

УДК 621.891

## Термодинамическая модель граничного трения с учетом температурной зависимости вязкости

Ляшенко Я. А., к.ф.-м.н., доц. каф. МСС

Сумский государственный университет  
(ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина)

В процессе трения поверхностей, разделенных слоем смазки толщиной в несколько атомарных диаметров, в трибологической системе устанавливается режим граничного трения. Такой режим имеет принципиальные отличия по сравнению с сухим и жидкостным трением. Если объемные смазки могут находиться в твердой либо жидкой устойчивых термодинамических фазах, граничные смазки образуют твердоподобные и жидкоподобные структуры. Причем они не являются устойчивыми термодинамическими фазами, а представляют кинетические режимы трения, которых может быть несколько. Переходы между кинетическими режимами в процессе движения приводят к прерывистому трению, в котором относительная скорость сдвига трущихся поверхностей не постоянна во времени. Причем плавление смазки может происходить как по сценарию фазового перехода первого, так и второго рода [1].

В предлагаемой работе разработана термодинамическая модель плавления тонкого слоя смазки, заключенного между двумя твердыми поверхностями, основанная на теории фазовых переходов Ландау [1]. В указанной модели учитывается потеря сдвиговой устойчивости, приводящая к жидкоподобной структуре смазки, как за счет термодинамического плавления, так и в результате превышения напряжениями предела текучести (сдвиговое плавление). Работа является продолжением работ [1-3], и посвящена исследованию особенностей граничного режима трения с учетом универсальной температурной зависимости вязкости твердых алканов [4].

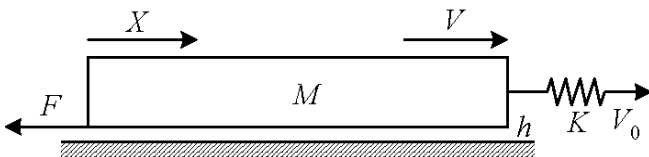
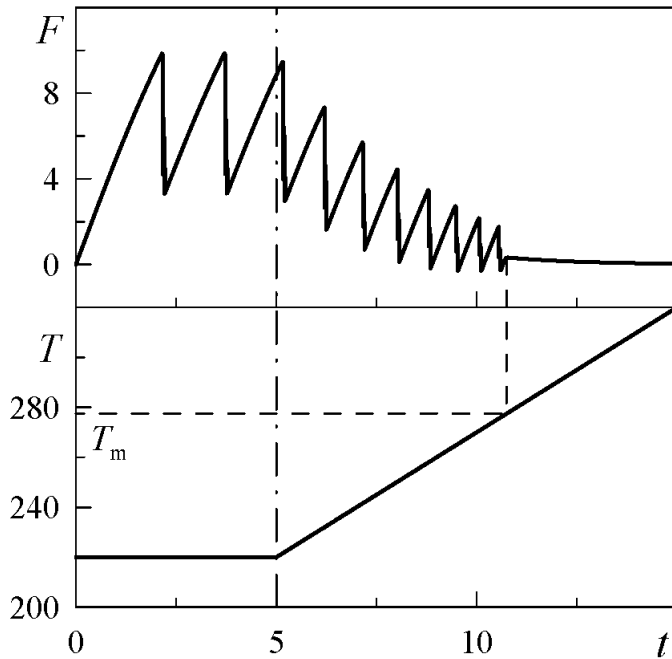


Рис. 1 Схема трибологической системы

На основе построенной модели рассматривается поведение нескольких типов трибологических систем, одна из которых представлена на рис. 1. Здесь  $K$  – жесткость пружины,  $M$  – масса верхнего блока, скользящего по гладкой поверхности, отделенной от него слоем смазки толщиной  $h$ , для описания состояния которой вводится параметр порядка, сводящийся к модулю сдвига смазки. Свободный конец пружины приводится в движение со скоростью  $V_0$ . При скольжении блока по поверхности возникает сила трения  $F$ , замедляющая его движение, которая сильно зависит от режима трения, устанавливающегося в системе. Полная система уравнений для описания процессов трения в указанном случае приведена в работах [2,3]. Однако указанные работы учитывают зависимость эффективной вязкости смазки только от градиента скорости, что вносит в рассмотрение существенные ограничения.

В предлагаемой работе показано, что учет температурной зависимости вязкости приводит к возможности описания новых эффектов, наблюдаемых ранее экспериментально. Например, предсказана возможность продолжительных затухающих колебаний после плавления смазки до установления стационарного режима скольжения. Также показано, что

в прерывистом режиме трения в широком диапазоне параметров реализуется реверсивное движение, когда верхний блок после плавления движется в обоих направлениях.



**Рис. 2** Зависимость силы трения  $F$  (мН) от времени  $t$  (с) (верхняя панель рисунка) при повышении температуры  $T$  (К), графически показанной на нижней панели рисунка

На рис. 2 приведен один из случаев зависимости силы трения от времени при постепенном увеличении температуры смазки. На начальном этапе температура не изменяется, и устанавливается стационарный режим прерывистого движения с пилообразной зависимостью силы трения [2,3]. Поскольку температура здесь имеет малое значение, сила трения всегда положительна, то есть пружина (рис. 1) натянута все время движения, и блок движется в одном направлении. Далее мы начинаем линейно увеличивать температуру («нагревать» смазку), что приводит к уменьшению эффективной вязкости [4], и соответственно уменьшению силы трения, поэтому после превышения температурой определенного значения начинают появляться участки  $F < 0$ . На рисунке также показана температура  $T_m$ , при превышении которой происходит полное плавление смазки, и установление режима стационарного скольжения. Отметим, что температура  $T_m$  зависит от жесткости пружины, масса блока, внутренних параметров смазки, и т.д. Из рисунка видно, что рост температуры смазочного материала приводит к увеличению частоты фазовых переходов, что было показано ранее [2,3]. Однако, по сравнению с этими работами, в предлагаемом рассмотрении с ростом температуры в прерывистом режиме уменьшается кинетическое значение силы трения (минимальное значение  $F$  за период), что является новым результатом.

1. В. Л. Попов // ЖТФ. – 2001. – Т. 71, №5. – С. 100-110.
2. Я. А. Ляшенко // ЖТФ. – 2012. – Т.82, №1. – С. 19-28.
3. Я. А. Ляшенко // ЖТФ. – 2011. – Т.81, №6. – С. 125-132.
4. I. M. Sivebaek, V. N. Samoilov, B. N. J. Persson // PRL. – 2012. - Vol. 108. - P. 036102-4.