prof. dr hab. inż. Włodzimierz Gąsowski
Politechnika Poznańska
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR"

Proces konstruowania pojazdów szynowych

W pracy przedstawiono w pełnym zakresie proces konstruowania pojazdów szynowych. Opisano poszczególne etapy i przebieg tego procesu. Wykazano również wzajemne powiązania projektowania, wytwarzania i eksploatacji pojazdów.

1. Wstęp

Tworzenie konstrukcji nowych, oryginalnych oraz zmodernizowanych pojazdów szynowych jest złożonym zagadnieniem [1, 2].

Potrzeba opracowania nowego pojazdu wypływa zwykle od zamawiającego, od użytkownika lub od producenta taboru kolejowego.

Zamawiającym najczęściej jest kolej (np. Polskie Koleje Państwowe, a ostatnio po podziale jej segmenty zajmujące się przewozami towarowymi i pasażerskimi), instytucje przewozowe (np. Dyrekcja Eksploatacji Cystern) jak również duże przedsiębiorstwa przemysłu chemicznego, budownictwa, leśnictwa itd. oraz firmy leasingowe, urzędy marszałkowskie i inne.

Niekiedy zamawiającymi są odbiorcy z innych krajów, którzy albo zamawiają pojazdy, które mają być wykonane według polskiej dokumentacji, albo częściowo wg dokumentacji dostarczonej przez zagranicznego kontrahenta.

W wielu przypadkach producenci taboru kolejowego i współpracujące z nimi instytucje, czyli Zakładowe Biura Konstrukcyjne lub Instytut Pojazdów Szynowych w Poznaniu, śledząc rozwój taboru kolejowego na świecie i analizując potrzeby rynku, sami występują z propozycjami nowych konstrukcji wagonów, lokomotyw, zespołów trakcyjnych, autobusów szynowych oraz szeroko rozumianej modernizacji pojazdów. Bywają przypadki, że z inicjatywą stworzenia nowego pojazdu występują jednostki Wyższych Uczelni Technicznych.

Tworzenie nowego pojazdu odbywa się w różnorodny sposób. Zależy ono od rodzaju pojazdu i oryginalności jego konstrukcji, od warunków w jakich ma być eksploatowany, od liczby mających powstawać pojazdów, od szczególnych wymagań przyszłego użytkownika itp.

Pełny przebieg procesu tworzenia nowych pojazdów - którymi najczęściej są wagony - składa się z następujących etapów.

2. Opracowanie wymagań technicznych

Wymagania techniczne (niekiedy techniczno-eksploatacyjne) opracowuje przyszły użytkownik lub rzadziej zamawiający, konstruktor w zakładzie wytwarzającym albo w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR" w Poznaniu w postaci wytycznych. Wytyczne zawierają:

- parametry ogólne (naciski na oś, prędkość, skrajnia, moc, siła pociągowa, zdolność przewozowa - liczba pasażerów, warunki atmosferyczne itp.),
- wymagania odnośnie do utrzymania (przebiegi, przeglądy, naprawy, cykle przeglądowo-naprawcze),
- szczegółowe wymagania wraz z odnośnymi przepisami (normy PN, ZN, karty UIC, przepisy ERRI, normy IEC, ISO, EN dla głównych zespołów pojazdu takich jak część biegowa, hamulec, urządzenie cięgłowo-zderzne, instalacja pneumatyczna, kabina maszynisty, oświetlenie, wymagania przeciwpożarowe, obwody elektryczne - główne i pomocnicze, diagnostyka itp.).

Na podstawie tych wytycznych konstruktorzy Instytutu Pojazdów Szynowych lub Zakładowych Biur Konstrukcyjnych tworzą koncepcję pojazdu. Aktualnie najczęściej występuje ona w postaci oferty na dany pojazd, ujmującej parametry techniczne oraz opisy - niekiedy dość szczegółowe wraz z rysunkami ogólnymi - zespołów i podzespołów. Oferta zawiera również odniesienie się w sposób szczegółowy do każdego z punktów wymagań technicznych lub techniczno-eksploatacyjnych.

Dawniej z reguły, a obecnie coraz rzadziej w procesie konstruowania opracowuje się założenia konstrukcyjne oraz projekt wstępny. Wpływają na to względy finansowe użytkownika lub zamawiającego, który jest najczęściej zainteresowany otrzymaniem dokumentacji konstrukcyjnej wykonanej z możliwie pełnym uwzględnieniem jego możliwości technicznych i technologicznych. Jednak dla pełnego opisu procesu konstruowania pojazdów przedstawiono również te dwa jego etapy.

3. Założenia konstrukcyjne

Na podstawie wytycznych w Instytucie Pojazdów Szynowych (IPS) lub w Zakładowych Biurach Konstrukcyjnych (ZBK) opracowuje się założenia konstrukcyjne określające główne parametry pojazdu i stawiane mu wymagania. Obejmują one wstępną analizę techniczno-ekonomiczną celowości produkcji, przybliżoną kalkulację kosztów produkcji oraz podstawowe dane i parametry techniczno-eksploatacyjne.

Podstawowe dane i parametry techniczno-ekonomiczne zawierają:

- rysunki ogólnego układu pojazdu z podstawowymi wymiarami,

- rozmieszczenie głównego wyposażenia,
- wstępne rysunki zestawieniowe podstawowych zespołów (wózek, układ hamulca, oparcie pudła na wózku i inne),
- skrócony opis techniczny z charakterystykami podstawowych zespołów,
- informacje o obsłudze, naprawach, trwałości itp.,
- porównanie konstrukcji z innymi konstrukcjami istniejącymi w kraju i za granicą,
- analizę patentową i inne.

Uzgodnione i zatwierdzone założenia konstrukcyjne są podstawą do opracowania projektu wstępnego lub projektu technicznego.

4. Projekt wstępny

Projekt wstępny jest opracowany przez IPS lub ZBK.

Jest to zbiór podstawowych dokumentów konstrukcyjnych, zawierających charakterystykę zasadniczych rozwiązań konstrukcyjnych, dających ogólne pojęcie o konstrukcji całego pojazdu i jego podstawowych zespołów. Określa on również przeznaczenie, zasadnicze parametry i podstawowe wymiary opracowywanej konstrukcji. Projekt wstępny stanowi uściśloną i rozszerzoną wersję parametrów i informacji technicznych zawartych w założeniach konstrukcyjnych. Rysunki wykonane na podstawie wstępnych analitycznych obliczeń przedstawiają szczegółowiej konstrukcję pojazdu i jego zespołów.

Projekt wstępny zawiera:
- rysunek zestawieniowy pojazdu,
- rysunki najważniejszych zespołów, w tym zespołów oryginalnych,
- zasadnicze obliczenia dynamiczne i wytrzymałościowe
- orientacyjny wykaz materiałów,
- informacje o normalizacji i unifikacji,
- wytyczne do badań prototypu,
- wytyczne do określenia trwałości oraz cykli naprawczych,
- informacje o malowaniu i napisach,
- inne niezbędne informacje.

Projekt wstępny - po przedyskutowaniu, i zaopiniowaniu przez wyznaczone do tego instytucje (np. dla elektrycznych zespołów trakcyjnych - Biuro Utrzymania Taboru w Poznaniu) - wraz z danymi wyjściowymi i założeniami konstrukcyjnymi stanowi podstawę do opracowania projektu technicznego.

5. Projekt techniczny

Projekt techniczny jest najważniejszym etapem tworzenia konstrukcji pojazdu.

Powinien on zawierać ostateczne rozwiązania techniczne wszystkich zespołów i elementów konstrukcji, dając pełny obraz funkcjonowania pojazdu i działania jego układów i mechanizmów, zastosowanych materiałów, części standardowych i zaadaptowanych itd. Powinien on obejmować niezbędne obliczenia, badania i uzasadnienia. W przypadku całkowicie oryginalnych rozwiązań powinien być wykonany model pojazdu lub wybranych układów, albo jedno i drugie łącznie, oraz przeprowadzone ich badania. W trakcie opracowywania konstrukcji niezbędna jest analiza i wykorzystanie wyników prac badawczych prowadzonych przez instytucje naukowe w kraju i za granicą. Konieczna jest analiza czystości patentowej i informacji technicznej, zaleceń branżowych instytutów związanych z kolejnictwem, wymagań technicznych zamawiającego itp.

We wszystkich etapach projektowania należy sprawdzać pojazd pod względem możliwości patentowania jego zespołów i elementów oraz we właściwym czasie opracowywać zastrzeżenia patentowe. W procesie konstruowania należy przewidywać stosowanie nowoczesnych materiałów, sposobów wytwarzania, standaryzacji i unifikacji części, właściwych norm zużycia materiałów. Ponadto należy uwzględniać normy obowiązujące w zakresie obliczeń i projektowania pojazdów oraz inne normy związane.

Oddzielnymi dokumentami na tym etapie projektowania są:
- opis techniczny,
- warunki techniczne.

Opis techniczny zawiera charakterystykę, układ i działanie całego pojazdu i jego poszczególnych zespołów. Umożliwia on personelowi technicznemu wstępne zapoznanie się z nowym wyrobem.

Warunki techniczne wykonania i odbioru, opracowane przez IPS lub ZBK, zawierają bliższe określenie pojazdu jako całości i jego zespołów oraz określają specjalne wymagania dotyczące wykonania części, ich montażu i odbioru pojazdu. Oprócz tego zawierają one wykazy materiałów zasadniczych i zastępczych na ważne elementy wraz ze wskazówkami ich odbioru. Ponadto warunki techniczne zawierają także wskazania technologiczne, które ze względu na ich obszerną treść nie mogą być umieszczone na rysunkach, a jednak są konieczne do uzyskania prawidłowego działania wyrobu.

W ujęciu organizacyjnym dokumentacja konstrukcyjna zawiera następujące elementy:

1) Grupa 01 - obliczenia, rysunek ofertowy (zestawieniowy) pojazdu, warunki techniczne wykonania, warunki techniczne odbioru, instrukcje malowania, ważenia, wykazy materiałów niemetalowych z podaniem ich odporności przeciwpożarowej, program prób i badań, dokumentację techniczno-ruchową, dokumentację technologiczną systemu utrzymania pojazdu.
2) Grupy rysunkowe od 02 do 90 (wg normy) - ostateczne rozmieszczenie techniczne zespołów, podzespołów, części czyli rysunki złożeniowe (zestawieniowe) oraz rysunki wykonawcze.

Projekt opiniuje (ewentualnie zatwierdza) instytucja często wskazana przez zamawiającego lub użytkownika.

Na podstawie zatwierdzonego projektu technicznego - w przypadku przewidywanego wykonywania większej liczby lub produkcji seryjnej pojazdu - opracowuje się nieco uproszczoną dokumentację prototypu lub partii próbnej.

6. Dokumentacja techniczna (technologiczna) oraz program prób i badań prototypu (partii próbnej)

Dokumentację techniczną, głównie technologiczną, prototypu opracowują zakłady wytwarzające pojazd, natomiast program prób i badań opracowuje IPS lub ZBK.

Dokumentacja prototypu zawiera wszystkie dane niezbędne do wykonania wagonu w warunkach konkretnego zakładu wytwórcy. Program prób i badań zawiera opis wszystkich czynności, które należy kolejno wykonać celem stwierdzenia, czy zbudowany prototyp spełnia wymagania postawione w dokumentacji konstrukcyjnej.

Stosuje się dwa rodzaje badań:
- badania wstępne (zakładowe),
- badania odbiorcze.

W badaniach zakładowych określa się zgodność wykonania pojazdu z dokumentacją konstrukcyjną oraz podejmuje się decyzję o gotowości wyrobu do badań odbiorczych. W procesie badań zakładowych zwykle sprawdza się wytrzymałość konstrukcji, charakterystyki części biegowych, funkcjonowanie układów itd. Niektórych badań, na przykład badania układu hamulcowego, można nie przeprowadzać, jeśli układ i wszystkie jego parametry są całkowicie zgodne z układem zbadanym na innym, produkowanym wcześniej pojeździe.

Badania zakładowe prototypu organizuje i przeprowadza zakład wytwarzający, z udziałem - jeśli to konieczne - zakładów kooperujących.

Na podstawie wyników badań zakładowych podejmuje się decyzje o dopuszczeniu pojazdu do badań odbiorczych lub o konieczności poprawienia dokumentacji technicznej. W przypadkach, gdy zakres zmian jest zasadniczy - o budowie nowego prototypu.

Badania odbiorcze prototypu przeprowadza się w celu sprawdzenia, czy odpowiada on dokumentacji konstrukcyjnej i czy można na jego podstawie uruchomić produkcję w skali przemysłowej (przeważnie seryjną).

Po zbadaniu i zatwierdzeniu prototypu przez odpowiednią komisję przeprowadza się korektę dokumentacji konstrukcyjnej, dostosowując ją do produkcji serii próbnej. W czasie wykonywania serii próbnej usuwa się usterki w dokumentacji technologicznej i pomocach warsztatowych, zastosowanych do produkcji danego typu pojazdu. Po wykonaniu krótkiej serii próbnej następuje produkcja seryjna. W przypadku organizacji produkcji pojazdu danego typu w kilku zakładach, oryginały dokumentacji konstrukcyjnej są przechowywane w zakładzie prowadzącym, a pozostałe zakłady otrzymują kopie. Wszystkie zmiany konstrukcyjne ma prawo wnosić tylko zakład prowadzący, który zawiadamia o tym pozostałe zakłady. Propozycje zmian wychodzące od innych zakładów muszą być uzgodnione i zatwierdzone przez zakład prowadzący.

Aktualnie dokumentację z reguły tworzy się w formie elektronicznej, dlatego każdy z wykonawców ma oryginały rysunków, gdyż każdy rysunek może wykonać za pomocą plotera. Na takim oryginale może nanieść pewne poprawki np. zmianę materiałów itp.

Jednak w produkcji seryjnej każdy pojazd winien być wykonany już zgodnie z WTW (warunki techniczne wykonania) i WTO (warunki techniczne odbioru).

Każdy pojazd z serii podlega próbie odbiorczej, według warunków wykonania i odbioru. Zakres tego odbioru jest znacznie mniejszy niż zakres odbioru prototypu. Obejmuje on głównie sprawdzenie działania urządzeń (podczas postoju) oraz próbę sprawności całego pojazdu (podczas jazdy). Próby przeprowadzają pracownicy producenta w obecności przedstawicieli użytkownika.

7. Dokumentacja techniczno-ruchowa (DTR)

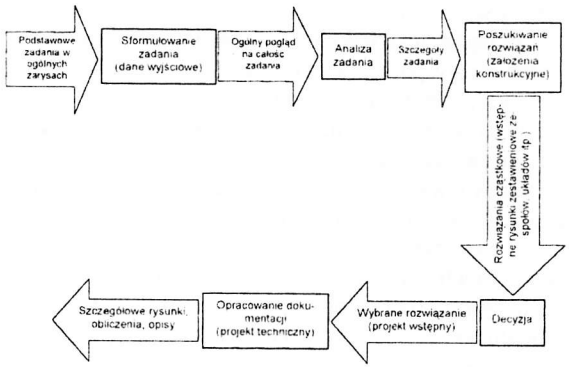
Do dokumentacji technicznej należy również tzw. dokumentacja techniczno-ruchowa (DTR). Jest to zbiór opisów układów, urządzeń i aparatów oraz instrukcje ich obsługi i konserwacji. Zawiera on również instrukcje napraw elementów pojazdu podczas jego eksploatacji. Dokumentacja techniczno-ruchowa jest przeznaczona głównie dla użytkownika pojazdu lecz także dla zakładu organizującego serwis i naprawy. Obecnie użytkownik podpisuje umowę z producentem nie tylko na wytworzenie pojazdu ale również na jego obsługę serwisową i naprawy.

DTR składa się z następujących części:
- opis pojazdu oraz jego zespołów i podzespołów,
- instrukcja użytkowania (dla lokomotyw jest to „podręcznik maszynisty"),
- przeglądy i naprawy (cykle przeglądowo-naprawcze, sposoby przeprowadzania, opisy czynności, wykazy narzędzi niezbędnych do ich przeprowadzania, wykazy materiałów takich jak środki czyszczące, smary, oleje itp.),
- katalogi części zamiennych z podaniem producenta lub dostawcy.

Międzynarodowa współpraca w produkcji i wymianie taboru kolejowego doprowadziła do wymiany lub sprzedaży dokumentacji konstrukcyjnej w ramach licencji. Taka dokumentacja jest tłumaczona na język polski i adaptowana do krajowych warunków produkcji (głównie w zakresie materiałów i metod wytwarzania), na ogół bez zmniejszenia wartości użytkowych pojazdu.

Proces tworzenia nowych konstrukcji pojazdów jest złożony i wielostopniowy. Jest rzeczą naturalną, iż dąży się do skrócenia czasu i zmniejszenia kosztów prac projektowych. Umożliwia to posługiwanie się właściwymi metodami projektowania, np. CAD, oraz odpowiednimi komputerami. Należy jednakże przy tym unikać pośpiechu, powodującego niedostatecznie dokładne opracowanie konstrukcji; niedociągnięcia i związana z tym mniejsza trwałość i niezawodność pojazdu mogą spowodować duże straty w eksploatacji. Skracaniu czasu projektowania i wdrażania do produkcji nowych pojazdów sprzyja systematyczne doskonalenie bazy technicznej przedsiębiorstw produkujących pojazdy oraz wdrażanie sprawdzonych osiągnięć naukowych i technicznych. Całość dokumenta-

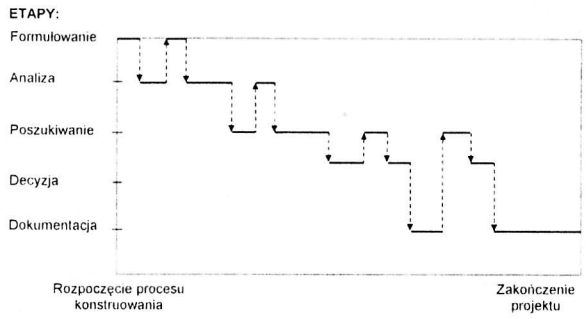
cji technicznej stanowią więc rysunki techniczne (zestawieniowe i części), opisy (pojazdu i jego zespołów, wykresy, szkice i niezbędne dane liczbowe charakteryzujące konstrukcję i jej możliwości techniczno-eksploatacyjne) oraz - w przypadku bardziej złożonych i oryginalnych rozwiązań konstrukcyjnych - makieta pojazdu. W tworzeniu nowych konstrukcji dobrze jest korzystać z ogólnej metody projektowania, na przykład przedstawionej na rysunku 1. Stosowanie tej metody nie gwarantuje wprawdzie uzyskania we wszystkich przypadkach najlepszych rozwiązań, ponieważ przy konstruowaniu nie można wykluczyć czynnika przypadkowości, jednak zwiększa się prawdopodobieństwo lepszych rozwiązań.



Rys. 1. Etapy procesu konstruowania

Cele i charakter pracy w każdym etapie procesu konstruowania są odmienne, nie mają one jednak ani wyraźnie wyznaczonych linii podziału, ani jednoznacznie określonego planu dochodzenia krok za krokiem do celu. Bywa tak, że konstruktor ma wizje szczegółowych rozwiązań już na etapie, w którym głównym zadaniem jest definiowanie problemu. Niekiedy na etapie poszukiwania rozwiązań celowe jest zmodyfikowanie sformułowania problemu. Warianty rozwiązań często ocenia się wstępnie już na etapie poszukiwania różnorodnych możliwości. Niekiedy w procesie konstruowania dużą rolę odgrywa przypadek. Pojawiają się nowe nie przewidziane informacje i koncepcje, napotyka się różnorodne sprzeczności, trafia w "ślepe zaułki". Okoliczności te powodują konieczność przechodzenia do następnych lub wracania do poprzednich etapów (rys. 2).

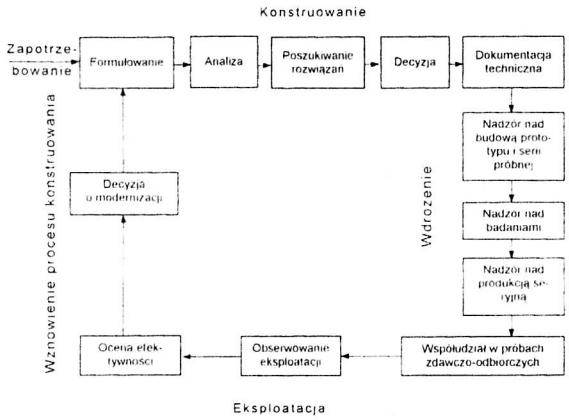
Bardziej skomplikowane pojazdy składają się z dużej liczby zespołów i podzespołów, z których wiele obejmuje setki części. W czasie opracowywania założeń konstrukcyjnych i projektu wstępnego sporządza się wykazy podstawowych parametrów każdego podzespołu (o ile nie jest on zapożyczony z istniejących rozwiązań), nie zajmując się bliżej elementami, z których on się składa. Dopiero w projekcie technicznym, gdy ogólne rozwiązanie pojazdu jest wykonane, przystępuje się do szczegółowego konstruowania podzespołów i części. Główne zespoły (np. wózki, pudła, wyposażenie elektryczne) są opracowywane przez wyspecjalizowane grupy konstruktorów, które otrzymują zasadnicze parametry, ograniczenia itp. Wszystkie prace projektowe koordynuje konstruktor prowadzący.



Rys. 2. Przebieg procesu konstruowania

W ciągu całego procesu konstruowania zwraca się uwagę na aktualny stan technologii, umożliwiający wykonanie proponowanego rozwiązania oraz na jego ekonomiczność. Analiza ekonomiczna proponowanego rozwiązania należy do obowiązków konstruktora, który rozpatrując różne warianty rozwiązania, waży jego zalety i wady oraz proponuje rozwiązanie najlepsze. Zadanie konstruktora zwykle nie kończy się na opracowaniu dokumentacji pojazdu. Do jego obowiązków należy nadzór autorski nad budową prototypu, jego badaniami i produkcją. Powinien on również obserwować pojazd w czasie eksploatacji i oceniać jego działanie, a także współdecydować o jego modyfikacji lub modernizacji (rys. 3).

Aktualnie procesy projektowania są krótsze niż te z przed kilku lat. Dzieje się tak na skutek efektywnego wspomagania prac projektowych przez różne metody i programy obliczeniowe jak np. CAD, Solid Works, Medyna, Cosmos, Matlab i inne.



Rys. 3. Zbiór funkcji konstruktora na poszczególnych etapach konstruowania

8. Wzajemne powiązanie projektowania, wytwarzania i eksploatacji pojazdów

Wielki postęp w rozwoju techniki w ostatnich dziesięcioleciach doprowadził do wyższego poziomu złożoności i spowodował powstanie wielu różnorodnych specjalności. Fachowcy mają zwyczaj zajmowania się wyłącznie problemami tradycyjnie uważanymi za właściwe dla ich dyscypliny. Tego rodzaju podział odpowiada, ogólnie rzecz biorąc, zwyczajowemu rozczłonkowaniu działalności wytwórni produkujących pojazdy - jak również i innych przedsiębiorstw

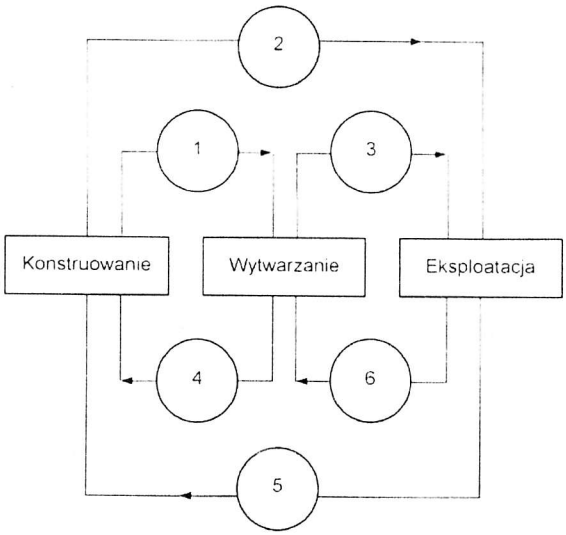
przemysłu elektromaszynowego - na piony: badawczy, projektowy, technologiczny, produkcyjny, ekonomiczny i inne.

Wewnątrz pionów występują dalsze dodatkowe rozdrobnienia na działy i sekcje specjalistyczne. Tak więc w pionie projektowym spotyka się inżynierów i techników mechaników, elektryków, chemików itd., przy czym każdy z nich interesuje się zwykle tylko w ograniczonym zakresie pracą współpracowników poza daną grupą. Panuje zwyczaj, że każdy zajmuje się jednym, wybranym fragmentem przedsięwzięcia, jakim jest stworzenie nowego pojazdu, starając się rozwijać i doskonalić tylko to, za co jest bezpośrednio odpowiedzialny. Na ogół główną rolę ogólnego nadzoru i koordynacji nad projektowanym obiektem przyjmuje konstruktor prowadzący opracowanie danego typu pojazdu lub główny konstruktor. Ich działalność nie ogranicza się wyłącznie do biura konstrukcyjnego, lecz jest znacznie szersza.

Parametry techniczne, ekonomiczne projektowanego pojazdu i czas jego powstawania zależą od ścisłych, racjonalnych powiązań między różnymi stadiami jego budowy.

Wszystkie konstrukcje pojazdów przechodzą trzy zasadnicze etapy istnienia: najpierw powstają one w biurach konstrukcyjnych - w postaci rysunków i opisów, następnie materializują się w procesie wytwarzania i w końcu są przekazywane do eksploatacji. Procesy konstruowania, wytwarzania i eksploatacji są ściśle związane między sobą. Na rysunku 4 przedstawiono umownie dwa rodzaje tych związków:

- w postaci sprzężeń bezpośrednich, odzwierciedlających wpływ konstruowania na wytwarzanie i eksploatację (związki 1 i 2), a także wpływ wytwarzania na eksploatację (związek 3),
- w postaci sprzężeń zwrotnych, wyrażających wpływ eksploatacji na konstruowanie i wytwarzanie (związki 5 i 6) oraz wpływ wytwarzania na konstruowanie (związek 4).



Rys. 4. Związki wzajemne procesów konstruowania, wytwarzania i eksploatacji

Wpływ konstruowania na wytwarzanie (związek 1) polega na tym, że wybór materiałów, kształtów konstrukcji, zadanej dokładności skojarzeń elementów oraz wiele innych parametrów konstrukcyjnych określają bezpośrednio wybór metod przygotowania półwyrobów, metod obróbki i montażu, niezbędnego oprzyrządowania technologicznego, narzędzi i wyposażenia, a nawet pewnych form organizacji produkcji. Na przykład części zaprojektowane jako odlewy byłoby nieracjonalnie wykonywać - zarówno pod względem technicznym jak i ekonomicznym - metodą kucia lub spawania. Z tych względów każda konstrukcja powinna być projektowana nie "w ogóle", lecz z myślą o konkretnej produkcji w określonym zakładzie. Nieprzestrzeganie tej zasady może spowodować konieczność zasadniczej zmiany wyposażenia zakładu, powodującej duże nakłady finansowe (związek 4).

Istniejący park maszyn, zdolność produkcyjna zakładów, przewidywane rozmiary produkcji, opracowane i opanowane niektóre procesy technologiczne (np. linia automatycznego zgrzewania ścian, linia spawania i wyżarzania ram wózków) i inne czynniki narzucają konstruktorowi wybór kształtów i materiałów części, tzn. z góry przesądzają rozwiązanie projektowanych części i zespołów. Konstruktor mając na względzie nowoczesność konstrukcji i kierunki jej rozwoju, powinien się wyzwolić - w rozsądnych granicach - z tych ograniczeń. Jego ważniejsze decyzje muszą być poparte rachunkiem ekonomicznym, z którego powinna wynikać zasadność wykorzystania istniejących środków technicznych lub konieczność ich zmiany na nowe.

Wpływ konstruowania na eksploatację (związek 2) polega na tym, że rozwiązania konstrukcyjne przyjęte w procesie projektowania pojazdu, jego założona trwałość i niezawodność wpływają bezpośrednio na wskaźniki eksploatacyjne konstrukcji, dogodność obsługi i metody napraw. Na przykład sposoby łączenia części i zespołów określają niezawodność ich działania w eksploatacji, dogodność przeglądów i napraw; dobór skojarzeń i sposobów smarowania wpływa na intensywność zużycia elementów ciernych.

Wpływ eksploatacji na konstruowanie (związek 5) polega na tym, że warunki eksploatacji pojazdów np. masy pociągów i prędkości jazdy, sposobów obsługi w różnych warunkach klimatycznych, szybkości formowania i rozrządzania pociągów - z góry określają pewne rozwiązania konstrukcyjne pojazdów. Tak więc, im większe są stosowane prędkości zderzeń przy rozrządzaniu pociągów, tym skuteczniejsze muszą być amortyzatory urządzeń zderznych i mocniejsza ostoja pojazdu.

Wpływ wytwarzania na eksploatację (związek 3) wyraża się tym, że organizacja produkcji, dokładność wykonania części i zespołów oraz montażu, jakość kontroli technicznej i innych czynników bezpośrednio wpływają na niezawodność pracy pojazdów. Właściwe działanie pojazdu w warunkach eksploatacji jest możliwe wówczas, kiedy dobrano prawidłowe rozwiązania konstrukcyjne i tolerancje parametrów ich zespołów oraz zapewniono ich stabilne zachowanie w procesie wytwarzania (tzn. że tolerancje zachowane w

produkcji odpowiadają tolerancjom przewidzianym w dokumentacji konstrukcyjnej).

Z kolei warunki eksploatacji narzucają wymagania konstrukcji (związek 5) i procesowi wytwarzania (związek 6), ponieważ eksploatacyjne wymagania trwałości i niezawodności są realizowane w procesie konstruowania i wytwarzania. Na przykład, im mniejsze są tolerancje wytwarzania, tym bardziej trwały i niezawodny (ale i droższy) jest pojazd w czasie eksploatacji. Celem osiągnięcia określonej trwałości i niezawodności w procesie wytwarzania dobiera się odpowiednie oprzyrządowanie, ustala dokładność obróbki, przeprowadza kontrolę materiałów wyjściowych, stosuje się dostatecznie dokładne narzędzia, przeprowadza się właściwą kontrolę gotowych wyrobów itd.

Oprócz oceny technicznej, ważne znaczenie ma również ocena ekonomiczna związków wzajemnych projektowania, wytwarzania i eksploatacji. Koszt opracowania konstrukcji stanowi zazwyczaj małą część kosztów produkcji i eksploatacji, wyrażającą się częściami procenta od ogólnych nakładów. Produkcja taboru kolejowego charakteryzuje się sporymi nakładami, jednakże ogólne nakłady eksploatacyjne w całym okresie jego pracy wielokrotnie przewyższają nakłady na produkcję. Naturalne jest więc, że najważniejszymi związkami są więzy 5 i 6, określające wpływ wymagań eksploatacyjnych na konstruowanie i wytwarzanie.

Do podstawowych wymagań eksploatacyjnych, mających istotny wpływ na proces konstruowania i wytwarzania, należą: (następujące wymagania)

1) **Bezpieczny ruch pociągów**, sprowadzający się do zapobiegania awariom pojazdów i związanych z tym wypadków z ludźmi. Zasadniczym środkiem konstrukcyjnym zapobiegającym awariom jest duża niezawodność zespołów i układów pojazdów, zwłaszcza części biegowych i urządzeń hamulcowych oraz możliwość diagnostyki zasadniczych układów i zespołów.
2) **Wygodna obsługa pojazdów**, polegająca na dobrym dostępie do wszystkich miejsc wymagających bieżącej kontroli i obsługi (na przykład do kurków do napełniania wodą w wagonach pasażerskich), łatwym otwieraniu i zamykaniu drzwi i luków w wagonach towarowych itp.
3) **Dobór rozwiązań konstrukcyjnych do przewidywanych warunków pracy**. Na skutek występowania ładunków o różnych wymaganiach przewozowych potrzeba byłoby wagonów o dużej różnorodności konstrukcyjnej. Nie powinno to jednak prowadzić do małoseryjnej produkcji wagonów i utrudniania ich właściwej organizacji obsługi i napraw w czasie eksploatacji. Z tych względów należy ograniczać się do projektowania uzasadnionej ekonomicznie minimalnej liczby różnych typów wagonów.
4) **Minimalne zużycie moralne**, sprowadzające się do wyboru rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych zgodnych z aktualnym poziomem techniki. Zużycie moralne polega na tym, iż w porównaniu z nowymi konstrukcjami, konstrukcja wcześniejsza ma gorsze parametry techniczne, jest mniej ekonomiczna w eksploatacji, hamuje wprowadzanie postępowych metod produkcji i naprawy. Tego rodzaju konstrukcje przestaje się produkować lub modernizuje się je. Wraz z rozwojem techniki okresy moralnego zużycia ulegają ciągłemu zmniejszaniu. Racjonalnym dążeniem jest więc dopasowanie tych okresów do okresów życia fizycznego pojazdów.
5) **Minimalna masa**. Jest to wymóg ogólny przy projektowaniu maszyn i urządzeń, jednak w przypadku pojazdów jest to szczególnie istotne, ponieważ zmniejszenie masy ma wpływ nie tylko na zmniejszenie kosztów materiałów, ale także na zmniejszenie kosztów eksploatacji. Każda zbyteczna jednostka masy powoduje wzrost strat energii potrzebnej na jej transport w całym okresie eksploatacji pojazdu oraz wzrost kosztów utrzymania i naprawy torów.
   W przypadku pojazdów trakcyjnych to kryterium również obowiązuje, ale w ograniczonym zakresie, musi być bowiem zapewniony odpowiedni ciężar napędny.
6) **Konstrukcyjne zapewnienie możliwości przemysłowych metod napraw**. Polega ono na przewidywaniu możliwości obsługi technicznej i napraw pojazdów, głównie wagonów znajdujących się w eksploatacji metodami potokowymi, z wykorzystaniem możliwości techniczno-organizacyjnych wytwórni i zakładów naprawczych. Bazą tego rodzaju napraw jest normalizacja i unifikacja konstrukcyjna pojazdów i wzajemna zamienność ich części i zespołów.

Podstawowe wymagania technologiczno-produkcyjne w stosunku do konstrukcji pojazdów są następujące:

- maksymalne wykorzystanie w nowych konstrukcjach części i zespołów opanowanych produkcyjnie, wyróżniających się dobrymi parametrami technicznymi oraz niskimi kosztami wytwarzania i eksploatacji;
- ekonomicznie uzasadnione ograniczenie różnorodności części i zespołów drogą normalizacji i unifikacji bez uszczerbku dla własności funkcjonalnych pojazdów,
- zapewnienie możliwie długiej serii produkcyjnej pojazdów bez konieczności zmiany sposobów wytwarzania.

Tak więc warunkiem stworzenia pojazdu odpowiadającego eksploatacji, przy niskich nakładach na jego wyprodukowanie, jest ścisłe i racjonalne powiązanie procesów projektowania, wytwarzania i eksploatacji.

12. Literatura

[1] *Gąsowski W.: Wagony kolejowe - konstrukcja i badania. WKiŁ, Warszawa 1988.*

[2] *Gąsowski W.: Aerodynamika w konstruowaniu, budowie i eksploatacji pojazdów szynowych. Pojazdy Szynowe, nr 3/2002.*