

Wojciech SZYMAŃSKI
Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki
Politechniki Śląskiej

ANALIZA DOBORU BATERII AKUMULATORÓW ROZRUCHOWYCH
DO SPALINOWYCH POJAZDÓW TRAKCYJNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono jedną z metod doboru pojemności baterii akumulatorów do spalinowych pojazdów trakcyjnych, uwzględniającą wytyczne rekomendowane przez kartę UIC oraz analizę dotychczas stosowanych pojemności i możliwość ich zmniejszenia w oparciu o uzyskane wyniki na podstawie przeprowadzonych obliczeń.

1. Baterie akumulatorów w spalinowych pojazdach trakcyjnych

Dotychczas pojazdy spalinowe eksploatowane przez PKP z wyjątkiem lokomotyw pochodzenia węgierskiego serii SM40/41 były wyposażone przez producentów wyłącznie w baterie kwasowe. W roku 1975 zaczęto wyposażać w baterie zasadowe lokomotywy produkcji krajowej SM42. Zestawienie typów baterii akumulatorów stosowanych w spalinowych pojazdach trakcyjnych podano w tablicy 1. Baterie producenta po pewnym okresie eksploatacji z powodu braku oryginalnych wymieniane są na baterie zastępcze (głównie w lokomotywach produkcji zagranicznej), niekiedy o nieco innych parametrach, co pogarsza ich niezawodność.

Tablica 1

Seria pojazdu spalinowego	Bateria akumulatorów		
	rodzaj	typ	napięcie
1	2	3	4
SM03	kwasowa	6SE-150	24 V
SM15	"	6STEN-140	60 V
SM25	"	6SE-150	24 V
SM30	"	6SE-150	48 V
SM40/41	zasadowa	2S-31	24 V
SM42	"	6SE-132	96 V
ST43	kwasowa	144ES-320	144 V
ST44	"	32TH-450	64 V
SN52/60	"	XSKy-265	24 V
SN61	"	SKy-210	108 V
SN80	"	6SE-150	24 V
SP45	"	6SE-170	96 V

2. Warunki pracy akumulatorów rozruchowych oraz stawiane im wymagania

Warunki pracy akumulatorów rozruchowych są bardzo ciężkie ponieważ akumulatory te narażone są na częste "krótkotrwałe obciążenia prądami, których natężenie wynosi nieraz od 50- do 100-krotnej wartości natężenia prądu znamionowego oraz umieszczone na taborze kolejowym podlegają częstym wstrząsom i wibracjom. Akumulatory te są niekiedy niedoładowane, pracują w zmiennych warunkach klimatycznych (wysokie i niskie temperatury), ulegają zapyleniu, zawilgoceniu lub osienieniu.

Pomimo ciężkich warunków pracy od akumulatorów tych wymaga się wysokiej niezawodności działania.

Wymagania, jakie powinny spełniać baterie akumulatorów zabudowane w spalinowych pojazdach trakcyjnych i wynikające ze specyfiki ich pracy, są następujące:

- a) możliwość poboru prądu rozruchu,
- b) duża pojemność w niskich temperaturach,
- c) mała masa i objętość,
- d) duża wytrzymałość mechaniczna,
- e) duża trwałość eksploatacyjna,
- f) niska cena,
- g) łatwość obsługi i konserwacji.

3. Rodzaje stosowanych akumulatorów rozruchowych

Obecnie do zasilania rozruszników silników spalinowych stosuje się dwa rodzaje akumulatorów:

- a) kwasowe (ołowiane),
- b) zasadowe (kadmowo-niklowe).

Dla ciężkich warunków eksploatacyjnych bardziej odpowiednie są akumulatory kadmowo-niklowe z uwagi na:

- a) dużą trwałość eksploatacyjną,
- b) prostotę obsługi i konserwacji,
- c) dużą wytrzymałość mechaniczną,
- d) niewrażliwość na przeładowania,
- e) możliwość pracy przy niedoładowaniu bez obawy uszkodzenia płyt,
- f) zdolność do pracy w dużym zakresie temperatur, zwłaszcza w przedziale niskich temperatur.

4. Dobór baterii akumulatorów do spalinowego pojazdu trakcyjnego [1], [2], [3]

Właściwy dobór baterii akumulatorów do pojazdu spalinowego jest zadaniem trudnym z uwagi na wymagania stawiane akumulatorom jako źródłom ener-

gii elektrycznej. Wymagania te dotyczą napięcia zasilania i pojemności baterii. Wielkość napięcia baterii akumulatorów uzależniona jest od napięcia znamionowego rozrusznika. O doborze pojemności baterii akumulatorów do pojazdu spalinowego decydują zasadniczo dwa kryteria:

- a) pojemność baterii akumulatorów dla celów rozruchu,
- b) pojemność baterii akumulatorów dla wyładowań długotrwałych.

O wielkości pojemności baterii rozruchowej decyduje zapotrzebowanie mocy przez rozrusznik. Najbardziej istotnymi wielkościami są:

- a) moc potrzebna dla rozruchu przy prędkości zapłonu,
- b) moment rozruchowy początkowy,
- c) prędkość obrotowa wymagana do zapłonu silnika,
- d) napięcie znamionowe rozrusznika.

Dane te są podawane przez wytwórcę rozruszników. Za dobrze dobraną baterię akumulatorów dla celów rozruchu należy uważać taką, która pozwoli na dokonanie minimum trzech rozruchów silnika spalinowego w warunkach, kiedy bateria akumulatorów jest wyładowana w 50%, a temperatura elektrolitu wynosi -18°C .

O doborze pojemności baterii akumulatorów dla wyładowań długotrwałych decydują warunki eksploatacyjne. Należy przy obliczeniach uwzględnić ewentualny przymusowy postój pojazdu spalinowego przez 5 godzin przy wyłączonym silniku spalinowym i równoczesnym zasilaniu z baterii akumulatorów świateł bezpieczeństwa oraz $\frac{1}{3}$ mocy odbiorników pojazdu.

Po pięciu godzinach takiej pracy przy temperaturze elektrolitu -18°C pojemność baterii powinna odpowiadać warunkom doboru baterii do celów rozruchu.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że dla wyboru pojemności baterii akumulatorów dla lokomotyw spalinowych wystarczające jest uwzględnienie tylko uzyskania startu, natomiast przy doborze baterii dla spalinowych zespołów trakcyjnych należy uwzględnić kryterium długotrwałego wyładowania.

5. Obliczenie pojemności baterii akumulatorów dla spalinowego pojazdu trakcyjnego

5.1. Wyznaczenie pojemności baterii akumulatorów dla celu rozruchu [1], [2], [3]

W celu określenia odpowiedniej pojemności baterii akumulatorów dla wykonania rozruchu należy ustalić następujące parametry:

- a) moment oporowy silnika spalinowego M_{op} ,
- b) moment jaki powinien rozwinąć rozrusznik M_r ,
- c) moc rozrusznika P_r .

Ad a) Moment oporowy silnika spalinowego M_{op} przy prędkości n_r można obliczyć ze wzoru empirycznego

$$M_{op} = abV \quad (1)$$

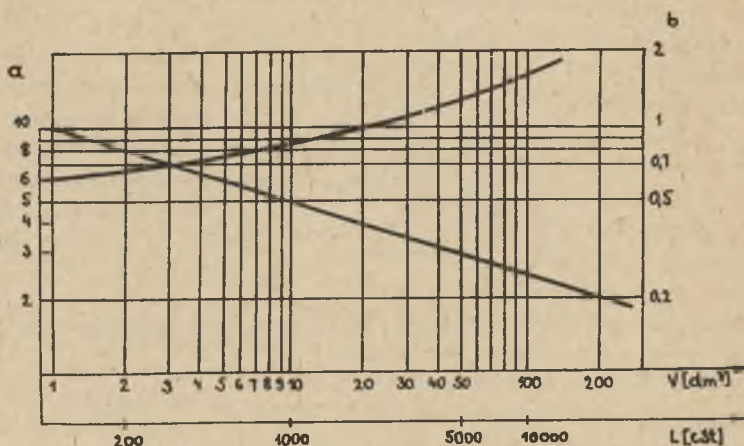
gdzie:

V - pojemność skokowa silnika spalinowego w dm^3 ,

a - współczynnik zależny od rodzaju obiegu termodynamicznego silnika spalinowego w Nm/dm^3 ,

b - współczynnik zależny od lepkości oleju w silniku spalinowym oraz od temperatury w jakiej odbywa się rozruch.

Współczynniki a i b należy przyjąć z wykresu przedstawionego na rys.1.



Rys. 1. Wartości współczynników a i b

W zakresie temperatur $-10^{\circ}C$ do $-18^{\circ}C$ lepkość oleju wynosi ok. 2000 cSt i współczynnik $b = 1$.

Ad b) Moment, jaki powinien rozwinąć rozrusznik M_r , można obliczyć ze wzoru

$$M_r = \frac{M_{op}}{i\eta_1} \quad (2)$$

gdzie:

i - przekładnia między rozrusznikiem a wieńcem koła zamachowego silnika spalinowego,

η_1 - sprawność przekładni zębatej.

Dla pojazdów spalinowych z przekładnią elektryczną iloczyn $i\eta_1 = 1$.

Ad c) Moc rozrusznika potrzebną do rozruchu silnika spalinowego P_r można obliczyć ze wzoru

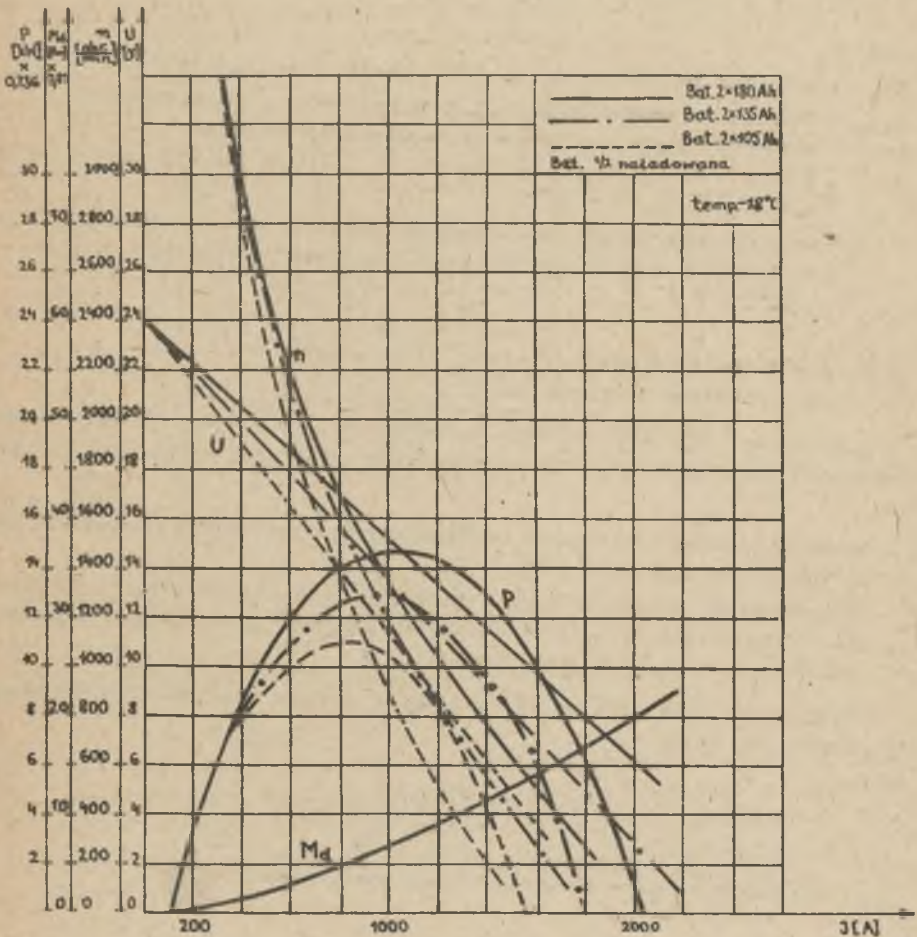
$$P_r = \frac{M_{op} n_r}{973} \quad (3)$$

gdzie:

n_r - średnia prędkość obrotowa wału silnika spalinowego, przy której następuje jego rozruch w obr/min. (n_r - dla silników wysokoprężnych z bezpośrednim wtryskiem paliwa przyjmuje się od 120 do 300)

Aby ustalić pojemność baterii akumulatorów dla celów rozruchu, należy posłużyć się charakterystykami rozruszników.

Na rys. 2 pokazano charakterystykę rozrusznika o mocy 11 kW i napięciu 24 V.



Rys. 2. Charakterystyki rozrusznika 24 V; 11,4 kW

Sposób postępowania jest następujący:

- należy wybrać odpowiednie charakterystyki rozrusznika w zależności od typu, mocy i napięcia oraz od przewidywanej temperatury pracy,
- na wykresie (rys. 2) wybrać tę krzywą $P = f(I)$, dla której przy obliczonej mocy P_r , wyznaczonej z prawej strony maksimum tej krzywej, rozwijany moment dynamiczny M_d będzie większy lub równy M_r .

Wybrana w ten sposób krzywa odpowiada pojemności baterii akumulatorów dla celów rozruchu.

Tak dobraną pojemność baterii akumulatorów można sprawdzić dodatkowo wg następującego wzoru:

$$Q_r = \frac{I_{\max} t_r n}{c} \quad (4)$$

gdzie:

- Q_r - wymagana znamionowa pojemność baterii akumulatorów w A,
- I_{\max} - prąd na początku rozruchu z charakterystyki rozrusznika w A,
- n - wymagana liczba rozruchów bez doładowywania baterii,
- t_r - średni czas trwania rozruchu w h ($t_r = 10s$) dla rozruchu silnika w temp. $18^{\circ}C$,
- c - współczynnik wykorzystania pojemności znamionowej baterii ($c = 0,15$ dla baterii rozruchowych kwasowych pracujących w temp. $-18^{\circ}C$).

5.2. Wyznaczenie pojemności baterii akumulatorów dla wyładowań długotrwałych

Aby wyznaczyć pojemność baterii akumulatorów dla wyładowań długotrwałych należy znać moc pobieraną przez poszczególne odbiorniki pojazdu spalinowego:

- P' - moc pobierana przez światła bezpieczeństwa (reflektory przednie, lampy pozycyjne czerwone) w W,
- P'' - moc pobierana przez odbiorniki wnętrza pojazdu (oświetlenie, ogrzewanie, lampy sygnalizacyjne i kontrolne oraz w nielicznych pojazdach układy podgrzewania oleju i paliwa) w W.

Całkowita moc pobierana przez odbiorniki pojazdu spalinowego warunkach awaryjnych P_1 wynosi:

$$P_1 = P' + \eta P'' \quad (5)$$

gdzie:

- η - współczynnik jednoczesności pracy odbiorników.

Natomiast prąd wyładowania baterii akumulatorów I_1 wynosi

$$I_1 = \frac{P}{U_n} \quad (6)$$

gdzie:

U_n - napięcie znamionowe baterii akumulatorów w V,

Pojemność baterii akumulatorów dla wyładowań długotrwałych Q'_{W1} wynosi

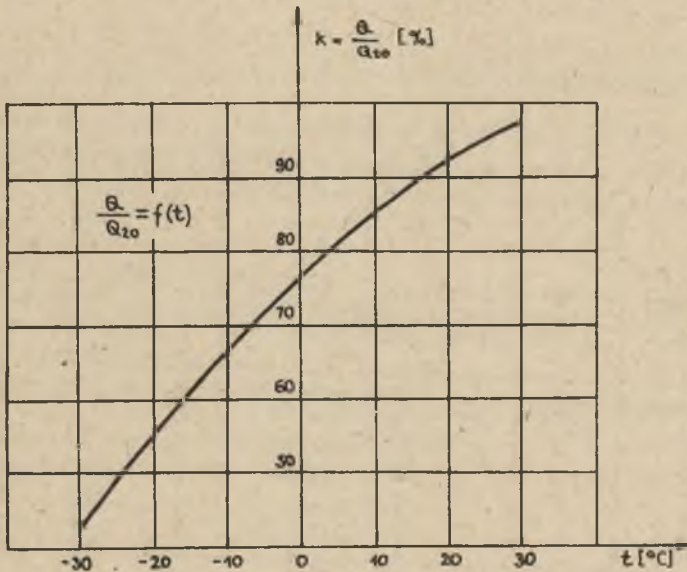
$$Q'_{W1} = I_1 t_1 \quad (7)$$

gdzie:

I_1 - prąd wyładowania baterii akumulatorów w A, przy czym $I_1 \leq I_n$,

I_n - znamionowy prąd wyładowania baterii akumulatorów w A,

t_1 - czas wyładowania baterii akumulatorów w h ($t_1 = 5$ godz.).



Rys. 3. Zależność pojemności akumulatora kwasowego rozruchowego od temperatury elektrolitu

Pojemność Q'_{W1} jest częścią obliczonej pojemności baterii akumulatorów niezbędną na pokrycie potrzeb długotrwałego rozładowania w temperaturze -18°C . Pojemność tę należy odnieść następnie do $+20^{\circ}\text{C}$. Na rys. 3 przedstawiono zależności pojemności baterii akumulatorów kwasowych od temperatury elektrolitu.

6. Analiza metody doboru baterii akumulatorów

Wyznaczenie pojemności baterii akumulatorów dla wyładowań długotrwałych gdy znana jest moc odbiorników spalinowego pojazdu trakcyjnego i napięcie baterii akumulatorów, nie przedstawia trudności. Wyznaczenie pojemności baterii akumulatorów dla celów rozruchu jest bardziej skomplikowane i nie tak dokładne jak poprzednio, ponieważ pewne wielkości przyjmuje się szacunkowo. Dotyczy to m.in. wyznaczenia momentu oporowego silnika spalinowego oraz mocy rozrusznika. Wielkość mocy wymaganej do dokonania rozruchu wyznacza się ze wzoru (3).

Prędkość obrotowa, przy której następuje rozruch, ma istotny wpływ na obliczenie mocy rozrusznika i tu popełnić można pewien błąd, który rzutować może potem na wielkość pojemności baterii. Wzór pozwalający sprawdzić dobraną baterię (4) jest do pewnego stopnia wzorem przybliżonym, ponieważ I_{\max} jest prądem w pierwszym momencie rozruchu, a wiadomo, że z czasem maleje on zgodnie z charakterystyką rozrusznika, który jest maszyną szeregową. Wzór ten wyraża więc zawsze pojemność nieco zawyżoną.

7. Wnioski końcowe

W tablicy 2 przedstawiono pojemności baterii akumulatorów, stosowanych w niektórych spalinowych pojazdach trakcyjnych eksploatowanych przez PKP, obliczone na podstawie prezentowanej metody.

Tablica 2

Seria poj. spalinowego	Rodzaj baterii akumulatorów	Typ baterii akumulatorów	Pojemność baterii w Ah	
			stosowana	obliczona
1	2	3	4	5
SN03	kwasowa	6SE-150	2x150	2x105
SN25	"	6SE-150	2x150	2x105
SN61	"	SKy-210	160	135
SP45	"	6SE-170	170	105
ST43	"	144ES-320	320	180

Porównując pojemności baterii akumulatorów w spalinowych pojazdach trakcyjnych eksploatowanych przez PKP z obliczonymi teoretycznie widać, że pojemności te są zawyżone w granicach od 20 do 80%. W praktyce stosowanej na PKP bardzo rzadko dochodzi do wyłączania silnika spalinowego z obawy przed trudnościami w dokonaniu powtórnego rozruchu.

Prowadzi to do niepotrzebnego zużycia dużej ilości paliwa. Dlatego wydaje się celowe stosowanie w spalinowych pojazdach trakcyjnych baterii rozruchowych o lepszych parametrach, aby mieć praktyczną pewność co do rozruchu silnika w ww. warunkach. Spowodowałoby to duże oszczędności w zuży-

ciu paliwa oraz pozwoliłoby na zmniejszenie pojemności baterii akumulatorów wg obliczonych teoretycznie wartości podanych w tablicy 2.

Gdyby zastosować jeszcze podgrzewanie baterii akumulatorów wykorzystując nagrzewnice, pojemność ta mogłaby być jeszcze mniejsza lub istniejąca gwarantowałaby znaczną poprawę w rozruchu. Z przeprowadzonych obliczeń pojemności baterii akumulatorów dla lokomotywy SM03 dla temp. elektrolitu -10°C wynika, że wystarczy zastosować baterię o pojemności 2×60 Ah, a nie o pojemności 2×150 Ah, jaką stosuje się obecnie, co zdecydowanie przemawia za stosowaniem podgrzewania baterii podobnie, jak dokonuje się tego w przypadku paliwa i oleju.

Poprawna praca baterii, wysoka jej sprawność i niezawodne działanie odgrywać powinny zasadniczą rolę w spalinowym pojeździe trakcyjnym i przyczynić się mogą do poważnych oszczędności w stosunku do obecnie przyjętej praktyki.

LITERATURA

- [1] Kieryłowicz W.: Badania akumulatorów rozruchowych w spalinowych pojazdach trakcyjnych. Referaty z Narady Naukowo-Technicznej SIIK, grudzień 1973.
- [2] Norma Zakładowa ZN-71-R/602-03. Elektryczne urządzenia okrętowe. Wytyczne doboru baterii akumulatorów.
- [3] Międzynarodowy Związek Kolei UIC. Karta nr 550.

АНАЛИЗ ПОДБОРА ЕМКОСТИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТЕРЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Р е з ю м е

В статье рассмотрены один из методов подбора емкости аккумуляторных батарей для транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания согласно UIC, а также анализ, применяемых до сих пор емкостей и возможность их уменьшения, опираясь на полученные результаты расчетов.

THE ANALYSIS OF THE SELECTION OF ACCUMULATOR BATTERIES FOR RAILWAY COMBUSTION ENGINES

S u m m a r y

The paper deals with one of the methods of selecting the proper capacity of accumulator batteries for railway combustion engines, taking into consideration the guidelines recomponended by UIC. The capacities applied so far as well as the possibilities of their reduction have been analysed basing on the obtained results of calculations.