

УДК 622.625-28-83-592.112

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

А. Н. Коптовец, доктор технических наук, профессор кафедры транспортных систем и технологий

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

В.В. Яворская, инженер-программист, кафедра транспортных систем и технологий

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: yavorskaiav@nmu.org.ua

Аннотация. Рассмотрена научная задача адаптивного управления трибологической системой на стадии проектирования шахтного подвижного состава. На основании разработанных алгоритмов моделирования процессов нагружения тормоза проведены вычислительные эксперименты вместо натуральных. Сделаны выводы, что коэффициент трения тормоза обладает агрегатными свойствами. Определены условия для управления структурой и трибологическими свойствами тормоза.

Ключевые слова: механическая система с трением, динамическая модель, управление, нагружение, контакт, колебания, демпфирование.

ADAPTIVE CONTROL OF TRIBOLOGICAL SYSTEM

A. Koptovets, Doctor of technical Sciences, Professor, The Department of Transport Systems and Technologies

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

V. Yavorskaia, Programmer engineer, The Department of Transport Systems and Technologies

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: yavorskaiav@nmu.org.ua

Abstract. Scientific mission of tribological system adaptive control at the stage of mine carriage rolling stock was considered. Computational experiments instead of full-scale ones have been carried out basing upon developed algorithms for brake loading processes simulation. It is concluded that the brake frictional coefficient has aggregate properties. Factors to control both structure and tribological properties of brake are determined.

Keywords: mechanical system white friction, dynamical model, control, loading, contact, excursions, damping.

Введение. Отсутствие методик для динамических расчетов тормозных систем с контактным возбуждением фрикционных колебаний, разработка их на эмпирической основе сдерживает развитие, увеличивает сроки про-

ектирования и внедрения оборудования для управления движением. Это явилось результатом того, что при разработке конструкции не использованы действующие закономерности фрикционного взаимодействия в тормозе. Принята динамическая модель с жесткими звеньями, зависимость силы (коэффициента) трения от скорости движения.

Объектом управления является взаимодействие нормальных вынужденных колебаний и тангенциальных фрикционных высокочастотных колебаний в рабочем процессе амонтонового трения с регулированием упругих и диссипативных сил нагружения системы.

Цель работы – определить условия для управления структурой и трибологическими свойствами тормозов.

Результаты исследований. Для верификации разработанной методики моделирования процессов колебаний в тормозных механизмах проведена серия вычислительных экспериментов по решению ряда модельных задач.

При выполнении расчетов принимались следующие значения параметров математической модели:

- масса колодки – (2...7) кг;
- скорость основания – (0...5) м/с;
- коэффициент трения – (0,20...0,75);
- амплитуда шероховатости колодки – (0,50...150,00) мкм;
- амплитуда шероховатости колеса – (0,20...15,00) мкм;
- шаг шероховатости колодки – (0,40...5,00) мкм;
- шаг шероховатости колеса – (0,10...0,95) мкм;
- сдвиг фаз шероховатостей – (0...25)°;
- коэффициент жесткости шероховатостей (коэффициент контактной жесткости) – $(7...16) \cdot 10^9$ кН/м³;
- длина площадки контакта – (0,1...0,5) м;
- ширина площади контакта – (0,06...0,15) м;
- жесткость конструктивной связи-1 – $(3...25) \cdot 10^7$ Н/м;
- коэффициент вязкости конструктивной связи-1 – (1...100) кН·с/м;
- угол наклона конструктивной связи-1 – $(180 \pm 10)^\circ$;
- жесткость конструктивной связи-2 – $(0,01...10) 10^7$ Н/м;
- коэффициент вязкости конструктивной связи-2 – (1...100) кН·с/м;
- угол наклона конструктивной связи-2 – $(90 \pm 20)^\circ$;
- начальное усилие сжатия конструктивной связи-2 – (4...12) кН.

Характерным вариантом решений модульных задач являются результаты, которые представлены на рис. 1 – 14.

На рис. 1 приведены зависимости во времени компонент перемещений колодки тормозного механизма. Кривая 1 соответствует тангенциаль-

ным перемещениям, а кривая 2 – нормальным перемещениям. Здесь и далее по оси абсцисс отложен номер точки на временной оси. Произведение номера точки на шаг по времени определяет текущее время.

На рис. 2 приведены зависимости во времени компонент скорости колодки тормозного механизма. Кривая 1 соответствует скорости в тангенциальном направлении, а кривая 2 – скорости в направлении, нормальном к поверхности контакта.

На рис. 3 приведены зависимости во времени компонент ускорений колодки тормозного механизма. Кривая 1 соответствует ускорению в тангенциальном направлении, а кривая 2 – ускорению в направлении, нормальном к поверхности контакта.

На рис. 4 изображена фазовая диаграмма для тангенциальных перемещений, а на рис. 5 – фазовая диаграмма для нормальных перемещений.

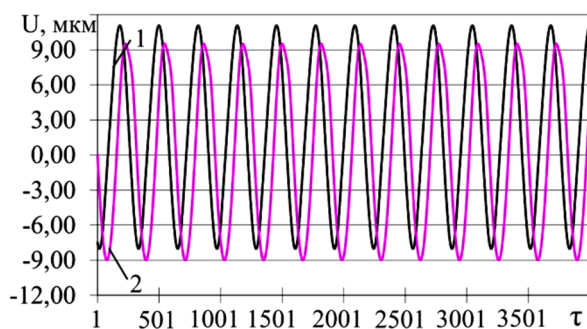


Рисунок 1 – Диаграммы перемещения колодки тормозного механизма

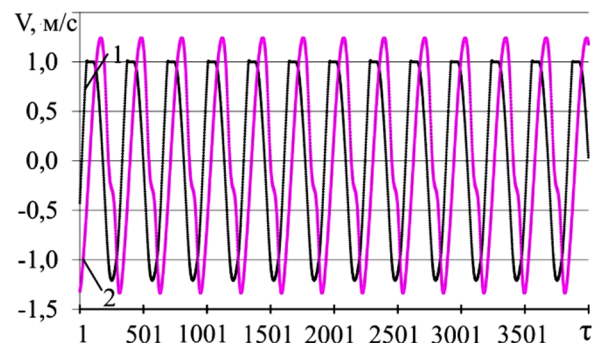


Рисунок 2 – Компоненты скорости перемещений колодки

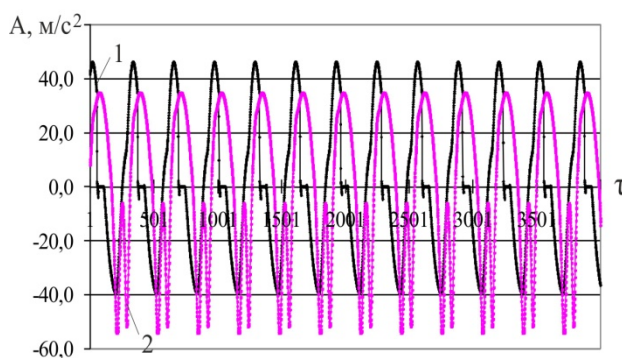


Рисунок 3 – Компоненты ускорения колодки тормозного механизма

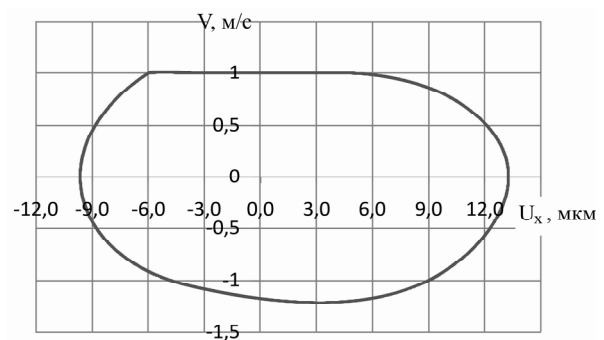


Рисунок 4 – Фазовая диаграмма тангенциальных перемещений и скоростей колодки

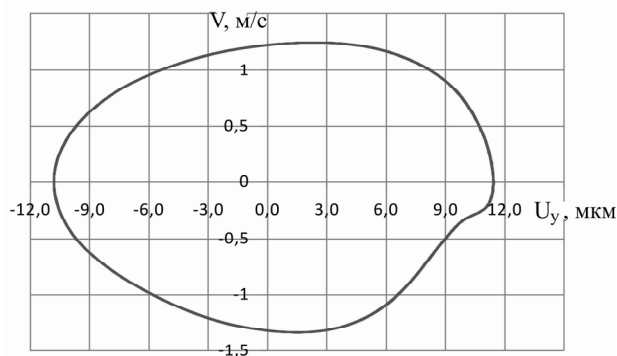


Рисунок 5 – Фазовая диаграмма нормальных перемещений и скоростей колодки

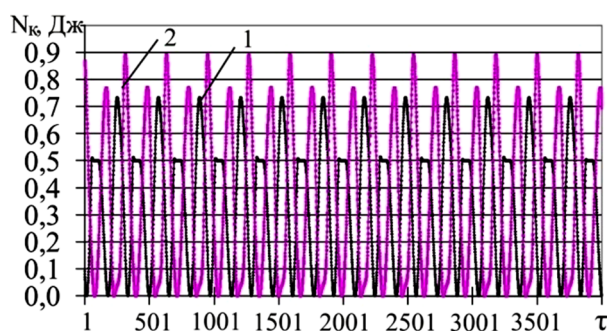


Рисунок 6 – Диаграмма кинетической энергии колодки тормозного механизма

На рис. 6 приведены зависимости во времени кинетической энергии колодки тормозного механизма, на рис. 7 – зависимости во времени потенциальной энергии упругой деформации двухсторонних связей, а на рис. 8 – зависимости во времени мощностей диссипативных сил в двухсторонних связях (1, 2 – номер связи).

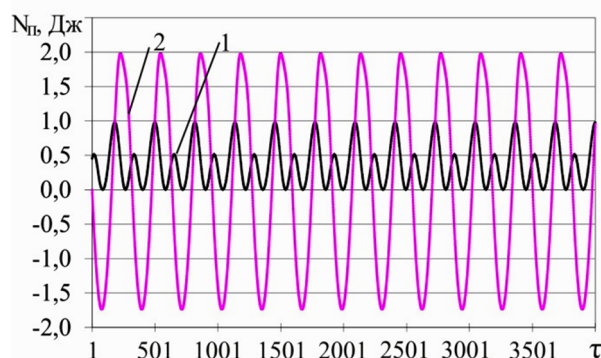


Рисунок 7 – Диаграмма потенциальной энергии двухсторонних связей

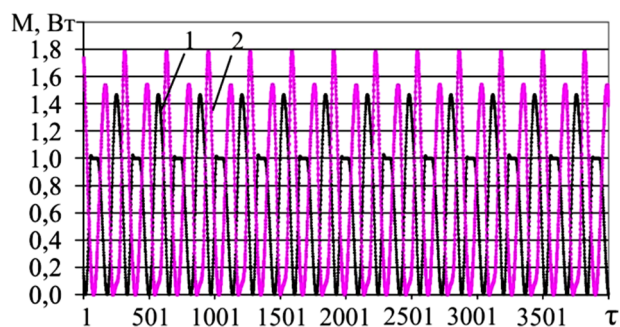


Рисунок 8 – Диаграмма мощности диссипативных сил двухсторонних связей

На рис. 9 изображены зависимости во времени кинетической, потенциальной и полной энергии колебаний колодки тормозного механизма, на рис. 10 – зависимости во времени сил контактного взаимодействия, возникающих в тормозном механизме.

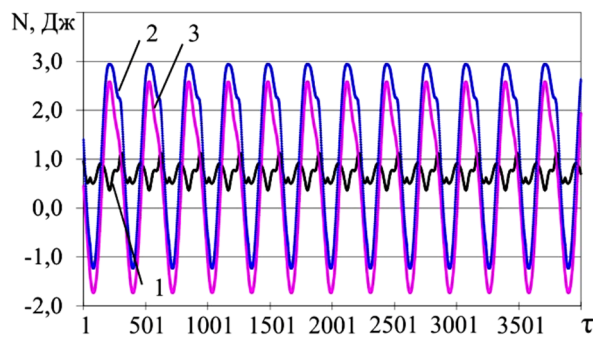


Рисунок 9 – Энергия колебаний колодки тормозного механизма

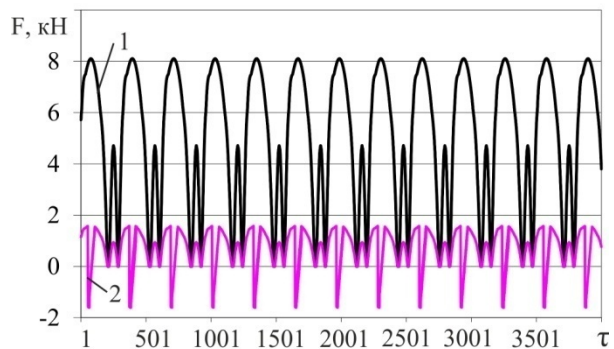


Рисунок 10 – Силы контактного взаимодействия

На рис. 11 рассмотрены графики автокорреляционных функций для компонент перемещений колодки тормозного механизма. По оси ординат отложены нормированные значения автокорреляционной функции, а по оси абсцисс – сдвиг по времени.

На рис. 12 рассмотрены спектры компонент перемещений колодки тормозного механизма, на рис. 13 – спектры компонент скорости колодки, а на рис. 14 – спектры компонент ускорений колодки. По оси абсцисс отложены номера гармоник колебаний, по оси ординат – амплитуды гармоник перемещений, скоростей и ускорений колодки соответственно.

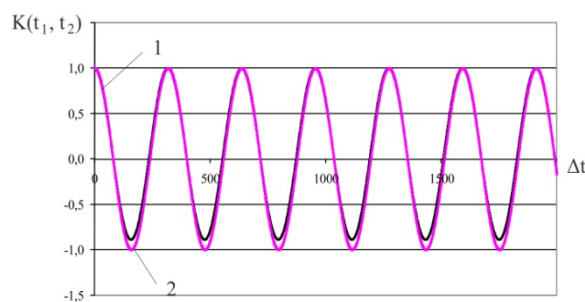


Рисунок 11 – Автокорреляционные функции перемещений колодки тормозного механизма

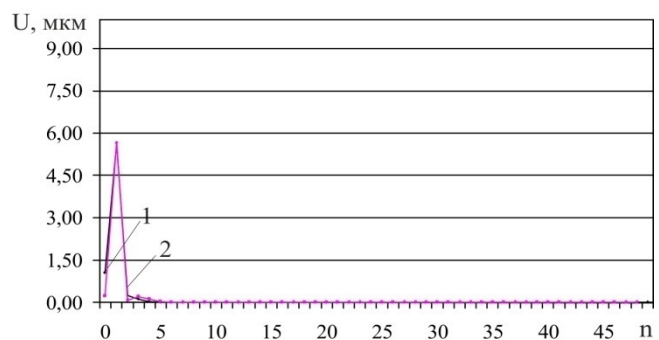


Рисунок 12 – Спектр перемещений колодки тормозного механизма

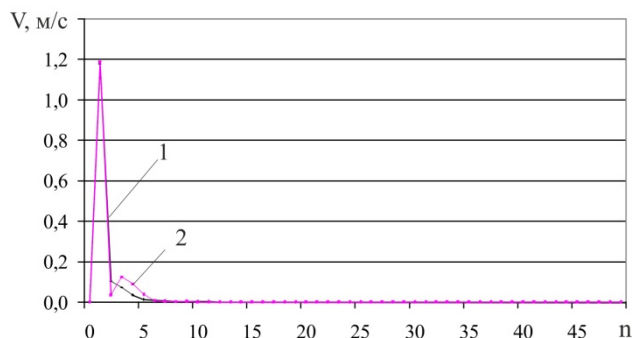


Рисунок 13 – Спектр скоростей перемещения колодки тормозного механизма

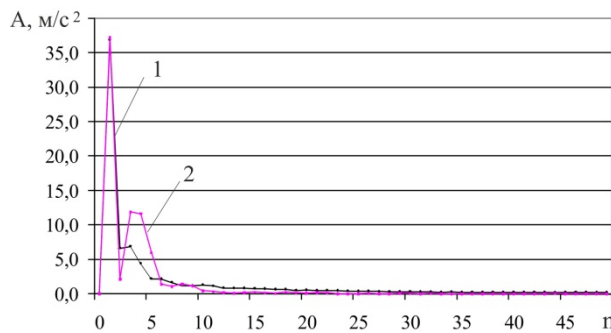


Рисунок 14 – Спектр ускорений колодки тормозного механизма

Выводы. Анализ полученных результатов вычислительного эксперимента позволяет сделать вывод, что для заданного набора параметров тормозного механизма реализуется установившийся режим релаксационных колебаний колодки. При этом скорость колебательных перемещений колодки в тангенциальном направлении (рис. 2) равна скорости поступательного движения колеса 1 м/с (рис. 4), ускорение колодки равно 0 (рис. 3). Колодка «прилипает» к поверхности катания колеса, сила трения тормоза равна 0. (рис. 10). В результате действующее значение коэффициента трения за период торможения снижается. Для того, чтобы исключить источник релаксационных автоколебаний в рабочем процессе тормоза необходимо уменьшить скорость перемещения колодки демпфированием колебаний в тангенциальном направлении за счет повышения коэффициентов демпфирования диссипативных сил или введения дополнительных диссипативных элементов в виде демпфирующих опор подвески тормозной колодки. Сила трения тормозной колодки также обладает демпфирующими свойствами, при этом она является источником энергии фрикционных колебаний, что исключает возможность гашения колебаний ее увеличением.

Источником колебаний в нормальном направлении является дискретность контактных поверхностей колодки и колеса. Для снижения амплитуды колебаний тормозного нажатия колодки необходимо уменьшить жесткость упругих элементов привода и передачи тормозного нажатия. Тормозная колодка в виде сосредоточенной массы как гаситель колебаний повышает демпфирующее действие сил внутреннего трения в материалах деталей тормоза, конструктивного демпфирования и сопротивления рабочей среды привода тормоза.

Таким образом, при нагружении тормоза наблюдается кинематическое возбуждение колебаний в нормальном направлении тормозного ме-

ханизма. За счет конструктивных связей колебания передаются в тангенциальном направлении. В этом направлении формируются также и фрикционные колебания в соответствии с амонтовым трением в рабочем процессе тормоза. В результате взаимодействия нормальных и тангенциальных колебаний возбуждаются фрикционные автоколебания. Наличие двух конструктивных связей тормозной колодки приводит к координатной взаимосвязи нормальных и тангенциальных колебаний. В зависимости от соотношения коэффициентов жесткости и демпфирования упругих и диссипативных сил связей, их углов наклона, статистических и динамических значений коэффициента трения возможно возникновение установившихся фрикционных автоколебаний. Уменьшение деформации контактной поверхности колодки приводит к соответствующему уменьшению фактической площадки контакта. Чем больше скорость движения, тем больше амплитуда колебаний. Увеличение амплитуды колебаний вследствие их асимметричности приводит к повышению среднего уровня колодки над колесом и уменьшению фактической площадки контакта, в результате этого сила трения уменьшается при увеличении скорости скольжения. Это один из факторов, объясняющих падающую кинетическую характеристику трения.

УДК 62

ПРОГРАММНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

И.Б. Пьянков, Генеральный конструктор

Открытое акционерное общество «НТЦ «Комплексные модели», г. Москва, Россия, e-mail: ntccm@ntccm.ru

И.А. Колесников, Главный конструктор

Открытое акционерное общество «НТЦ «Комплексные модели», г. Москва, Россия, г. Москва, Россия, e-mail: ivan.a.kolesnikov@gmail.com

М.В. Николенко, Ведущий разработчик

Открытое акционерное общество «НТЦ «Комплексные модели», г. Москва, Россия, e-mail: mikhail.nikolenko@gmail.com

Аннотация. Рабочей группой проведены проектирование и разработка программного информационного комплекса поддержки концептуального проектирования объектов морской техники.

Ключевые слова: ПИК, программно-информационный комплекс, концептуальное проектирование, морская техника.