

РАСЧЕТ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СОСУДЫ АККУМУЛЯТОРОВ ТЯГОВЫХ БАТАРЕЙ ДВУХОСНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

О. Н. Синчук, С. Н. Якимец, Е. И. Скапа

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: seem@kdu.edu.ua

Приведена методика расчета нагрузок, действующих на сосуды аккумуляторов тяговых батарей рудничных контактно-аккумуляторных электровозов. Освещены реальнорасчетные данные динамических усилий. Определен характер возникновения динамических нагрузок. Приведены результаты расчетов и экспериментальных исследований продольно-динамических нагрузок в буферно-сцепных устройствах электровозов и вагонеток при трогании и торможении состава.

Ключевые слова: продольно-динамические нагрузки, аккумуляторы, электровоз.

РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ, ЯКІ ДІЮТЬ НА ПОСУДИНИ АКУМУЛЯТОРІВ ТЯГОВИХ БАТАРЕЙ ДВОХОСЬОВИХ ЕЛЕКТРОВЗІВ

О. М. Сінчук, С. М. Якимець, Є. І. Скапа

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: seem@kdu.edu.ua

Наведено методику розрахунку навантажень, які діють на посудини акумуляторів тягових батарей рудничних контактно-аккумуляторних електровозів. Висвітлено реальнорозрахункові дані динамічних зусиль. Наведено результати розрахунків та експериментальних досліджень позовдольно-динамічних навантажень в буферно-зчпних пристроях електровозів і вагонеток при русанні та гальмуванні складу.

Ключові слова: поздовольно-динамічні навантаження, акумулятори, електровоз.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. На отечественных горнометаллургических предприятиях с технологиями подземного ведения работ основным видом внутришахтного транспорта (ВШТ) является электровозный [1]. В последние годы эффективность функционирования ВШТ снизилась, а количество травм при эксплуатации электровозосоставов увеличилось [2, 3].

На рудных шахтах, в отличие от угольных, эксплуатируются контактные электровозы, получающие питание от рудничной тяговой сети – контактного провода – рельсы. Именно наличие контактного провода (КП) является причиной поражения горнорабочих электрическим током при несанкционированном, но весьма вероятном, в соответствии с условиями ведения горных работ, касании их КП. К сожалению, число таких электротравм (в том числе со смертельным исходом) возрастает [2].

В связи с этим приняты решения создания и выпуска нового для отечественных шахт типа электровоза – контактно-аккумуляторного, когда КП устраняется в особо опасных местах возможного и наиболее вероятного прикосновения [3, 4]. Вместе с этим возникает ряд новых проблем, требующих своего разрешения для условий новых образцов электровозов.

Одной из таких задач является определение ударных нагрузок на сосуды тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ) с целью разработки способов и методов их минимизации или уменьшения до допустимых значений.

К сожалению, имеющиеся исследования в направлении оценки динамических нагрузок на ТАБ относятся лишь к аккумуляторным видам рудничных электровозов, которые в силу своей конструкции имеют определенные демпфирующие устройства [1]. Контактные же виды электровозов, а именно они служат конструктивной базой для контактно-аккумуляторных типов, таких устройств не имеют [1, 4].

Исследования авторов показали, что частично проблемы минимизации динамических нагрузок ТАБ

можно решить с помощью систем управления тяговым электротехническим комплексом (ТЭТК) электровоза путём реализации алгоритма плавного пуска-торможения электровозосоставов.

Целью исследований является разработка методики расчета нагрузок, действующих на сосуды тяговой аккумуляторной батареи двухосных электровозов при динамике их движения, для создания алгоритма управления ТЭТК.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Максимальные продольно-динамические нагрузки в буферно-сцепных устройствах рудничных электровозов при трогании и торможении состава могут быть определены из выражений [5]

$$F_n = F_0 (1 - e^{-\phi K}) + S_K \frac{\cos^2 \frac{\pi}{2K}}{K \left(1 + \frac{\mu l}{m}\right)} \left(1 + \frac{1}{1 - \frac{P_K^2}{\omega^2}}\right); \quad (1)$$

$$F_{п.т.} = F_0 (1 - e^{-\phi K}) + S_{К.Т.} \frac{\cos^2 \frac{\pi}{2K}}{K \left(1 + \frac{\mu l}{m}\right)} \left(1 + \frac{1}{1 - \frac{P_K^2}{\omega^2}}\right). \quad (2)$$

Значения продольно-динамических усилий буферно-сцепных устройств вагонеток при взаимодействии с головной частью состава в процессе трогания и торможения устанавливаются из зависимостей:

$$S_K = \frac{r_K}{\alpha + K} + \sqrt{\left(\frac{F_K}{\alpha + K}\right)^2 + \frac{CKH \left[(F_K - P\omega')(2\alpha + K - 1) - Q\omega'(K - 1) \left(\alpha + \frac{2K - 1}{3} \right) \right]}{(\alpha + K - 1)(\alpha + K)}}; \quad (3)$$

$$S_{К.Т.} = \frac{F_{К.Т.}}{\alpha + K} + \sqrt{\left(\frac{F_{К.Т.}}{\alpha + K}\right)^2 + \frac{CH \left[(F + P\omega') - Q\omega'\alpha \right]}{(\alpha + K - 1)(\alpha + K)} \left(\sum_{k=1}^K \sqrt{\frac{\alpha}{K} + 1} \right)^2}. \quad (4)$$

Частота собственных колебаний системы равна:

$$P_K = \frac{\alpha_K}{2\pi l}. \quad (5)$$

Значение α_K определяется в каждом конкретном случае формулами:

– для точного решения

$$\alpha_K \frac{m}{\mu l} \sin \alpha_K - 2 \left(\cos \alpha_K - \cos \frac{\pi}{K} \right) = 0; \quad (6)$$

– для приближенного решения

$$\alpha_K = 2 \sqrt{\frac{m}{\mu l}} \beta \sin \frac{\pi}{2K}, \quad (7)$$

где β – коэффициент, учитывающий массу упругой связи. Для рудничного подвижного состава можно принять $\beta = 0,925 \dots 0,93$.

При расчете усилий в реальном поезде, состоящем из 8–10 вагонок, вследствие снижения жесткостей упругих связей, выражение коэффициента динамичности упрощается, так как можно принять $\mu l = 0$ и

$$\frac{P_K^2}{\omega^2} = 0. \text{ В этом случае потери кинетической энергии}$$

возникают за счет упругих деформаций сцепных устройств и по величине, меньше ударных.

Точное решение задачи об усилиях в поезде с автосцепками зазорами в упругих связях предложено проф. А. У. Гелевиным и доц. И. Першицем. Однако вследствие рекуррентности расчетных зависимостей практическое их применение сложно.

С целью упрощения расчетов и сохранения достаточно высокой точности предложены зависимости, не имеющие рекуррентности:

$$S_K^\alpha = S_K \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right]; \quad (8)$$

$$S_{K.T.}^\alpha = S_{K.T.} \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right], \quad (9)$$

где S_K^α и $S_{K.T.}^\alpha$ – усилия в буферно-сцепных устройствах вагонок с автосцепками соответственно при трогании и торможении поезда.

В этом случае решение оказывается завышенным на 5...8% по сравнению с точным решением.

Из (1), (2), (8) и (9) получены выражения усилий в буферно-сцепных устройствах электровозов при трогании F_P^α и торможении $F_{P.T.}^\alpha$ поезда с автосцепками:

$$F_P^\alpha = F_0 \left(1 - e^{-\phi K} \right) + S_K \frac{2 \cos^2 \frac{\pi}{K}}{K} \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right]; \quad (10)$$

$$F_{P.T.}^\alpha = F_0 \left(1 - e^{-\phi K} \right) + S_{P.T.} \frac{2 \cos^2 \frac{\pi}{K}}{K} \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right]. \quad (11)$$

При определении нагрузок на сосуды аккумуляторов исходим из условия, что максимальные нагрузки испытывают аккумуляторы, расположенные в крайних поперечных рядах каждой секции батарейного ящика в период возникновения максимальных продольно-динамических усилий в буферно-сцепных устройствах электровозов.

Поскольку максимальные усилия возникают в процессе торможения предварительно растянутого электровозосостава, нагрузки на сосуды аккумуляторов могут быть определены из зависимостей:

$$F_{P.T.}^i = \frac{F_{P.T.} q z K_N}{P}; \quad (12)$$

$$F_{P.T.}^n = \frac{F_{P.T.}^\alpha q z K_N}{P}, \quad (13)$$

где $F_{P.T.}^i$ и $F_{P.T.}^n$ – нагрузки на сосуды аккумуляторов при торможении электровоза с вагонами, имеющими соответственно звеньевые сцепные устройства и автосцепки, P – вес электровоза, q – вес аккумулятора с электролитом; z – число аккумуляторов в продольном ряду секции батарейного ящика; K_N – коэффициент неравномерности распределения нагрузок между продольными рядами (при расчете можно принять $K_N = 1,5$); g – ускорение силы тяжести.

Результаты расчетов и экспериментальных исследований продольно-динамических нагрузок в буферно-сцепных устройствах электровозов и вагонок при трогании и торможении состава приведены на рис. 1, 2.

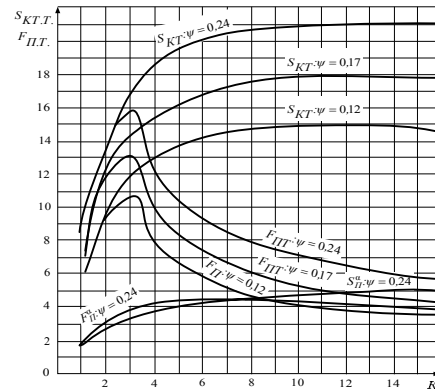


Рисунок 1 – Продольно-динамические усилия в буферно-сцепных устройствах электровоза K14 и вагонок УВГ-3,3, груженых породой (торможение состава)

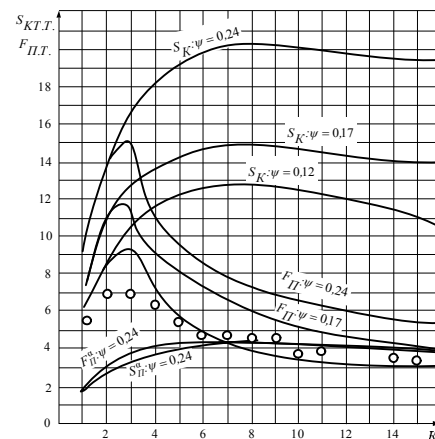


Рисунок 2 – Продольно-динамические усилия в буферно-сцепных устройствах электровоза K14 и вагонок УВГ-3,3, груженых породой (трогание состава)

Графики построены для состава, сформированного из вагонеток УВГ-3,3, груженых породой, и электроваза сцепным весом 14 т (электроваз К14 оборудован колодочными тормозами). Расчеты выполнены для коэффициентов сцепления $\psi = 0,12$; $0,17$; $0,24$. Для поезда, оборудованного автосцепками, жесткость упругой связи принималась равной $C=1,6 \cdot 10^5$ кГ/м. Экспериментальные значения динамических усилий в буферно-сцепном устройстве электроваза К14 (при $\psi = 0,12$) указаны точками.

Как видно, результаты экспериментальных исследований достаточно согласуются со значениями, полученными аналитическим путем.

ВЫВОДЫ. 1. Максимальные продольно-динамические нагрузки в буферно-сцепных устройствах двухосных электровазов в процессе трогания и торможения состава возникают в период первых 4–5 ударов. При этом первые три удара сопровождаются ростом нагрузки, а в процессе последующих ударов нагрузки монотонно снижаются, приближаясь к предельному значению силы тяги по сцеплению.

2. Динамические нагрузки, возникающие в процессе торможения рудничного электровазосостава, на 18...20% выше нагрузок трогания. При трогании и торможении электровазосостава на участке пути с указанным $i=\omega'$ продольно-динамические нагрузки в буферно-сцепных устройствах электровазов и вагонеток возрастают на 30...35% по сравнению с установившимся режимом движения.

3. С целью снижения динамических нагрузок на сосуды тяговых аккумуляторных батарей необходимо реализовать алгоритм управления движением тяговым электротехническим комплексом электроваза с плавным троганием и торможением первых 5–6 вагонеток состава.

CALCULATION OF LOADINGS, EFFECTING ON TRACTION ACCUMULATORS BATTERIES JARS OF BIAxIAL ELECTRIC LOCOMOTIVES

O. Sinchuk, S. Yakimets, Ye. Skapa

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: seem@kdu.edu.ua

The calculation method of calculation of loadings, which effect on traction accumulators batteries jars of mining battery-trolley locomotives. The data results dynamic loadings are gainead. The results of calculations and experimental studies of longitudinal dynamic loads in the buffer-coupling devices, and electric trolleys when starting and braking composition.

Key words: longitudinal dynamic loadings, accumulators, electric locomotives.

REFERENCES

1. Traction Electric Drive Battery Locomotive / O.N. Sinchuk, I.O. Sinchuk, A.A. Chernyshov, D.A. Sushko // *Visnyk of National Technical University "KhPI": Collected articles*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2002. – Vol. 1. – Iss. 12. – PP. 204–205. [in Russian]

2. Electric Traumatism and Ways of its Reduction under Exploitation of Electric Kinds of Transport at Underground Mines Plants / I. Sinchuk, E. Skapa // *Collected articles of Scientific Works of IX International Scientific-technical Conference of Young Scientists and Experts "Electromechanic and Optimization"*, April 07–08, 2011. – Kremenchuk: KNU, 2011. – PP. 338–339. [in Ukrainian]

3. *Combinatorics of Voltage Converters of Modern Traction Electric Drive of Mine Electric Locomotives*

- ЛИТЕРАТУРА
1. Тяговый электропривод рудничного аккумуляторного электроваза / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, А.А. Чернышов, Д.А. Сушко // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*: Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – Т. 1. – Вип. 12. – С. 204–205.
 2. Електротравматизм і шляхи його зменшення при експлуатації електрифікованих видів транспорту на підземних гірничорудних підприємствах / І.О. Сінчук, Є.І. Скапа // *Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації»*, 07–08 квітня 2011 р. – Кременчук: КНУ, 2011. – С. 338–339.
 3. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровазов / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Н.Н. Юрченко и др.; Научное издание. – К.: ІЕДНАНУ, 2006. – 252 с.
 4. Шахтный контактно-аккумуляторный электроваз / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, П.К. Саворский, Н.Н. Долгий // *Горный журнал*. – 1988. – № 6. – С. 22–25.
 5. Методика расчета переходных процессов в асинхронном тяговом приводе локомотива / Н.В. Львов, В.А. Шаров // *Тр. МИИТ*. – Вып. 571. – М., 1977. – С. 53–61.

/ O.N. Sinchuk, I.O. Sinchuk, N.N. Yurchenko and oth.; Scientific edition. – K.: IEDNANU, 2006. – 252 p. [in Russian]

4. Mine Contact Battery Electric Drive / O.N. Sinchuk, E.S. Guзов, P.K. Savorsky, N.N. Dolgiy // *Mining Journal*. – 1988. – № 6. – PP. 22–25. [in Russian]

5. Method for Calculation of Transient Processes in Asynchronous Traction Drive of Locomotive / N.V. Lvov, V.A. Sharov // *Proc. MIIT*. – M., 1977. – Iss. 571. – PP. 53–61. [in Russian]

Стаття надійшла 20.02.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Чорним О.П.