

УДК 534.08: 621.89

**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУХОГО НЕКУЛОНОВА ТРЕНИЯ****Лушников Б.В.***Юго-Западный государственный университет, Курск, e-mail: bvl\_61@inbox.ru*

В статье представлена конструкция испытательного стенда для идентификации и исследования динамических параметров сил сухого некулонова трения, ответственных за возникновение фрикционных автоколебаний. В качестве модели силы сухого некулонова трения принята характеристика с «падающим» участком силы трения от скорости относительного скольжения. Идентификация параметров этой модели реализуется путем измерения, регистрации и последующей компьютерной обработки экспериментальных данных, получаемых в ходе проведения испытаний исследуемых материалов фрикционных пар. Разработанный испытательный стенд позволяет прогнозировать возможность возникновения фрикционных автоколебаний при контактом взаимодействии пар трения и формировать такие пары трения, в которых фрикционные автоколебания будут отсутствовать.

**Ключевые слова:** параметрическая идентификация, сухое некулоново трение**TEST BENCH FOR DYNAMIC PARAMETERS OF DRY UNCOLOUMB FRICTION IDENTIFICATION****Lushnikov B.V.***South-West State University, Kursk, e-mail: bvl\_61@inbox.ru*

This article presents the structure and design of the test bench for identification and investigation of dynamic parameters of dry uncolumn friction causing appearance of friction auto-oscillations. The characteristic with «falling» part of friction force relative sliding speed was accepted as the model of dry uncolumn friction. The identification of parameters of this model is realized trough measurement, registration and following computerized processing of experimental data being obtained in the process of testing of investigated materials. Elaborated test bench allows to forecast the possibility of appearance of friction auto-oscillations at friction pairs interaction and gives the opportunity to form such friction pairs in which friction auto-oscillations will be absent.

**Keywords:** parametric identification, dry uncoloumb friction

Широкое применение механических устройств с контактирующими и трущимися элементами в кинематических парах, например, робототехнических устройств, направляющих суппортов металлообрабатывающего оборудования, мобильных роботов, перемещающихся за счет асимметрии сил трения и других, требуют пристального внимания к исследованию закономерностей динамики систем с сухим трением.

Особый интерес ученых и исследователей в России и за рубежом вызывают условия, причины и последствия возникновения и действия сил сухого некулонова трения, которое в некоторых литературных источниках ещё называют «сухим трением с падающей характеристикой от скорости» или «разрывным некулоновым трением» [1–9]. Это обусловлено тем, что именно такая модель сухого трения позволяет объяснить причины возникновения таких сложных и плохо контролируемых, а значит, и трудно устранимых явлений, как фрикционные автоколебания. В этой связи определение динамических, то есть постоянно изменяющихся во времени и в функции других величин, параметров сухого некулонова трения носит актуальный характер.

Одной из вероятных причин возникновения «падающей» зависимости сухого трения от скорости скольжения является

возможность нормальных колебаний поверхностей трения, что значительно усложняет физическую и математическую модели процесса трения.

Выявление истинных динамических параметров сухого трения, действующего в системе, является важной и актуальной задачей, решение которой позволит эффективнее осуществлять диагностику трущихся и контактирующих узлов машин, делать надежный прогноз динамического поведения их кинематических пар, например, прогнозирование фрикционных автоколебаний, а также обеспечит возможность целенаправленного управления процессом трения.

Стенд для исследования динамических характеристик некулонова трения (рис. 1) состоит из привода линейного перемещения 1, подвижного стола 2, держателя 4, пружин 6, стоек 7, поперечных ограничителей 8 и направляющей 9.

Подвижный стол 2 приводится в движение приводом линейного перемещения (актюатором) 1 (см. рис. 1). Выбор именно такого привода позволяет производить достаточно широком диапазоне постоянной скоростью. На перемещающемся столе 2 установлен образец исследуемого материала 3. Держатель 4, в котором находится контр-образец 5, закрепляется на пружинах

6 между стойками 7, это позволяет ему совершать фрикционные автоколебания. На стойках 7 расположены винты с направляющими для регулировки натяжения пружин 6. Для ограничения боковых (поперечных) перемещений держателя с контр-образцом предусмотрены роликовые направляющие 8 с устройством регулировки. Для измерения и регистрации возникающих фрикционных автоколебаний на держателе 4 установлен

датчик-акселерометр (на рис. 1 не показан). Стенд также оснащен датчиком скорости перемещения стола (он фиксирует значения скорости перемещения стола относительно платформы), датчиком уровня (он необходим для обеспечения горизонтальности платформы), датчиками температуры (для измерения температуры образцов в процессе трения, а также температуры окружающей среды).

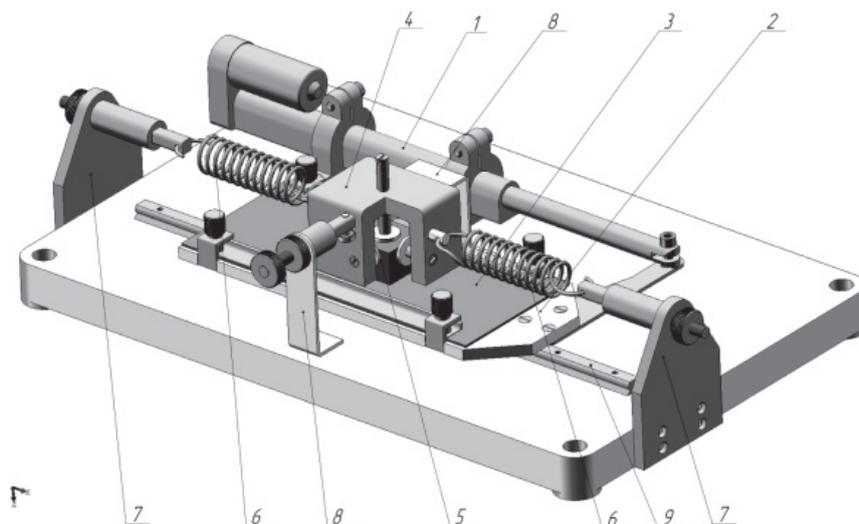


Рис. 1. Общий вид стенда для исследования динамических характеристик некулонова трения

Конструкция направляющей подвижного стола показана на рис. 2. Подвижный стол 1 перемещается по направляющей 2. В качестве направляющей используется рельс, на котором имеются опорные каретки с шариками, обеспечивающие свободное перемещение без люфтов. Каретки (профильные рельсовые направляющие,

производства «Hiwin», Тайвань) имеют четыре замкнутых ряда шариков, что обеспечивает высокую жесткость контакта благодаря оптимизированному полукруглому профилю направляющих и их конструкции. Оптимизированная конструкция механизма вращения шариков придает системе плавный ход.

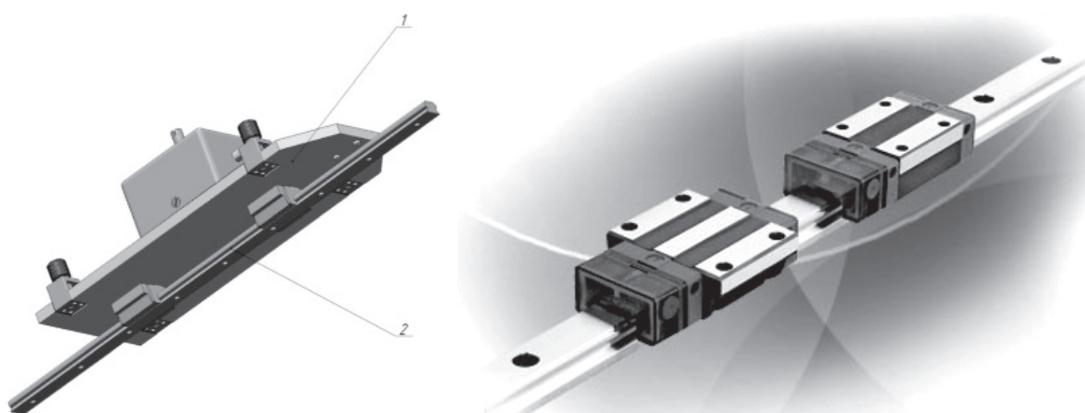


Рис. 2. Устройство направляющей подвижного стола

На подвижную платформу крепится образец испытуемого материала, составляющего фрикционную пару. Размеры этого образца должны быть равны: 110...140 мм на 280...300 мм при высоте 2–5 мм. Обра-

зец укладывается на подвижную платформу и прижимается двумя специальными линейками с помощью упорных винтов.

Конструкция держателя контр-образца представлена на рис. 3. В держателе 1 предус-

моторная система прижимов 2, позволяющая расположить контр-образец 4 в оптимальном положении и контролировать положение центра масс. Винты 3 служат для крепления пружин. Контр-образец фрикционной пары, изготовленный из материала, подлежащего испытаниям, может иметь следующие габаритные размеры: ширина: 20–40 мм; длина: 30–65 мм; высота: 10–50 мм.

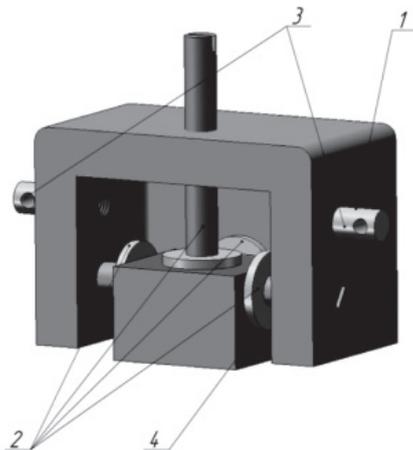


Рис. 3. Устройство держателя контр-образца фрикционной пары

Для управления приводом испытательного стенда разработан блок управления (рис. 4), в котором для реализации программного управления стендом использован модуль Freeduino Through-Hole. Блок управления позволяет задавать необходимую скорость перемещения подвижного стола, осуществлять реверс движения, осуществлять испытания в ручном или автоматическом режимах.

Для измерения, преобразования и оцифровки измеряемых сигналов, в частности,

горизонтального виброускорения держателя, способного совершать фрикционные автоколебания, используется модуль с предварительным усилителем ZET 411 и аналого-цифровым преобразователем «ZET 210 Sigma USB», которые, в свою очередь, передают информационный сигнал в компьютер. В компьютере необходимо инициализировать программное обеспечение, обеспечивающее получение, хранение, визуализацию и обработку измеряемых сигналов. Далее зарегистрированные сигналы передаются в математические пакеты «MatLab» и «MathCAD», в которых происходит дальнейшая их обработка.

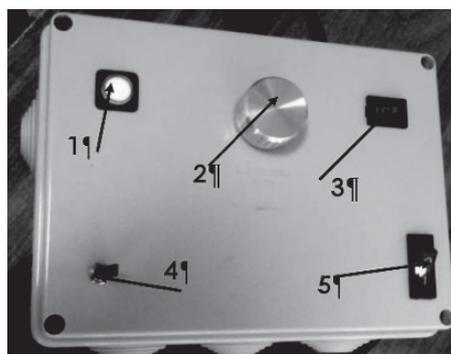


Рис. 4. Внешний вид блока управления: 1 – кнопка включения/выключения драйвера; 2 – ШИМ-регулятор скорости линейного привода; 3 – переключатель ручного/автоматического режимов управления; 4 – регулятор направления движения штока привода; 5 – кнопка включения/выключения блока питания

Общий вид испытательного стенда, а также программно-аппаратный комплекс сбора и предварительной обработки информации представлен на рис. 5.

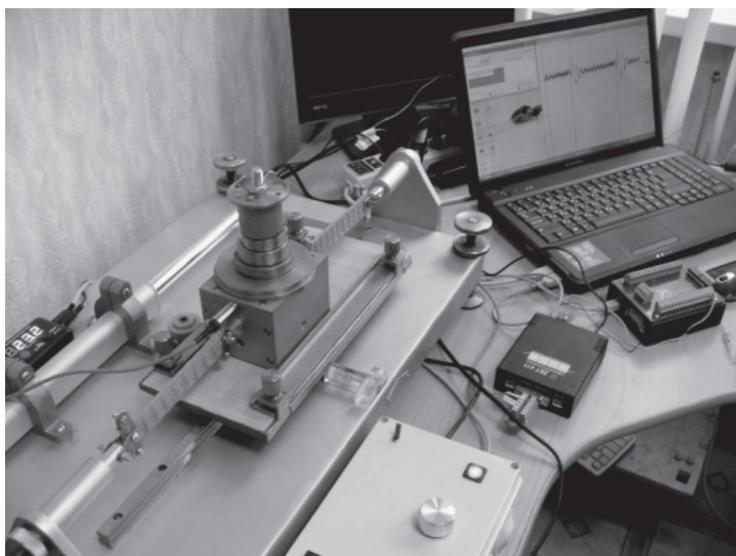


Рис. 5. Внешний вид испытательного стенда

Разработанный испытательный стенд позволяет идентифицировать динамические параметры силы сухого некулонова трения, ответственного за возникновение фрикционных автоколебаний, при испытании материалов контактирующих пар трения, а также позволяет сформировать такие пары трения, при контактных взаимодействиях в которых фрикционные автоколебания будут отсутствовать.

*Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по проблеме «Исследование закономерностей движения и идентификация динамических параметров механических систем с сухим некулоновым трением» (гос. регистр. № П2243).*

#### Список литературы

1. Вейц В.Л. Основы динамики и прочности машин. – Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1978. – 230 с.
2. Геккер Ф. Р. Динамика машин, работающих без смазочных материалов в узлах трения. – М.: Машиностроение, 1983. – 167 с.
3. Ивлев В. И. О влиянии скорости скольжения на силу трения. – М.: Машиноведение. – 1987. – № 2. – С. 98–100.
4. Кариус Д. О влиянии кусочно-линейного и постоянного трения на вынужденные периодические колебания // Труды Американского общества инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. – 1985. – №4. – С. 28–43.
5. Ко Р., Брокли С. Измерение трения и колебаний, вызванных силами трения // Проблемы трения и смазки. – М.: Мир, 1970. – Вып. 4. – С. 9–14.
6. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчётов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
7. Мур Д. Основы и применения трибоники. – М.: Мир, 1978. – 487 с.
8. Пановко Г.Я. Вибрационные транспортно-технологические процессы в системах с разрывным некулоновым трением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Рига, 1988. – 32 с.
9. Цыфанский С.Л., Бересневич В.И., Лушников Б.В. Нелинейная вибродиагностика машин и механизмов. – Рига: Изд-во Рижского техн. ун-та, 2008. – 366 с.

#### References

1. Vejc V.L. *Osnovy dinamiki i prochnosti mashin* [Bases of dynamics and durability of machines]. Leningrad: Leningrad State Univ., 1978. 230 p.
2. Gekker F.R. *Dinamika mashin, rabotajuwih bez smazochnyh materialov v uzlah trenija* [Dynamics of the machines working without lubricants in knots of a friction]. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 167 p.
3. Ivlev V.I. *O vlijanii skorosti skoluzhenija na silu trenija* [About influence of speed of sliding on force of a friction]. Moscow: Mashinovedenie. 1987, no.2. pp. 98–100.
4. Karius D. *O vlijanii kusochno-linejnogo i postojanogo trenija na vynuzhdennye periodicheskie kolebanija*. Trudy Amerikanskogo obwestva inzhenerov-mehnikov. Konstruirovanie i tehnologija mashinostroenija [About influence of a partly-linear and constant friction on the forced periodic vibrations] Transactions of the ASME, 1985, no.4. pp. 28–43.
5. Ko R., Brokli S. *Izmerenie trenija i kolebanij, vyzvannyh silami trenija: Problemy trenija i smazki* [Measurement of a friction and the vibrations caused by forces of a friction: Friction and greasing problems] Moscow: Mir. 1970, no. 4. pp. 9–14.
6. Kragel'skij I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. *Osnovy raschjotov na trenie i iznos* [Bases of calculations on a friction and deterioration] Moscow: Mashinostroenie, 1977. 526 p.
7. Mur D. *Osnovy i primenenija triboniki* [Bases and applications of a tribonics]. Moscow: Mir, 1978. 487 p.
8. Panovko G.Ja. *Vibracionnye transportno-tehnologicheskie processy v sistemah s razryvnym nekulonovym treniem: Avtoref. dis. dokt. tehn. nauk* [Vibrating transport and technological processes in systems with explosive uncolumn friction] Riga: Riga Techn. Univ. 1988. 32 p.
9. Cyfanskij S.L., Beresnevich V.I., Lushnikov B.V. *Ne-linejnaja vibrodiagnostika mashin i mehanizmov* [Nonlinear vibrodiagnostics of machines and mechanisms]. Riga: RTU Publishing House, 2008. 366 p.

#### Рецензенты:

Кобелев Н.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжения и вентиляция» Юго-Западного государственного университета Министерства образования и науки РФ, г. Курск.

Локтионова О.Г., д.т.н., профессор, начальник Управления подготовки и аттестации кадров высшей квалификации Юго-Западного государственного университета Министерства образования и науки РФ, г. Курск.

Работа поступила в редакцию 28.02.2012.