

UDC 621.331.3

I. CHRABĄSZCZ¹ (PK), W. HUDYM¹ (PK), J. ADAMS¹ (PK), J. PRUSAK¹ (PK), K. SZYMCZAK

¹Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, e-mail: pejaqiel@cyf-kr.edu.pl, jprusak@usk.pk.edu.pl, gudymvi@ukr.net

SYMULACJA ZMIAN OBCIĄŻENIA DLA WYBRANEJ KOLEJOWEJ PODSTACJI TRAKCYJNEJ PRĄDU STAŁEGO

Wstęp

Obciążenia trakcyjne charakteryzują się dużą zmiennością. Przyczyny tej zmienności są w środowisku specjalistów powszechnie znane [1-5]. Natomiast, dla projektantów problemem są trudności z jednoznacznym określeniem wartości chwilowych obciążeń trakcyjnych, a w szczególności przeciążeń mogących się pojawiać w trakcie eksploatacji podstacji. Bezpośrednim dowodem na powyższe stwierdzenie są wyniki pomiarów wskazujące na istnienie znacznych rezerw mocy w zainstalowanych na podstacjach zespołach prostownikowych [6-8].

W artykule przedstawiono wyniki będące efektem symulacji aktualnego obciążenia wybranej kolejowej podstacji trakcyjnej prądu stałego 3000 V (DC), zasilającej linię kolejową o łagodnym profilu, który dominuje w znacznej części Polski. Dzięki tym badaniom uzyskano wyniki pozwalające na ocenę adekwatności doboru zespołów prostownikowych dla rzeczywistego obciążenia analizowanej podstacji trakcyjnej.

Charakterystyka linii kolejowej

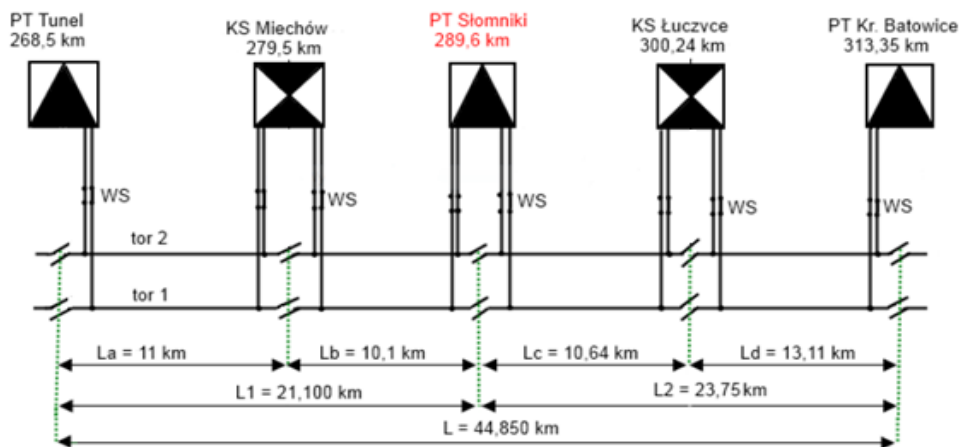
Wybrany do analizy odcinek linii kolejowej zasilany jest z podstacji trakcyjnej (PT) „Słomniki”, która znajduje się pomiędzy PT „Tunel”, a PT „Kraków Batowice”. Jest to linia dwutorowa.

Długość odcinka, dla którego przeprowadzono symulację obciążeń wynosi 44 km 850 metrów. Prowadzony jest na niej zarówno ruch pasażerski jak i towarowy. Linia ta została zelektryfikowana w 1968 roku.

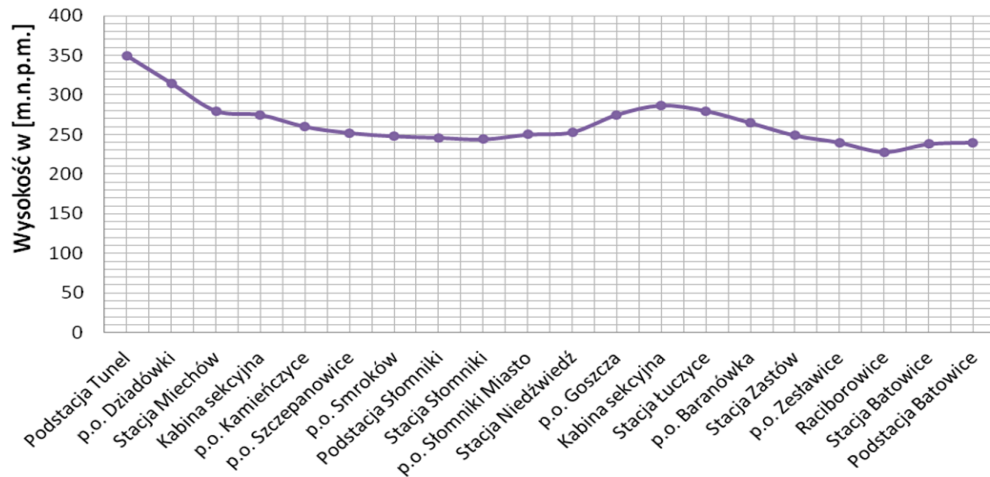
Na rys. 1 przedstawiono schemat wybranego obszaru zasilania, uwzględniający położenie podstacji trakcyjnych (PT), kabin sekcyjnych (KS) oraz wzajemne odległości pomiędzy nimi. Natomiast na rys. 2 zaprezentowano w formie graficznej profil pionowy analizowanego odcinka linii kolejowej. Jak widać (rys. 2.) linia ta nie posiada znacznych wzniesień ani spadków. Maksymalna różnica wysokości wynosi około 140 metrów, co nie jest wartością dużą w porównaniu np. do linii górskiej.

Obciążenie trakcyjne

Na analizowanym fragmencie trasy występuje zarówno ruch towarowy jak i pasażerski. W celu analizy obciążenia podstacji, wzięto pod uwagę pojazdy, które stanowią większość taboru występującego na tej linii i kursują na niej niezmiennie od wielu lat. Są to głównie 3 wagonowe elektryczne zespoły trakcyjne typu EN57, pasażerskie pociągi pociągów prowadzone przez lokomotywę EU07 oraz pociągi towarowe z lokomotywą ET22.

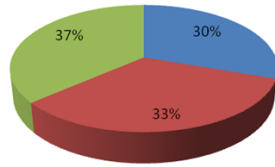


Rys.. 1. Schemat zasilania sieci trakcyjnej analizowanego odcinka

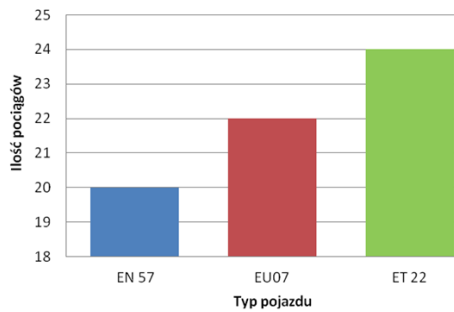


Rys. 2. Profil pionowy analizowanego odcinka linii kolejowej

Na rys. 3 zaprezentowano w sposób graficzny ilość i rodzaj pociągów na badanym odcinku zasilania w ciągu doby. Podane wartości dotyczą pojazdów poruszających się w obu kierunkach jazdy.



Ilość pociągów w ciągu doby



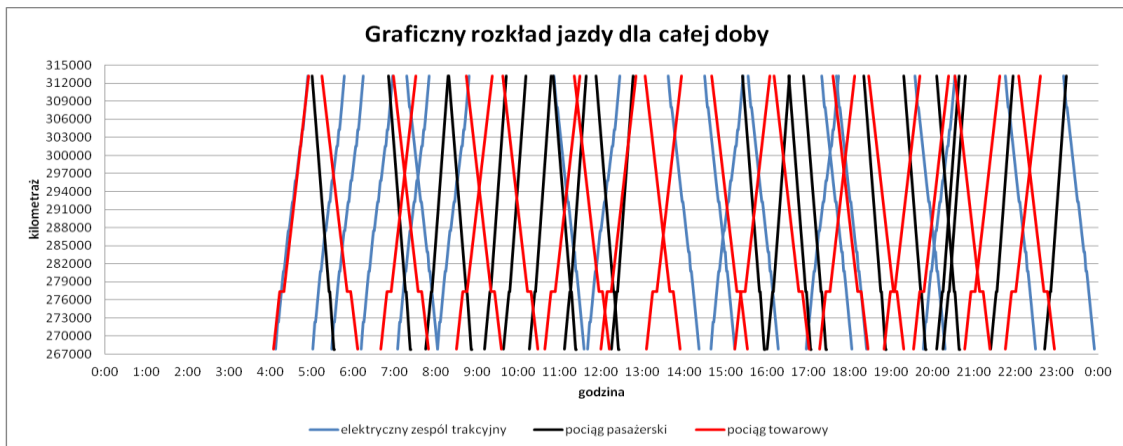
Rys. 3. Ilość pociągów w okresie doby na badanym odcinku

W okresie jednej doby przez analizowany odcinek przemieszcza się 68 pociągów przy czym 24 spośród nich (37%) to pociągi towarowe, pozostałe pojazdy w ilości 44 sztuk (63%) to pociągi osobowe i elektryczne zespoły trakcyjne. Na rozpatrywanej trasie dominuje ruch pasażerski, jednakże ruch towarowy jest również znaczny.

Dobowe obciążenie dla analizowanej podstacji trakcyjnej

Pierwszym etapem badań specyfiki przeciążeń zespołów prostownikowych analizowanej podstacji trakcyjnej, było określenie przebiegu jej obciążenia w okresie jednej doby.

Dla realizacji tego etapu wykonano badania symulacyjne bazujące na przejazdach teoretycznych pojazdów na badanej trasie [9, 10]. Na rys. 4 przedstawiono graficzny rozkład jazdy w trakcie jednej wybranej doby, dla której przeprowadzono analizę obciążenia podstacji.

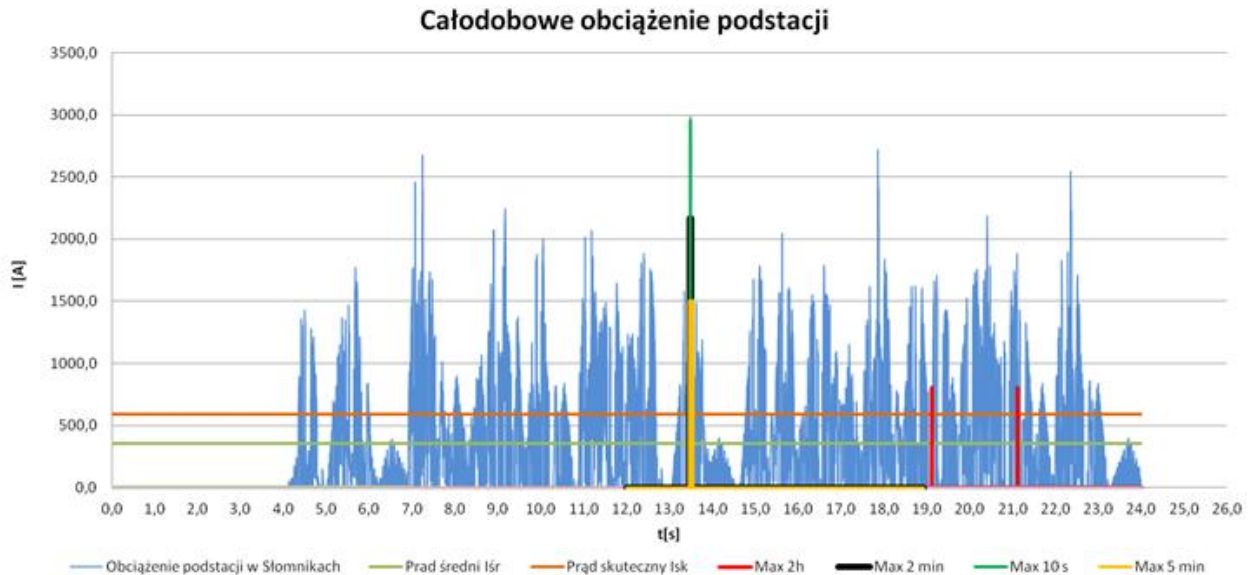


Rys. 4. Graficzny rozkład jazdy dla 24 godzin [9]

Na rys 4. godziny przejazdów pojazdów trakcyjnych oznaczono następująco: kolorem niebieskim elektrycznych zespołów trakcyjnych, kolorem czarnym pociągów pasażerskich i kolorem czerwonym pociągów towarowych. Z wykresu można odczytać kiedy poszczególne pojazdy zatrzymują się na przystankach oraz kiedy występuje największe nasilenie ruchu, uwzględniony został ruch pojazdów w obu kierunkach. Jak widać (rys. 4) najczęściej zatrzymują się elektryczne zespoły trakcyjne a

znacznie rzadziej pociągi towarowe i pasażerskie. W niektórych przypadkach czas postoju (dotyczy to głównie zespołów trakcyjnych) jest na tyle krótki, że przy pomocy graficznej metody przedstawienia rozkładu jazdy jest on trudny do dobrego zobrazowania.

Uzyskane wyniki pomocne przy analizie specyfiki przeciążeń przedstawiono na rys. 5., są to przebiegi obciążenia zespołów prostownikowych w skali jednej doby dla rozważanej w niniejszym artykule podstacji trakcyjnej.



Rys. 5. Przebieg dobowego obciążenia zespołów prostownikowych badanej PT

Przebieg obciążenia na rys. 5. prezentuje wszystkie istotne wartości prądów, które obciążają podstację trakcyjną w Słomnikach. Kolorem niebieskim oznaczono prądy pobierane przez wszystkie pojazdy jadące odcinkiem zasilania w ciągu doby. Dwie poziome linie oznaczają kolejno od góry: wartość skuteczną prądu Isk wynoszącą 589,38 [A] – kolor pomarańczowy oraz wartość średnią prądu dobowego wynoszącą 353,9 [A] – kolor zielony. Ani jeden ani drugi parametr nie stanowią zagrożenia z uwagi na przeciążalności zespołów prostownikowych zarówno typu PK-17/3,3 jak i PD-16/3,3 występujących na podstacji. Wyliczony na podstawie wartości średniej i skutecznej prądu dobowego obc. podstację współczynnik kształtu wynosi 1,67. Jego wartość została wyznaczona, jako iloraz:

$$\frac{I_{sk}}{I_{s'k}} = \frac{589,381}{353,9} = 1,67$$

Dla przykładu współczynnik kształtu prądu wyprostowanego jedno-połówkowo wynosi 1,41. Z uwagi na wysoką wartość tego współczynnika należy zmienność obciążenia określić jako znaczną.

Ocena prądów maksymalnych

Uzyskany symulacyjnie przebieg prądu obciążenia (rys. 5.) i graficzny rozkład jazdy (rys. 4.) pozwalają na określenie maksymalnych wartości prądu oraz czasu i okoliczności ich wystąpienia. Maksymalna wartość prądu obciążenia występuje ok. godziny 13:29 i wynosi

2988,2 [A] przez 2 sekundy. Tak duża wartość prądu jest wynikiem nałożenia się przejazdów 2 ciężkich pociągów towarowych jadących w przeciwnych kierunkach (linia 2 torowa). Kolejna wysoka wartość prądu obciążenia ma miejsce o godzinie 17:51 w trakcie szczytu popołudniowego i wynosi 2720,6 [A] również przez 2 sekundy. Prąd ten jest wynikiem nałożenia się przejazdów:

- 2 elektrycznych zespołów trakcyjnych jadących z Krakowa,
- 1 pociągu towarowego jadącego z Krakowa,
- 1 pociągu towarowego jadącego do Krakowa.

Trzecia z kolei wartość prądu w ciągu doby występuje o godzinie 07:14 w czasie szczytu porannego i wynosi 2676,4 [A] oraz trwa przez 9 sekund. Spowodowana jest przejazdem:

- 1 elektrycznego zespołu trakcyjnego jadącego do Krakowa,

- 1 pociągu pasażerskiego jadącego z Krakowa,
- 2 pociągów towarowych, z których jeden jedzie w stronę Warszawy a drugi w stronę Krakowa.

Czwarta wartość skoku prądowego ma miejsce o godzinie 22:21 i wynosi 2544,1 [A] przez 1 sekundę. Taki pobór prądu jest wynikiem nałożenia się przejazdów:

- 1 elektrycznego zespołu trakcyjnego jadącego z Krakowa,

- 2 pociągów towarowych, gdzie jeden jedzie z Krakowa w stronę Warszawy a drugi jedzie w stronę stacji Kraków. Powyższe wyniki wskazują, że największy wpływ na prądy obciążenia podstacji mają ciężkie pociągi towarowe.

Przebiegi okresowe i ich ocena

Przebieg prądu obciążenia podstacji trakcyjnej (PT) rys. 5. pozwala ocenić występujące przeciążenia zgodnie z podanymi przez normę [12-13], standardowymi klasami przeciążalności. Na badanej PT był eksploatowany zespół prostownikowy typu PK-17/3,3, który jest znamionowany w klasie VI b. Dla tej klasy prąd znamionowy przy obciążeniu ciągłym wynosi 750 [A], natomiast przeciążenie długotrwałe to 150% prądu znamionowego przez okres 2 godzin i ma wartość 1125 [A], przeciążenie krótkotrwałe to 300% prądu znamionowego przez czas 5 minut i wynosi 2250 [A].

Przy przeprowadzanych modernizacjach lub w nowobudowanych podstacjach trakcyjnych znajduje zastosowanie zespół prostownikowy typu PD-16/33, który jest znamionowany w III klasie przeciążalności. Prąd znamionowy długotrwałego obciążenia dla tego zespołu wynosi 1600 [A], prąd przeciążenia długotrwałego wynosi 150% prądu znamionowego przez 2 minuty i ma wartość 2400 [A], prąd przeciążenia krótkotrwałego wynosi 200% prądu znamionowego przez okres 10 sekund i wynosi 3200 [A].

Na rys. 5 zaznaczono odcinki czasowe w których występują maksymalne obciążenia wynikające z przedstawionych wyżej sposobów znamionowania zespołów prostownikowych. Tak więc zaznaczono maksymalne obciążenie dla: 2 godzin, 5 minut, 2 minut i 10 sekund. Maksymalne obciążenie 2 godzinne (rys. 5.) występuje w przedziale czasowym 19:07 do 21.07 w tym czasie (rys. 4) przez analizowany odcinek linii kolejowej, zgodnie z rozkładem jazdy przejeżdża 5 pociągów towarowych, 4 pociągi pasażerskie oraz 2 elektryczne zespoły trakcyjne. Dla tego przedziału czasowego średnia wartość prądu obciążenia

wynosi 587,6 [A] a wartość skuteczna wynosi 800,5 [A]. Jak wyżej podano, dla zespołu prostownikowego typu PK-17/3.3, wartość dopuszczalna prądu dla takiego przedziału czasu (2h) wynosi 1125 A. Można więc stwierdzić, że nie została przekroczona wartość dopuszczalna prądu wynikająca z jego danych znamionowych dla długotrwałego przeciążenia. Rzeczywista wartość prądu jest mniejsza o 324,5 A od dopuszczalnej, co oznacza, że zespół prostownikowy ma jeszcze około 29% zapasu.

W taki sam sposób, mając uzyskany symulacyjnie przebieg obciążenia (rys. 5), można dokonać oceny dla innych odcinków czasowych, każdego zespołu prostownikowego, który byłby rozważany do zainstalowania w danej podstacji trakcyjnej.

Dla analizowanej PT „Słomniki” dokonano obliczeń projektowych, wg znanych metod [1-5], celem określenia liczby niezbędnych zespołów prostownikowych dla występującego aktualnie ruchu pociągów. Uwzględniono również, że musi być zainstalowany o jeden zespół prostownikowy więcej, niż to wynika z obliczeń projektowych. Jest to zespół, który jest traktowany jako rezerwowany na wypadek awarii lub prac remontowych. Zespół ten jest przeważnie włączony do pracy razem z zespołami podstawowymi. W przypadku zespołu typu PK-17/3.3, należałoby zainstalować ich trzy sztuki, natomiast w przypadku zespołu typu PD-16/3.3 wystarczą dwie sztuki.

Jeśli na PT „Słomniki” byłyby przykładowo zainstalowane trzy zespoły prostownikowe typu PK-17/3.3, to wypadkowy prąd przeciążenia dwugodzinnego wyniesie: $3 \times 1125 \text{ [A]} = 3375 \text{ [A]}$. Łatwo policzyć, że wtedy zdolność przeciążeniowa jest ponad cztery razy większa niż to wynika z obliczeń (800,5 [A]) przeprowadzonych dla występującego aktualnie ruchu pociągów.

Inne obliczenia [8], których wyników tu nie przytoczono, pozwoliły zorientować się, że zdolności obciążeniowe i przeciążeniowe zespołów prostownikowych w PT „Słomniki” są wykorzystywane wyraźniej poniżej ich możliwości.

Uwagi końcowe

Najbardziej wartościowe do badań charakteru zmienności obciążeń trakcyjnych są wyniki pomiarowe. Jednakże na liniach kolejowych występujący ruch pociągów wynika z realizowanych zadań przewozowych i nie ma możliwości kształtować go wg innych kryteriów – np. badawczych.

Posiadając wystarczającą liczbę danych można określić symulacyjnie przebieg obciążenia zespołów

prostownikowych podstacji trakcyjnej w funkcji czasu. Można to wykonać dla aktualnego rozkładu jazdy, lub dla innych warunków. Dzięki temu uzyskamy wartościowy materiał badawczy np. dla oceny występujących przeciążeń istotnych, ze względu na bardziej właściwy dobór zespołów prostownikowych.

Można również, w oparciu o posiadane przebiegi obciążeń i znany ruch pojazdów trakcyjnych, podjąć próbę opracowania wzorów lub metod obliczeniowych przydatnych dla projektantów podstacji trakcyjnych i konstruktorów zespołów prostownikowych pozwalających w miarę wygodny i dokładny sposób wyliczać przeciążenia trakcyjne dla różnych obciążeń i różnych odcinków czasowych.

Prowadzone przez zespół autorów badania charakteru zmienności obciążeń trakcyjnych stały się inspiracją do zaproponowania nowych rozwiązań w zakresie rozwiązań obwodu głównego podstacji trakcyjnych kolejowych prądu stałego [14, 15]. Rozwiązania te powinny się przyczynić do ograniczenia zakresu zmienności prądów obciążających poszczególne zespoły trakcyjne. Dzięki temu powinny być ograniczone straty energii w podstacjach trakcyjnych, a więc również wzrosnąć konkurencyjność trakcji elektrycznej w stosunku do innych przewoźników.

LITERATURA

1. Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik S.: Trakcja elektryczna prądu stałego. Układy zasilania. Podręcznik INPE dla elektryków, Zeszyt nr 27, Kraków – Belchatów 2009.
2. Kałuża E., Bartodziej G., Ginalski Z.: Układy zasilania i podstacje trakcyjne. Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej nr 1220, Gliwice 1985.
3. Mierzejewski L., Szelaż A., Gałuszewski M.: Systemy zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
4. Sychenko, V. G. Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current / V. G. Sychenko, D. O. Bosiy, E. M. Kosarev // The archives of transport. — 2015. — Vol. 35, Iss. 3. — P. 63—70.

Received 15.06.2016.

Internal reviewer *Sychenko V.G.*

External reviewer *Denisyuk S. P.*

The traction load is highly variable. The causes of this variability are well known among specialists. However, the problem of determining an instantaneous traction load, and in particular overloads that may occur during operation at traction substations is not solved. There are a large number of experimental data indicating the presence of significant reserves of power rectifiers. The article presents the results of simulation of the actual load of the selected railway traction substation DC. The results of the study were used to assess the adequacy of the choice of rectifier units to analyze actual load of the traction substation.

Keywords: modeling; traction load; substation DC; rectifier.

УДК 621.331.3

І. ХРАБОНШЧ¹ (КП), В. ГУДИМ¹ (КП), Я. АДАМС¹ (КП), Я. ПРУСАК¹ (КП),
К. ШИМЧАККраківська політехніка, факультет електротехніки та обчислювальної техніки e-mail: pejagiel@cyf-kr.edu.pl, jprusak@usk.pk.edu.pl, gudymvi@ukr.net.**МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІН НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ОБРАНОЇ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІ ПІСТІЙНОГО СТРУМУ**

Тягове навантаження дуже мінливе. Причини цієї мінливості добре відомі серед фахівців. Проте, залишається не вирішена проблема визначення миттєвого тягового навантаження, і зокрема перевантажень, які можуть виникнути під час роботи на тяговій підстанції. Існує велика кількість експериментальних даних, що вказують на наявність значних запасів потужності випрямлячів. У статті представлені результати моделювання фактичного навантаження обраної залізничної тягової підстанції постійного струму. Результати дослідження були використані для оцінки його вибору випрямних агрегатів для фактичного навантаження аналізованої тягової підстанції.

Ключові слова: моделювання; тягове навантаження; підстанція постійного струму; випрямляч.Внутрішній рецензент *Сиченко В.Г*Зовнішній рецензент *Денисюк С. П.*

УДК 621.331.3

І. ХРАБОНШЧ¹ (КП), В. ГУДИМ¹ (КП), Я. АДАМС¹ (КП), Я. ПРУСАК¹ (КП),
К. ШИМЧАККраковская политехника, факультет электротехники и вычислительной техники e-mail: pejagiel@cyf-kr.edu.pl, jprusak@usk.pk.edu.pl, gudymvi@ukr.net.**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ВЫБРАННОЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Тяговая нагрузка сильно изменчива. Причины этой изменчивости хорошо известны среди специалистов. Тем не менее, остаётся не разрешённой проблема определения мгновенной тяговой нагрузки, и в частности перегрузок, которые могут возникнуть во время работы на тяговой подстанции. Существует большое количество экспериментальных данных, указывающих на наличие значительных запасов мощности выпрямителей. В статье представлены результаты моделирования фактической нагрузки выбранной железнодорожной тяговой подстанции постоянного тока. Результаты исследования были использованы для оценки адекватности выбора выпрямительных агрегатов для фактической нагрузки анализируемой тяговой подстанции.

Ключевые слова: моделирование; тяговая нагрузка; подстанция постоянного тока; выпрямитель.Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*Внешний рецензент *Денисюк С. П.*