

Також показано, що у разі використання деяких типів сучасних цифрових лічильників реактивної енергії може існувати випадок, при якому зменшення показань лічильника неможливо досягти шляхом використанням косинусного конденсатора.

Список літератури

1. Давыдов А.С. Особенности измерения полной и реактивной мощности и энергии в электрических сетях / А.С. Давыдов, А.Н. Попенка, В.В. Аникин // Український метрологічний журнал, 2009. - №2. - С. 11-15.
2. L. Asiminoaei, F. Blaabjerg, and S. Hansen, Evaluation of harmonic detection methods for active power filters application, *APEC*, Vol. 1, pp. 635-41, 2005.
3. Akagi H. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes. – New York: Wiley, 2007. – 379 p.
4. Czarnecki L.S. Currents' Physical Components (CPC) concept: a fundamental of Power Theory / L.S. Czarnecki // *Przegląd elektrotechniczny*, R84. – 2008. – No. 6. – P. 28-37.
5. Akagi H. Modern Active Filters and Traditional Passive Filters / H. Akagi // *Bulletin of the Polish Academy of science, Technical sciences*. – 2006. – vol. 54. – P. 255-269.
6. Czarnecki L.S. On some misinterpretations of the Instantaneous Reactive Power p-q Theory / L.S. Czarnecki // *IEEE Trans. On Power Electronics* Vol. 19. – 2004. – No. 3. – P. 828-836.
7. Depenbrock M. The FBD-method, a generally applicable tool for analyzing power relations / M. Depenbrock // *IEEE Transactions on Power Systems* – 1993. – Volume: 8, Issue: 2. – P. 381-387.
8. Баланс энергий в электрических цепях / И.Е. Тонкаль, А.В. Новосельцев, С.П. Денисюк [и др.]; – К.: Наукова Думка, 1992. – 312 с.
9. Fryze S. Wink-, Blind-, and Scheinleistung in Elektrischen Stromkreisen mit Nichtsinusoidalem Verlauf von Strom und Spannung / S. Fryze // *Elekt. Zeitschrift* – 1932. – Vol. 53. – № 25. – P. 596-599.
10. Tolbert, L.M. Comparison of Time Based Nonactive Power Definitions for Active Filtering / L.M. Tolbert, T.G. Halbetler // *Power Electronics Congress CIEP 2000.– 2000.– October 2000.– P. 73-79.*
11. M. Kale Harmonics and reactive power compensation with shunt active power filter under non-ideal mains voltage / M. Kale, E. Ozdemir // *Electric Power Syst.* – 2005. – Res 77. – pp. 363-370.
12. Колб А.А. Системы группового питания приводов с емкостными накопителями и параллельными активными фильтрами / А. А. Колб // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*, 2011. – Вип. 03(79). – С. 404-407.
13. The New IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms / [chair Gediminas P. Kurpis]. – IEEE: New York, 1993. – 1619 p.
14. Бурлака В.В. Обзор методов управления активными фильтрами / В.В. Бурлака, С.К. Поднебенна, М.Д. Дяченко // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 1/2011 (13). – С. 51-54.
15. K Syed Moinuddin, Dr. BV Sanker Ram Instantaneous power theory based active power filter: a matlab/ simulink approach / Moinuddin K Syed, Dr. BV Sanker Ram // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2008. – Vol. 4 No. 6. – pp. 536-541.
16. Пронин М.В., Воронцов А.Г. Активная фильтрация напряжений и токов сети в установках с высоковольтными тиристорными преобразователями // Сб. «Горное оборудование и электромеханика». – 2005. – № 5. – С. 41-45.
17. Дрехслер Р. Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке / Р. Дрехслер ; Пер. с чешск. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.
18. Шейкіна О.Г., Костін М.О. Неоднозначність визначення поняття «реактивна потужність» в колах несинусоїдних електричних величин // *Гірнична електромеханіка та автоматика.–Дніпропетровськ*, 2002.– 69. – С.3-7.
19. Супрунович Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок / Г. Супрунович. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.
20. Akagi H. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes. – New York: Wiley, 2007. – 379 p.

Рукопис подано до редакції 02.10.13

УДК 622.625.28

В.В. ПРОЦІВ, І.А. ТАРАН, доктора техн. наук, доц.,
А.В. НОВИЦКИЙ, канд. техн. наук, Национальный горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЫКОВЫХ НЕРОВНОСТЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТОРЕЛЬСОВЫХ СИСТЕМ ШАХТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Предложена методика определения коэффициента использования силы магнитного притяжения на основе результатов вычислительного эксперимента в программе трехмерного моделирования КОМПАС. Получена зависимость критической высоты неровности рельсового пути от угла наклона тяг системы подвешивания.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одним из наиболее эффективных способов повышения тормозной эффективности шахтных локомотивов является использование магниторельсовых тормозных систем и созданных на их базе устройств для увеличения нагрузки на оси локомотива, получивших название магниторельсовых догрузателей [0]. Используемые в настоящее время постоянные магниты обеспечивают ограниченную магнитную индукцию, поэтому для достижения высоких значений силы магнитного притяжения требуется увеличение длины магнитного блока. Максимальная длина магнитного блока ограничивается как величиной жесткой базы локомотива, так условиями взаимодействия с рельсом.

Как известно, тормозная сила рельсового тормоза в значительной мере зависит от качества рельсовой колеи, по которой движется локомотив. Наиболее значительные проблемы для магниторельсовых тормозов создают расстроенные стыки и износ поверхностей катания рельсов и бандажей колес, что приводит к возникновению воздушного зазора в магнитной цепи и снижению фактической тормозной силы [1]. Отсутствие методик проектирования магнитных блоков, обеспечивающих стабильность контакта с рельсом, и оценки влияния условий взаимодействия не позволяют создать эффективные конструкции магниторельсовых систем.

Анализ исследований и публикаций. Как показали результаты экспериментов и опыт эксплуатации магниторельсовых систем в шахтных условиях, основной причиной снижения показателей эффективности являются отрывы магнитного блока от рельса [0]. Отрыв может произойти как при прохождении неровностей рельсового пути самим магнитным блоком, так и при увеличении расстояния от поверхности рельса до точки крепления наклонной тяги на опорной балке вследствие изменения диаметра круга катания колеса, наезде на препятствие и т.д. Наиболее характерным видом несовершенства шахтного рельсового пути является вертикальная ступенька рельсового стыка. Длина рельсов, опускаемых в шахту под клетью обычно составляет от 4 до 6 м. Для экономии рельсов используют даже короткие их обрезки, что увеличивает общее количество рельсовых стыков до 45 штук на 100 м пути (на обоих рельсах), а сами стыки часто оказываются расположенными вне шпал. При этом из-за неудовлетворительной фиксации концов рельсов относительно друг друга, они со временем деформируются под действием подвижности горных пород и ударных нагрузок от колес. Подобная ситуация не позволяет обеспечивать максимально возможные значения силы торможения.

Решением проблемы снижения эффективности магниторельсовых тормозных систем при прохождении неровностей рельсового пути является секционирование магнитного блока в продольном направлении, а также разработка конструкций системы подвешивания, минимизирующих перемещения магнитного блока относительно дорожки катания рельса [0]. При этом необходимо иметь научно обоснованную методику оценки влияния неровностей на показатели эффективности работы магниторельсовой системы, позволяющую максимально точно прогнозировать значения сил магнитного притяжения и торможения в зависимости от условий эксплуатации.

Постановка задачи. Задачей исследования является разработка методики оценки влияния стыковых неровностей рельсового пути на процесс формирования силы торможения магнитного блока, позволяющей на стадии проектирования в зависимости от условий эксплуатации выбирать параметры магниторельсовой системы и прогнозировать показатели ее эффективности.

Изложение материала и результаты. Тормозная сила магнитного блока определяется, в первую очередь, удельной силой магнитного притяжения F_{ij} секции тормоза к рельсу и длиной магнитного блока. Удельная сила магнитного притяжения зависит от площади контакта полюсных наконечников и рельсов, а также величины воздушных зазоров [0].

При торможении локомотива на участках шахтного пути, имеющих кривизну профиля (перегибы), искривления в плане (повороты) или при проезде единичной неровности [0,0], действующее значение тормозной силы секции магниторельсового тормоза определяют по формуле как

$$F_{m\,ij} = F_{0\,ny} l_m f_m k_v k_{c\,ij} k_{\phi\,ij} k_{\delta\,ij} k_u k_T,$$

где $F_{0\,ny}$ - удельная сила магнитного притяжения секции магниторельсового тормоза к прямому рельсу, Н/м; l_m - длина магнитного блока, м; f_m - коэффициент трения скольжения материала наконечника магниторельсового тормоза по рельсу для конкретных условий загрязненности рельсов; k_v - коэффициент, учитывающий влияние скорости движения магниторельсового тормоза на силу его магнитного притяжения к рельсу (учет влияния краевого эффекта, когда вихревые токи

создают магнитное поле, «размагничивающее» магнитную систему, уменьшая тем самым эффективность торможения); k_{cij} - коэффициент использования силы магнитного притяжения над единичной неровностью в виде ступеньки рельсового стыка (отношение силы притяжения тормоза над реальной единичной неровностью в виде ступеньки рельсового стыка к ее максимально возможной величине над прямым рельсом); $k_{\phi ij}$ - коэффициент использования силы магнитного притяжения над единичной неровностью в виде проседания концов рельсов на стыке (отношение силы притяжения тормоза над реальной единичной неровностью в виде проседания рельсов на стыке к ее максимально возможной величине над прямым рельсом); $k_{\delta ij}$ - коэффициент использования силы магнитного притяжения над единичной неровностью в виде локального прогиба рельсовой нити (отношение силы притяжения тормоза над реальной единичной неровностью в виде прогиба рельсовой нити к ее максимально возможной величине над прямым рельсом); k_u - коэффициент износа трущихся пар, определяет степень износа полюсных наконечников по мере эксплуатации; k_T - коэффициент, учитывающий ослабление магнитного поля магниторельсового тормоза из-за повышения его температуры в процессе торможения.

Наиболее заметные снижения силы магнитного притяжения наблюдаются при прохождении неровностей в виде ступеньки рельсового стыка [0].

Проезд ступеньки рельсового стыка секцией магниторельсового блока снижает силу магнитного притяжения наконечников тормоза, так как при этом между ними увеличивается эквивалентный зазор Δ_{cij}

$$\Delta_{cij} = \Delta_o + \frac{1}{2} \int_o^{l_m} h(x) dx,$$

где Δ_o - воздушный зазор между рельсом и наконечником тормоза для хорошо приработанных наконечников и рельсов на идеально ровном и достаточно чистом пути, м; h - высота ступеньки рельсового стыка под секцией магниторельсового тормоза, м.

Изменение тормозной силы над ступенькой рельсового стыка пути можно учесть с помощью коэффициента использования силы магнитного притяжения над такой единичной неровностью k_{cij} , определяемого как

$$k_{cij} = 1/k_{\Delta c}^2,$$

где $K_{\Delta oc}$ - коэффициент увеличения эквивалентного зазора между поверхностями контакта наконечников и рельсов над ступенькой рельсового стыка, определяемый как отношение эквивалентного зазора между поверхностью трения полюсного наконечника секции тормоза и поверхностью дорожки катания рельса над ступенькой рельсового стыка при ее конкретной величине h_{LR} к такому же зазору над прямым (не искривленным) рельсом.

Величину данного коэффициента над конкретным стыком находят методом вычислительного эксперимента [0], в программе трехмерного моделирования КОМПАС (рис. 1).

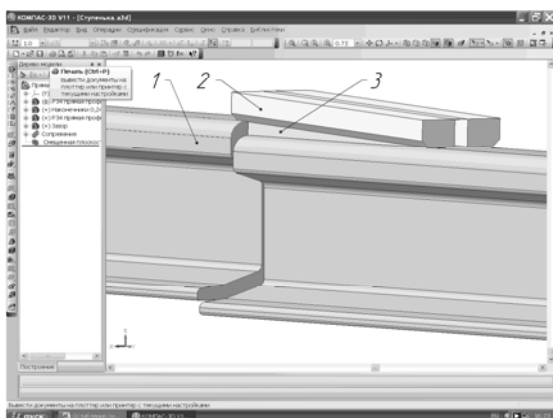


Рис. 1. Расчетная схема к определению эквивалентного зазора над ступенькой рельсового стыка

Над ступенькой стыка рельсов 1 размещают модель наконечников секции магниторельсового тормоза 2, а затем строят модель воздушных зазоров 3 между ними и поверхностями дорожек катания рельсов.

Определив с помощью программы объем зазора и площадь его контакта с наконечником, находят эквивалентный зазор между трущимися поверхностями тормоза и $k_{\Delta c}$.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента использования силы магнитного притяжения над ступенькой рельсового стыка k_{cij} от величины этой ступеньки h_{LR} . Как показали исследования, этот коэффициент не зависит от длины наконечника секции магниторельсового тормоза.

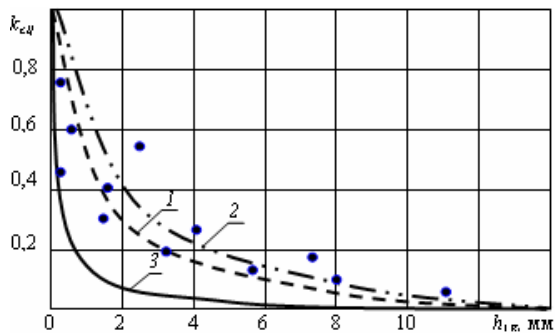


Рис. 2. Зависимость коэффициента использования силы магнитного притяжения от величины неровности рельсового пути: 1 - для секционного магнитного блока с ходом секции 15 мм; 2 - для секционного магнитного блока с ходом секции 25 мм; 3 - для магнитного блока традиционной конструкции (по данным В.В. Процива)

Полученная табличная зависимость $k_{cij} = f(h_{LR})$ аппроксимирована степенным полиномом в программе Wolfram Mathematica 7 [0].

Сравнение значений силы магнитного притяжения, полученных с использованием результатов вычислительного эксперимента, с данными испы-

таний, показали, что расхождение составляет от 25 до 40 %, что не позволяет существенно повысить точность тормозных расчетов.

Анализ процесса прохождения магнитными блоками различных конструкций стыков показал, что ослабление силы магнитного притяжения начинается уже при наезде на неровность колеса локомотива.

Следовательно, для получения более адекватной картины исследуемого процесса необходимо учитывать и этот фактор. Учет влияния наезда колеса на стыковую неровность выполнялся путем введения в математическую модель [3] дополнительного углового перемещения тяг системы подвешивания, что позволило определить вертикальные перемещения секций магнитного блока.

Определение объема зазора и площади его контакта с наконечником выполнялось согласно методике, предложенной в работе [0]. Как и в предыдущем случае, характер изменения коэффициента k_{cij} определяется, в первую очередь, высотой ступеньки стыковой неровности.

График зависимости $k_{cij} = f(h_{LR})$ для различных моделей магнитных блоков приведен на рис. 2.

Анализ результатов показал, что учет перемещений колесных пар позволяет более точно оценить снижение силы магнитного притяжения.

В этом случае расхождение результатов моделирования (кривые 1 и 2) с экспериментальными данными, представленными на графике (рис. 2) в виде точек, составляет не более 15 %.

Кроме этого, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что благодаря секционированию магнитного блока и обеспечению возможности относительного перемещения секций в продольной плоскости можно снизить негативное влияние неровностей рельсового пути.

Конструктивно увеличение хода секции возможно только при увеличении угла наклона тяг системы подвешивания, что приводит к увеличению части силы магнитного притяжения, передаваемой на оси локомотива и изменению всех параметров торможения [0].

Для определения рациональной величины угла наклона тяг и свободного хода секции необходимо установление зависимости критической высоты неровности, которую может преодолеть колесо локомотива без отрыва магнитного блока.

Для решения этой задачи выполнено решение системы уравнений, описывающих процесс торможения локомотива колесно-колодочным тормозом с одновременным включением магниторельсовой системы.

Высота ступеньки стыковой неровности задавалась с шагом 1 мм, угол наклона тяг - с шагом 5°.

В качестве выходного параметра использовались значения тормозной силы секции магнитного блока.

Определялась высота неровности рельсового пути, при которой тормозная сила принимала нулевое значение, что являлось признаком отрыва магнитного блока от рельса.

В результате получен график зависимости критической высоты неровности от угла наклона тяг магниторельсовой системы (рис. 3).

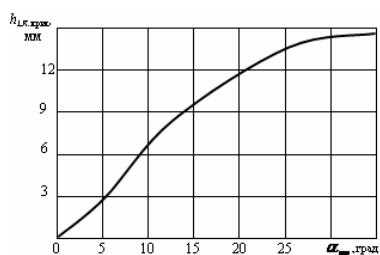


Рис. 3. График зависимости критической высоты неровности от угла наклона тяг системы подвешивания

При вертикальном расположении тяг ($\alpha_{mij} = 0$) отсутствует горизонтальная составляющая силы разгрузки магнитного блока, вследствие чего секции не перемещаются, поэтому безотрывное скольжение магнитного блока возможно только на идеально ровных рельсах.

При увеличении угла наклона критическая высота неровности

$h_{LR,крит}$, которую может преодолеть колесо локомотива без отрыва магнитного блока от рельса, возрастает и при α_{mij} , равном 30° достигает максимального значения.

Дальнейшее увеличение угла наклона тяг не влияет на величину преодолеваемой неровности.

Зависимость $h_{LR,крит} = f(\alpha_{mij})$ аппроксимирована степенным полиномом вида

$$h_{LR,крит} = -0,0001\alpha_{mij}^3 - 0,0002\alpha_{mij}^2 + 0,4599\alpha_{mij} - 0,00269.$$

Полученная зависимость связывает основной параметр возмущающего воздействия (высоту неровности $h_{LR,крит}$) с одной из важнейших конструктивных характеристик магниторельсовой системы (угол наклона тяг системы подвешивания), определяющей эффективность ее работы, что позволяет на стадии проектирования исходя из реального состояния рельсового пути определять рациональные параметры магнитного блока и системы подвешивания.

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате проведенных исследований разработана методика определения коэффициента использования силы магнитного притяжения на основе результатов вычислительного эксперимента в программе трехмерного моделирования КОМПАС.

Получена зависимость критической высоты неровности рельсового пути, при которой происходит отрыв магнитного блока от рельса, от угла наклона тяг системы подвешивания.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния на величину силы магнитного притяжения неровностей рельсового пути в виде локального прогиба рельсовой нити и проседания рельсов на стыке.

Список литературы

1. **Абрамов А. П.** Определение работоспособности рельсового магнитного тормоза при прохождении им рельсового стыка / **А. П. Абрамов, В. Д. Елманов** // Механизация работ на рудниках: сб. науч. тр. Кузбас. политехн. ин-та. - Кемерово, 1982. - С. 142-146.
2. **Процев В. В.** Моделирование торможения шахтного поезда на заданном участке пути: монография / **В. В. Процев**. – Д.: Национальный горный университет, 2011. - 208 с.
3. **Процев В. В.** Моделирование процесса торможения шахтного поезда магниторельсовым догрузателем / **В. В. Процев, А. В. Новицкий** // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2012)». – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2012. - С. 129-134.
4. **Новицкий А. В.** Влияние несовершенств рельсового пути на характеристики колебательного режима шахтного локомотива / **А. В. Новицкий** // 36. наук. праць НГУ, – 2004. - № 19 - С. 171-176.
5. **Новицкий А. В.** Исследование показателей эффективности рельсовых тормозов шахтных локомотивов / **А. В. Новицкий** // 36. наук. праць НГУ. - 2006. – № 24 - С. 79-85.

Рукопись поступила в редакцию 22.01.14

УДК 622.272

С.В. ТИЩЕНКО¹, д-р техн. наук, Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
Криворожский национальный университет

Д.Ю. МАЛЫХ, начальник отдела технологии, ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭВОЛЮЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Промышленные испытания проводятся с целью получения объективной информации для дальнейшей статистической обработки экспериментальных данных на исследуемых объектах, иначе говоря, имеет дело с эмпирической (статистической) моделью [1].

Целью поставленной задачи является управление объектом исследования путем создания новой технологии ведения взрывных работ и нахождения оптимальных условий, применения различных технологических схем взрывоподготовки горных пород.

Имеем стационарную модель, свободными параметрами в которой являются: высота уступа, расстояние между рядами (РМР), расстояние между скважинами (РМС) последующих рядов, замедление между секциями, система инициирования, длина заряда, диаметр скважин и другие технологические параметры.