hybrydowych. <<https://totalenergies.pl/total-quartz-ev-fluid-i-total-rubia-ev-do-pojazdow-elektrycznych-i-hybrydowych>> (dostęp: 25.11.2020).
- Tsui D., 2019. Additives manufacturers brace for change. *Market Trends*, 75: 18–19.
- Wang X., Wang Z., 2008. Particle effect on breakdown voltage of mineral and ester based transformer oils. *Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Quebec*, 598–602. DOI: 10.1109/CEIDP.2008.4772859.
- Willwerth A., Roman M., 2013. Electrical bearing damage – a lurking problem in inverter-driven traction motors. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Michigan*. DOI: 10.1109/ITEC.2013.6573484.



Mgr inż. Dariusz SACHA
Starszy specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: dariusz.sacha@inig.pl



Dr inż. Magdalena ŻÓŁTY
Zastępca Dyrektora ds. Technologii Nafty
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: magdalena.zolty@inig.pl



Mgr inż. Agnieszka SKIBIŃSKA
Starszy specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: agnieszka.skibinska@inig.pl



Mgr inż. Ewa BARGLIK
Specjalista inżynierijno-techniczny
w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: ewa.barglik@inig.pl

Possibilities for producing secondary materials from hydrocarbon waste

Możliwość produkcji materiałów wtórnych z odpadów węglowodorowych

Abdugaffor M. Khurmamatov¹, Nadira K. Yusupova¹, Alisher U. Auesbaev^{1,2,3}

¹ *Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

² *Branch of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) in Tashkent*

³ *Karakhalpak State University named after Berdakh*

ABSTRACT: The utilisation and processing of crude oil sludge is one of the major global challenges. Therefore, it is necessary to justify the following scientific solutions in the field of oil sludge utilisation and processing worldwide: the study of the physicochemical properties of oil sludge in order to obtain construction grade bitumen; detection of dispersion of solid particles in the composition of oil sludge; development of the optimal technological parameters for the process of obtaining construction grade bitumen from oil sludge; establishing a correlation dependence between process efficiency and the environment, the content of light fractions in the sludge composition, the process temperature. In this work, oil sludge was diluted with a solvent in a ratio of 70:30, with light naphtha used as a solvent. A laboratory distillation column was used to separate the sludge into fractions, and the chemical composition of the oil sludge was investigated. Oil sludge consists of asphaltenes up to 4.2–4.5%, resins up to 21.0%; paraffin-naphthenic hydrocarbons up to 41.2%; monocyclic aromatic hydrocarbons up to 4.6%; bi- and tricyclic aromatic hydrocarbons up to 5.8%; polycyclic aromatic hydrocarbons up to 9.7%. The paper also presents the results of the change in the viscosity and density of the distillate fractions separated during the distillation of diluted oil sludge. Density and viscosity were measured using an areometer and a VPZh-4, respectively. One of the main components of the oil sludge is water. A series of experiments were conducted to determine the water content using the Dean and Stark method. In addition, the sulphur content in oil sludge diluted with solvents – light and heavy naphtha, heavy gas oil – was determined.

Key words: distillation column, light naphtha, heavy naphtha, heavy gas oil, oil, oil sludge, distillate, fraction, density, viscosity, bitumen.

STRESZCZENIE: Utylizacja i przetwarzanie odpadów ropopochodnych to jedno z głównych globalnych wyzwań. W związku z tym konieczne jest uzasadnienie rozwiązań naukowych w zakresie utylizacji i przetwarzania szlamu naftowego na całym świecie, w tym: badanie właściwości fizykochemicznych szlamu naftowego w celu uzyskania asfaltu budowlanego; wykrywanie dyspersji cząstek stałych w składzie szlamu naftowego; opracowanie optymalnych parametrów technologicznych procesu wytwarzania asfaltu budowlanego; ustalenie zależności korelacyjnych pomiędzy wydajnością procesu a środowiskiem, zawartością frakcji lekkich w składzie szlamu naftowego, temperaturą procesu. W niniejszej pracy szlam naftowy rozcieńczono rozpuszczalnikiem w stosunku 70:30, przy czym jako rozpuszczalnik użyto benzyny lekkiej. Do rozdzielania osadów na frakcje użyto kolumny destylacyjnej dostępnej w laboratorium, a także zbadano skład chemiczny szlamu naftowego. Zawiera on asfalteny w ilości 4,2–4,5%, żywice do 21,0%; węglowodory parafinowo-naftenowe do 41,2%; jednopierścieniowe węglowodory aromatyczne do 4,6%; dwu- i trójpierścieniowe węglowodory aromatyczne do 5,8%; wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne do 9,7%. W artykule przedstawiono również wyniki badania zmian lepkości i gęstości frakcji destylatów wydzielonych podczas destylacji rozcieńczonego szlamu naftowego. Gęstość i lepkość mierzono odpowiednio za pomocą areometru i VPZh-4. Jednym z głównych składników szlamu naftowego jest woda. Przeprowadzono serię eksperymentów w celu określenia zawartości wody metodą Deana i Starke. Dodatkowo określono zawartość siarki w szlamie naftowym rozcieńczonym rozpuszczalnikami – benzyną lekką i ciężką oraz olejem opałowym ciężkim.

Słowa kluczowe: kolumna destylacyjna, benzyna lekka, benzyna ciężka, olej opałowy ciężki, ropa, szlam naftowy, destylat, frakcja, gęstość, lepkość, asfalt.

Corresponding author: A.U. Auesbaev, e-mail: alisherauesbaev@gmail.com

Article contributed to the Editor: 31.03.2023. Approved for publication: 14.08.2024.