

Andrzej LESZCZYŃSKI

DOBÓR BATERII AKUMULATORÓW DO WAGONÓW OSOBOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono rolę baterii akumulatorów we współczesnych wagonach osobowych. Określono kryteria dla doboru baterii. Podano sposób obliczenia pojemności baterii akumulatorów do wagonów.

1. Wstęp

Współczesne wagony osobowe wymagają zabezpieczenia ciągłości zasilania w energię elektryczną odbiorów wagonowych w czasie postoju wagonów na stacjach oraz na trasie, jak również w razie awarii podstawowego źródła energii elektrycznej (prądnicy lub przetwornicy wagonowej).

Jako dodatkowe źródło energii, przy obecnym stanie rozwoju techniki zasobnikowych źródeł energii elektrycznej, stosuje się baterie akumulatorów kwasowych lub zasadowych.

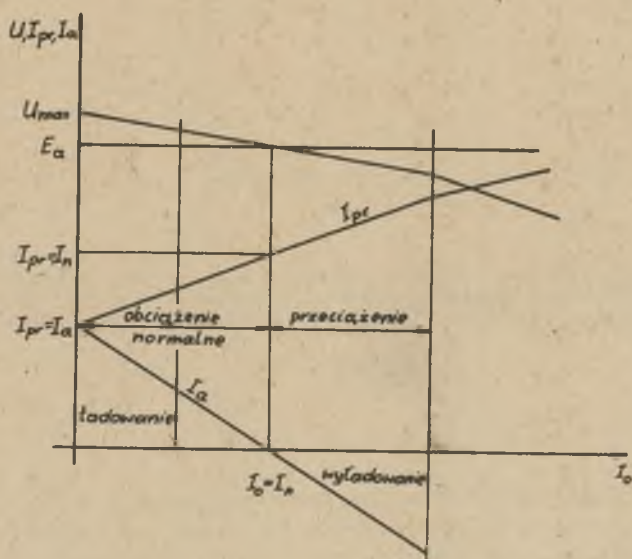
Zapewnienie podróznym coraz większego komfortu uzależnione jest między innymi od wyposażenia elektrycznego wagonów. Rosnąca liczba różnorodnych odbiorów energii elektrycznej instalowanych w wagonach wpływa na moc podstawowego i dodatkowego źródła energii elektrycznej w wagonie.

Z różnych względów technicznych moce produkowanych w kraju prądnic trakcyjnych i pojemności baterii są ograniczone (prądnice prądu stałego o mocy 4,5 kW, prądnice prądu zmiennego o mocy 6 kW, baterie akumulatorów o pojemności 500 Ah).

Wielkość prądnicy zależy nie tylko od liczby, rodzaju odbiorów wagonowych i charakteru ich pracy ale także od wielkości (pojemności) baterii akumulatorów współpracującej z prądnicą. Prądnica musi zapewnić właściwe doładowywanie baterii akumulatorów. W związku z powyższym istotny jest sposób właściwego doboru wielkości (pojemności) baterii akumulatorów.

2. Współpraca prądnicy i baterii akumulatorów

Prądnica prądu stałego i bateria akumulatorów, zasilając odbiory wagonowe, pracują w tzw. układzie pracy buforowej. Właściwą ich współpracę zapewnia regulator napięcia. Rysunek 1 ilustruje przykładowo współpracę prądnicy i baterii akumulatorów przy elastycznej regulacji [2].



Rys. 1. Charakterystyki równoległej współpracy prądnicy z akumulatorem w okresie włączania odbiorów (I_o) z rozkładem prądów na prądnicę (I_{pr}) i akumulator (I_a)

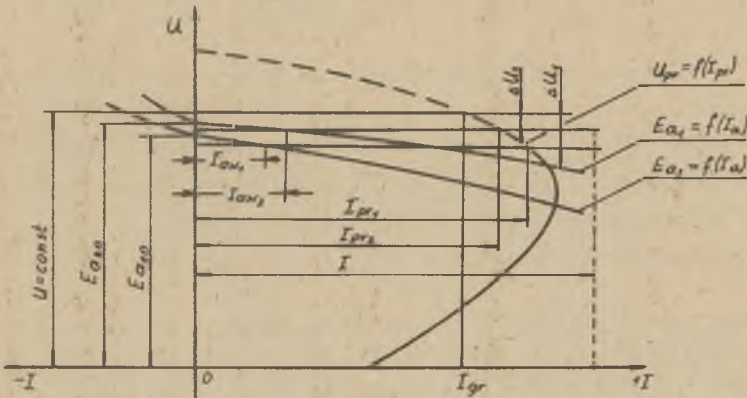
W czasie postoju odbiory i obwody pomocnicze zasilane są tylko z baterii akumulatorów ($I_o = I_a$). Przy czym za czas postoju uważa się czas właściwego postoju i czas jazdy z prędkością mniejszą od prędkości przełączania prądnicy ($V < 29-50$ km/godz., w zależności od typu wagonu).

W czasie jazdy z prędkością większą od prędkości przełączania prądnicy, prądnica pokrywa całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną w wagonie, a oprócz tego doładowywuje baterię akumulatorów ($I_{pr} = I_o + I_a$).

Przy dalszym wzroście obciążenia, prąd ładowania maleje aż do zaniku, prądnica obciążona jest znamionowo ($I_a = 0$, $I_{pr} = I_o = I_n$). Przy szczytowym obciążeniu bateria akumulatorów może zasilać obwód zewnętrzny, wspomagając prądnicę ($I_o = I_{pr} + I_a$).

3. Wpływ stanu naładowania baterii akumulatorów na współpracę z prądnicą

Wpływ stanu naładowania baterii akumulatorów na rozkład prądów obciążenia pomiędzy prądnicą i baterię najprościej można wyjaśnić przy pomocy charakterystyk zewnętrznych prądnicy (przy określonej prędkości obrotowej) oraz baterii całkowicie naładowanej i prawie całkowicie wyładowanej (rys. 2) [1].



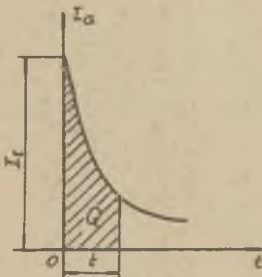
Rys. 2. Zewnętrzne charakterystyki prądnicy i akumulatora

Założmy najpierw, że akumulator jest wyładowany. W normalnych warunkach pracy, przy niewielkich krótkotrwałych przeciążeniach, regulator astatyczny będzie utrzymywał stałą wartość napięcia prądnicy.

Jeżeli napięcie obniży się jednak o ΔU_1 , to prąd wyładowania będzie I_{aw1} , prąd pobierany z prądnicy I_{pr1} , a prąd obciążenia I będzie ich sumą.

W drugim przypadku, gdy akumulator będzie bardziej naładowany ($E_{a20} > E_{a10}$), to samo obciążenie prądowe I można będzie uzyskać przy wyższym napięciu ($U - \Delta U_2$), lecz przy większym prądzie wyładowania akumulatora I_{aw2} i mniejszym prądzie pobieranym z prądnicy I_{pr2} .

Widać więc, że jeżeli bateria akumulatorów współpracująca z prądnicą jest bardziej naładowana, to przy tym samym obciążeniu w obwodzie zewnętrznym wystąpią mniejsze spadki napięcia na szynach zbiorczych i zarazem przy napięciu $U_{pr} = U$ prąd ładowania baterii akumulatorów będzie mniejszy.



Rys. 3. Krzywa prądu ładowania akumulatora przy $U = \text{const}$.

Na rys. 3 pokazano krzywą prądu ładowania przy $U = \text{const}$. W miarę ładowania akumulatora wskutek wzrostu SEM E_a i zakrzywienia charakterystyki zewnętrznej prąd ładowania przy stałym napięciu maleje. Powierzchnia pod krzywą przedstawia wielkość dostarczonego do akumulatora ładunku w czasie t .

Przyrost stanu naładowania akumulatora kwasowego ładowanego stałym napięciem można określić w przybliżeniu na podstawie empirycznego wzoru Kulebakina [1]:

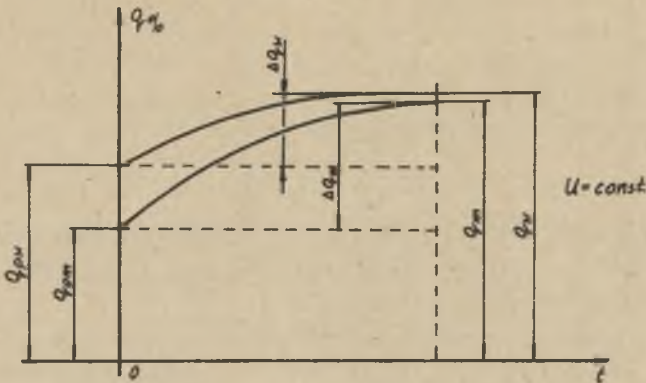
$$q_{\%} = (30 - 0,17 q_{p\%}) \frac{25 + \vartheta}{50} \sqrt{t} \quad (1)$$

gdzie:

- t - czas ładowania w godzinach (wzór słuszny dla $t \leq 3h$),
- $q_{p\%}$ - początkowy stan naładowania akumulatora w chwili rozpoczęcia ładowania w procentach pojemności znamionowej,
- ϑ - temperatura elektrolitu (wzór słuszny dla $\vartheta > -25^{\circ}$).

Przyrost stanu naładowania akumulatora zależy - jak widać - od początkowego stanu naładowania, temperatury elektrolitu, czasu naładowania.

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi zmian stanu naładowania, przy stałym napięciu, akumulatorów o mniejszym początkowym stanie naładowania q_{pm} i większym q_{pw} .



Rys. 4. Krzywe przyrostu stanu naładowania akumulatorów o różnym początkowym stanie naładowania przy $U = const$.

W tym samym czasie ładowania i przy tej samej temperaturze, przyrost naładowania akumulatora Δq będzie tym większy, im mniejszy był początkowy stan naładowania. Będzie to większy przyrost względny ($\Delta q_m > \Delta q_w$), jednak końcowy stan naładowania akumulatora o większym początkowym stanie naładowania ($q_{pw} > q_{pm}$) będzie większy ($q_w > q_m$).

4. Określenie warunków dla doboru baterii akumulatorów

Wagonowe źródła energii elektrycznej powinny być tak dobrane, aby zapewniały potrzeby wynikające z całkowitej mocy znamionowej wszystkich odbiorów i jednocześnie, by były całkowicie wykorzystane.

Bateria akumulatorów musi zapewniać zasilanie odbiorów w następujących przypadkach:

- w czasie przygotowania wagonu do ruchu i po jego zakończeniu,
- na postojach stacyjnych,
- na postojach na trasie,
- w czasie jazdy z prędkością mniejszą od prędkości przełączania prądnicy ($V < 29-50$ km/godz. w zależności od typu wagonu),
- zasilanie pewnych odbiorów w czasie jazdy ze względu na ich ważną rolę i charakter pracy,
- w razie awarii zasilania ze źródła podstawowego.

Według obowiązującej aktualnie Karty UIC-550 (wydanie VII z dnia 1.01. 1969 r.) wymaganie dla wagonowej baterii akumulatorów co do długotrwałości zasilania sprecyzowane jest następująco:

"3. Długotrwałość zasilania w energię.

3.1. Bez względu na rodzaj zasilania w energię elektryczną wagonu osobowego, niezależność pracy oświetlenia na postoju nie powinny być niższe od wartości następujących:

- przy włączonym tylko pełnym oświetleniu - 5 godzin,
- przy równoczesnym włączeniu pełnego oświetlenia i urządzeń pomocniczych ogrzewania - 3 godziny.

Zaleca się zmierzać do zapewnienia 5 godzin zasilania instalacji oświetleniowej i urządzeń pomocniczych ogrzewania".

Zawarte w Karcie UIC-550 wymaganie co do długotrwałości zasilania sformułowane jest w sposób ogólnikowy, mało precyzyjny. Karta UIC-550 nie precyzuje żadnych warunków wyjściowych, początkowych (wewnętrznych i zewnętrznych) stanu baterii akumulatorów, nie precyzuje cyklu pracy źródeł energii elektrycznej, w którym określone, sprecyzowane wymagania miałyby być spełnione. Należy podkreślić, że nie jest określona temperatura otoczenia (elektrolitu), w której wymaganie co do długotrwałości zasilania ma być spełnione, a przecież temperatura ma bardzo duży wpływ na pojemność baterii akumulatorów. Dlatego też poniżej przedstawiono najbardziej niesprzyjające warunki i czynniki eksploatacyjne dla baterii akumulatorów, które należy uwzględnić przy doborze:

- 1 - warunki zimowe, temperatura - 18°C ,
- 2 - wieczór (w przybliżeniu w godzinach $15^{\text{oc}}-23^{\text{oo}}$)
- 3 - końcowy (początkowy) okres eksploatacji,
- 4 - krótkie przebiegi,
- 5 - mniejszy stan naładowania od znamionowego (awaria po czasie postoju w przypadku prądnic napędzanych odosiowo),
- 6 - możliwość pobrania (ze względów konstrukcyjnych) 80% pojemności znamionowej akumulatora.

Baterię akumulatorów należy dobierać na czas zasilania zalecany przez Kartę UIC-550 w punkcie 3.

5. Dobór baterii akumulatorów

1° Napięcie baterii

Napięcie baterii uzależnione jest od ustalonego napięcia odbiorów sieci wagonowej. W zależności od rodzaju baterii (kwasowa, zasadowa) dobiera się odpowiednią ilość ogniw.

2° Prąd pobierany z baterii w warunkach długotrwałego (awaryjnego) zasilania

Prąd pobierany z baterii w warunkach pracy awaryjnej powinien spełniać zależność:

$$\sum_k n \frac{P_{Nk}}{U_B} \gamma_k + \sum_l n \frac{P_{Nl}}{U_B} \gamma_l = I_w \leq I_{wN} \quad (2)$$

gdzie:

- n - ilość danych odbiorów,
- k - odbiory oświetleniowe,
- l - odbiory obwodów sterowania i pomocniczego ogrzewania,
- P_N - moc znamionowa odbiorów,
- U_B - napięcie baterii,
- γ - współczynnik jednoczesności pracy odbiorów,
- I_w - prąd wyładowania baterii,
- I_{wN} - znamionowy prąd wyładowania baterii.

3° Pojemność baterii akumulatorów

Znając prąd wyładowania baterii, można dla określonego czasu wyładowania obliczyć pojemność baterii

$$Q_0 = I_w t \quad (3)$$

gdzie:

- Q_0 - pojemność elektryczna baterii wynikająca z obliczeń,
- t - czas, w którym bateria powinna zasilać określone odbiory.

Pojemność Q_0 należy skorygować, uwzględniając obniżenie wielkości pojemności w ujemnych temperaturach, możliwość pobrania tylko 80% pojemności znamionowej akumulatora oraz obniżanie pojemności o około 10% z racji wpływu pozostałych czynników wymienionych w punkcie 4.

Wpływ temperatury na pojemność można określić na podstawie charakterystyki $Q = f(v^\circ)$ dla danego typu akumulatora lub korzystając ze wzoru 4 [8]

$$Q_v = Q_0 [1 + \alpha(v^\circ - v_0^\circ)] \quad (4)$$

gdzie:

Q_v - pojemność akumulatora przy temperaturze v° ,

Q_0 - pojemność akumulatora przy temperaturze znamionowej v_0° ,

α - współczynnik temperaturowy pojemności zależny od rodzaju płyt.

W przypadku wyładowania akumulatora prądem innym niż znamionowy (większym) należałoby dodatkowo uwzględnić zmianę pojemności (zmniejszenie) w zależności od prądu wyładowania. W tym wypadku można skorzystać z charakterystyki $Q = f(I_w)$ dla danego typu akumulatora lub ze wzoru Peykerta [1], [8]:

$$I_w^a t = b, \quad (5)$$

gdzie:

I_w - prąd wyładowania,

t - czas wyładowania,

a, b - stałe.

Stale a, b można obliczyć dla dwóch stanów pracy, dla których prądy i czasy wyładowania są odpowiednio równe I_{w1} ; t_1 i I_{w2} ; t_2 i spełniają równanie:

$$I_{w1}^a t_1 = I_{w2}^a t_2 = b. \quad (6)$$

Po zlogarytmowaniu otrzymujemy:

$$a = \frac{\lg t_2 - \lg t_1}{\lg I_{w1} - \lg I_{w2}} \quad (7)$$

mając a ($a = 1,35-1,72$) [1], [8] można z wzoru (5) obliczyć b .

Po dokonaniu powyższych przeliczeń uzyskuje się skorygowaną wymaganą pojemność Q baterii akumulatorów.

5.1. Przykład obliczenia pojemności baterii

Dla przykładu, wg metody przedstawionej w punkcie 5 zostanie obliczona pojemność baterii akumulatorów do wagonu 1/2 klasy typu 104 Ac, z uwzględnieniem warunków i czynników wymienionych w punkcie 4.

1^o Prąd pobierany z baterii

Maksymalny pobór prądu w okresie zimy, w godzinach wieczornych, przy uwzględnieniu współczynników jednoczesności pracy wynosi [6]:

$$I_{wk} = 56,1 \text{ A} - \text{przy zasilaniu tylko pełnego oświetlenia,}$$

$$I_{w(k+1)} = 88,6 \text{ A} - \text{przy zasilaniu pełnego oświetlenia, obwodów sterowania i obwodów pomocniczych ogrzewania.}$$

2^o Pojemność obliczeniowa

Przyjmując zgodnie z Kartą UIC-550 czas:

$$t = 5 \text{ h} - \text{przy zasilaniu pełnego oświetlenia,}$$

$$t = 3 \text{ h} - \text{przy zasilaniu pełnego oświetlenia, obwodów sterowania i obwodów pomocniczych ogrzewania,}$$

uzyskamy odpowiednio:

$$Q_{05} = I_{wk} t = 280,5 \text{ Ah (dla 5h zasilania)}$$

$$Q_{03} = I_{w(k+1)} t = 265,8 \text{ Ah (dla 3h zasilania)}$$

3^o Pojemność skorygowana

Pojemność obliczeniową Q_0 należy skorygować, powiększając ją o 20% (można pobrać z akumulatora tylko 80% pojemności znamionowej)

Odpowiednio uzyskamy:

$$Q'_5 = 1,2 Q_{05} \approx 337 \text{ Ah}$$

$$Q'_3 = 1,2 Q_{03} \approx 319 \text{ Ah}$$

Uwzględniając ujemną temperaturę otoczenia (elektrolitu) -18°C uzyskamy wymagane pojemności znamionowe przy $+30^{\circ}\text{C}$. Współczynnik przeliczeniowy przyjęto na podstawie charakterystyki $Q = f(\vartheta)$ dla akumulatora kwasowego.

$$Q_5 = 1,4 Q'_5 \approx 472 \text{ Ah}$$

$$Q_3 = 1,4 Q'_3 \approx 447 \text{ Ah.}$$

Pojemność obecnie stosowanej w wagonie typu 104 Ac baterii akumulatorów typu 2TL 11c wynosi 500 Ah.

5.2. Wnioski

Jak więc widać, obliczona w punkcie 5.1 pojemność baterii akumulatorów do wagonu typu 104 Ac odpowiada wielkości pojemności baterii obecnie stosowanej w tym wagonie.

Przy uwzględnieniu wszystkich czynników wymienionych w punkcie 4, uzyskalibyśmy pojemność około 500 Ah.

Należy jednak zaznaczyć, że przy przyjęciu współczynników jednoczesności pracy odbiorów oświetleniowych, obwodów sterowania i pomocniczych, równych jedności, uzyskuje się przy podanych w punkcie 4 kryteriach doboru pojemności znacznie przekraczające pojemność 500 Ah (ok. 700 Ah przy zasilaniu pełnego oświetlenia w czasie 5h i ok. 600 Ah przy zasilaniu pełnego oświetlenia, obwodów sterowania i pomocniczych w czasie 3h). Natomiast w przypadku przyjęcia kryterium 5-godzinnego zasilania podczas postoju, wszystkich możliwych odbiorów elektrycznych (co Karta UIC-550 zaleca), w przypadku wagonu typu 104 Ac należałoby stosować baterie akumulatorów o około 2-krotnie większych pojemnościach znamionowych od pojemności dotychczas stosowanej baterii typu 2TL11c. Zastosowanie takiej baterii wiązałoby się oczywiście z koniecznością stosowania prądnicy o mocy ok. 9 kW. Baterii o tak dużych pojemnościach i tym samym prądnic o odpowiednio dużej mocy nie stosuje się również za granicą.

Nie można więc odnosić wymagań punktu 3 Karty UIC-550 do ujemnych temperatur przy nieuwzględnianiu innych warunków i czynników, lecz tylko do znamionowej dodatniej temperatury elektrolitu. W przedstawionej metodzie doboru baterii akumulatorów uwzględniono najbardziej niesprzyjające warunki pracy dla baterii, zakładając niejednoczesną pracę odbiorów wagonowych.

W dostępnej literaturze poza opracowaniem OBRPS w Poznaniu OR-4915 nie spotkano informacji na temat współczynników jednoczesności pracy poszczególnych odbiorów wagonowych. W wymienionej pozycji podane są proponowane współczynniki jednoczesnej i ciągłej pracy.

Współczynniki jednoczesności pracy poszczególnych odbiorów powinny być przy doborze baterii uwzględnione i dlatego zagadnieniu bliższego ich określenia należy poświęcić więcej uwagi.

6. Zakończenie

Na podstawie przeprowadzonego rozeznania literaturowego można stwierdzić, że nie ma dotychczas konkretnego, popartego pewnymi badaniami, sposobu doboru baterii akumulatorów do wagonów osobowych.

Istniejące przepisy UIC w tym względzie są ogólnikowe, nie uwzględniają szeregu istotnych warunków i czynników mających wpływ na pracę źródeł energii elektrycznej w wagonach.

Konieczne byłoby przede wszystkim dopracowanie przepisów Karty UIC-550 dotyczących tego problemu. Pewnym krokiem w tym kierunku mogą być sugestie zawarte w tym artykule i w cytowanych materiałach źródłowych.

LITERATURA

- [1] Kulebakin W., Morozowski W., Sinolejew I.: Lotnicze elektroenergetyczne urządzenia pokładowe, MON Warszawa 1958.
- [2] Ziętkiewicz Z.: Akumulatory samochodowe i motocyklowe, Wyd. K. i Ł., Warszawa 1976.
- [3] Kwasowe akumulatory wagonowe z dodatnimi płytami pancernymi typu TM - Instrukcja obsługi Wyd. Przemysłu Maszynowego "WFMA", Warszawa 1974.
- [4] Zbiór charakterystyk akumulatorów pancernych opracowanych przez C.L.A. i O. TK-1. Fabryka Akumulatorów Bielsko-Biała.
- [5] Międzynarodowy Związek Kolei UIC. Karta nr 550 VII wydanie 1.1.69 (zmiana 1.VIII.1971 r.)
- [6] Opracowanie CBKPTK w Poznaniu nr OR-4915, 1974.
- [7] Kozłowski A.: Zagadnienia elektrotechniki wagonowej. Biuletyn informacyjny "Elektrotechnika", nr 3, 1972.
- [8] Urban M.: Wazniejsze charakterystyki elektryczne i eksploatacyjne akumulatorów. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, nr 6, 1972.

Przyjęto do druku w grudniu 1976 r.

ПОДБОР АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Р е з ю м е

В статье обсуждено роль аккумуляторных батарей в современных пассажирских вагонах. Определено критерия для подбора батарей. Дано способ решения ёмкости аккумуляторных батарей к вагонам.

THE CHOICE OF THE BATTERY STORAGE FOR THE PASSENGER RAILWAY CARS

S u m m a r y

In this paper, the part of the battery storage in the modern passenger railway cars is discussed. The choice criteria of such battery and the calculation method of the battery capacity for passenger cars are defined.