

УДК 620.17:519.876.5(045)

О.А. Вишневский

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ИЗНАШИВАНИЯ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫНациональный авиационный университет, e-mail: eco@nau.edu.ua; www.nau.edu.ua.

Разработаны математические модели определения твёрдости материалов трубопроводной арматуры через интенсивность линейного износа при трении. Проанализирована корректность модели определения среднего давления на поверхность трения за время испытаний.

Ключевые слова: методы измерения, давление, твёрдость, линейный износ, трубопроводная арматура, математические модели

Вступление

Моделирование методов измерения механических величин является актуальным направлением в современной науке. Особенно важное значение данные исследования приобретают в связи с развитием авиационной техники, атомной энергетики и нефтеперерабатывающей промышленности, которые требуют решение задач транспортирования и переработки большого количества жидких и газообразных сред. Эти потоки двигаются с изменяющимися скоростями, давлением, направлением, составом, температурой, активностью и агрессивностью.

Исполнительным устройством трубопроводных систем является регулирующая арматура. Регулирование осуществляется с помощью неподвижного седла и плунжера (рис.1), который может двигаться под действием электрических или пневматических приводов по сигналу от системы управления. При этом изменяется площадь проходного отверстия. Таким образом регулируется количество вещества, в котором присутствуют абразивные частицы размером до 1 мкм. Появление этих частиц обусловлена процессами трения и изнашивания в системе трубопроводной арматуры, а также химическим взаимодействием веществ с конструктивными материалами системы [1].

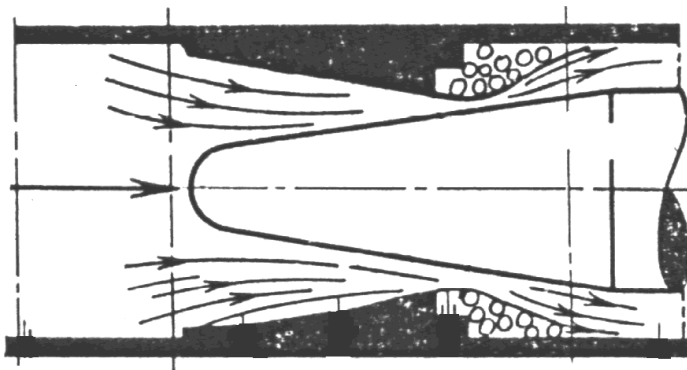


Рис.1. Схема течения в дроссельных проходах регулирующего клапана

Возникла необходимость испытания материалов трубопроводной арматуры на абразивную износостойкость при не жёстко закреплённых частицах. Моделирование распределения среднего давления на поверхность трения с учётом линейного износа и нагрузки во время проведения эксперимента направлено на установление характера зависимости интенсивности линейного износа от давления и от твёрдости материалов. Значительный интерес представляют зависимости интенсивности линейного износа от давления и твёрдости материалов в объёмном виде (в трёхмерных координатах) и аналитическим описанием данного процесса. Результаты исследований направлены на уменьшение количества экспериментов и финансовых затрат на проведение испытаний при определении абразивной износостойкости материалов, повышение точности прогнозирования возможных результатов экспериментов с получением взаимозависимости между параметрами, определяющими износ.

Анализ последних достижений

Моделированием процесса абразивного изнашивания материалов трубопроводной арматуры

при испытаниях занимались известные специалисты в области трибологии. Модель [1] определяет части поверхности плунжера испытывающие наибольший износ, связанный с попаданием на него абразивных частиц. Моделирование распределения давления на поверхность трения при фиксированном значении величины линейного износа и за всё время проведения эксперимента выполнено в работе [2]. Модель [2] показала результат взаимного влияния ограниченного числа параметров, задействованных при испытаниях на износостойкость материалов с не жёстко закреплёнными абразивными частицами. В данной модели не рассматривались такие важные параметры как давление на поверхность трения и твёрдость материалов. Зависимость интенсивности линейного износа от смоделированного среднего давления на поверхность трения представлена в работе [3]. Влияние твёрдости материалов на интенсивность линейного износа при испытаниях на абразивную износостойкость показано в работе [4]. В работе [5] выполнено моделирование методов измерения механических показателей изнашивания (распределения давления по поверхности трения, средней площади поверхности трения, величины объёмного износа). Вместе с тем в указанных работах отсутствуют результаты практического использования моделей.

Постановка задачи

Испытания материалов на абразивную износостойкость, при не жёстко закреплённых частицах, является неотъемлемой составляющей прогнозирования сроков работы соответствующих узлов трения.

Поэтому были поставлены следующие задачи.

- разработать математические модели связывающие твёрдость материалов с интенсивностью линейного износа при трении о не жёстко закреплённые абразивные частицы.
- проанализировать работу модели определения среднего давления на поверхность трения за всё время испытаний.
- на основании экспериментальных данных абразивного износа материалов и смоделированного давления на поверхность трения установить зависимости интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения и твёрдости стали 45.
- построить графическую и аналитическую зависимость интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения и твёрдости стали 45.

Результаты исследований

Экспериментальные исследования проводились на установке разработанной в Национальном авиационном университете на кафедре машиноведения. Образцы размером 30x30 изготовлены из стали 45. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость интенсивности линейного износа стали 45 и среднего давления на поверхность трения от твёрдости и линейного износа

| Твёрдость, НВ | Путь трения, м | Линейный износ, м | Среднее давление на поверхность трения, м | Интенсивность линейного износа относительно пути трения |
|---------------|----------------|----------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 174 | 30 | $1.15 \cdot 10^{-5}$ | $2.897148 \cdot 10^6$ | $3.667 \cdot 10^{-7}$ |
| | 60 | $1.77 \cdot 10^{-5}$ | $2.335123 \cdot 10^6$ | $2.950 \cdot 10^{-7}$ |
| | 90 | $2.33 \cdot 10^{-5}$ | $2.035155 \cdot 10^6$ | $2.589 \cdot 10^{-7}$ |
| | 120 | $2.82 \cdot 10^{-5}$ | $1.849834 \cdot 10^6$ | $2.350 \cdot 10^{-7}$ |
| | 150 | $3.50 \cdot 10^{-5}$ | $1.704784 \cdot 10^6$ | $2.213 \cdot 10^{-7}$ |
| 269 | 30 | $7.1 \cdot 10^{-6}$ | $3.687286 \cdot 10^6$ | $2.372 \cdot 10^{-7}$ |
| | 60 | $1.14 \cdot 10^{-5}$ | $2.909829 \cdot 10^6$ | $1.908 \cdot 10^{-7}$ |
| | 90 | $1.52 \cdot 10^{-5}$ | $2.519904 \cdot 10^6$ | $1.689 \cdot 10^{-7}$ |
| | 120 | $1.82 \cdot 10^{-5}$ | $2.302814 \cdot 10^6$ | $1.520 \cdot 10^{-7}$ |
| | 150 | $2.15 \cdot 10^{-5}$ | $2.118668 \cdot 10^6$ | $1.431 \cdot 10^{-7}$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|-----|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 578 | 30 | $3.3 \cdot 10^{-6}$ | $5.408705 \cdot 10^6$ | $1.104 \cdot 10^{-7}$ |
| | 60 | $5.4 \cdot 10^{-6}$ | $4.228102 \cdot 10^6$ | $0.900 \cdot 10^{-7}$ |
| | 90 | $7.0 \cdot 10^{-6}$ | $3.713534 \cdot 10^6$ | $0.778 \cdot 10^{-7}$ |
| | 120 | $8.6 \cdot 10^{-6}$ | $3.350281 \cdot 10^6$ | $0.718 \cdot 10^{-7}$ |
| | 150 | $1.01 \cdot 10^{-5}$ | $3.091464 \cdot 10^6$ | $0.673 \cdot 10^{-7}$ |

Результаты испытаний представлены в виде графиков на рис.2,3,4, полученных с помощью системы «Matlab».

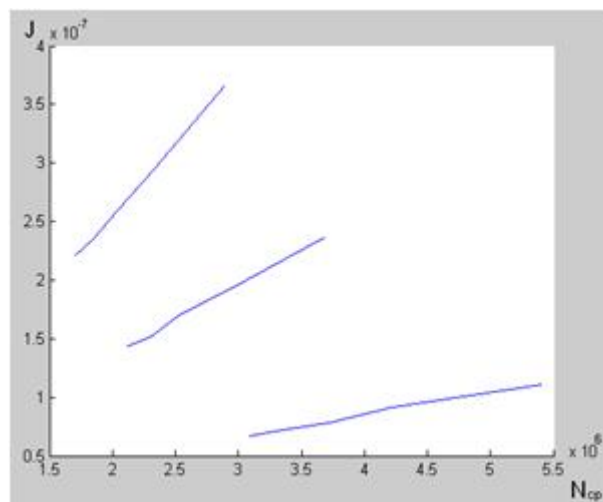


Рис.2. Зависимость интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения при испытаниях стали 45 различной твёрдости на абразивную износостойкость с не жёстко закреплёнными частицами.

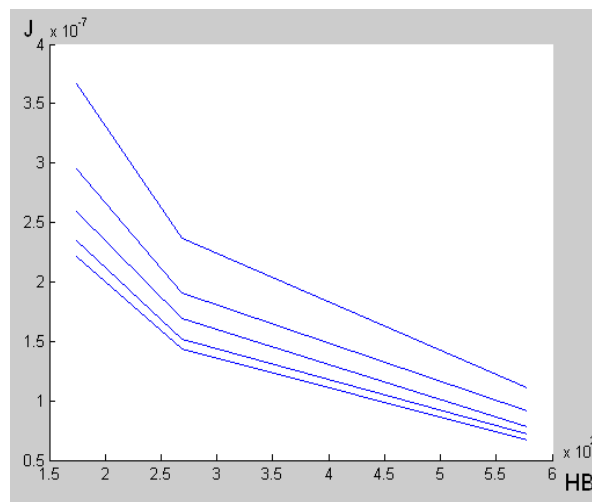


Рис 3. Интерполированная зависимость интенсивности линейного износа от твёрдости при испытаниях стали 45 различной твёрдости на абразивную износостойкость для пути трения 30, 60, 90, 120, 150 м. (соответственно сверху вниз на графике).

Разработанные математические модели характеризуют взаимное влияние полученных результатов на конечный результат износа и на уровень износостойкости материалов при трении о не жёстко закреплённые абразивные частицы с переменными твёрдостью и давлением на поверхность трения.

Аналитическая зависимость линейного износа от среднего давления на поверхность трения при твёрдостях 174 HB, 269 HB, 578 HB найдены с помощью системы «Mathcad» и имеют вид (1), (2), (3) соответственно.

$$I_h = 8.873823 \cdot 10^{-9} + 1.23 \cdot 10^{-13} \cdot N_{cp} \quad (1)$$

$$I_h = 1.4930045 \cdot 10^{-8} + 6.0 \cdot 10^{-14} \cdot N_{cp} \quad (2)$$

$$I_h = 8.762036 \cdot 10^{-9} + 1.9 \cdot 10^{-14} \cdot N_{cp} \quad (3)$$

Как видно из формы графиков и полученных аналитических выражений, интенсивность линейного износа зависит линейно от среднего давления на поверхность трения при испытаниях стали 45 различной твёрдости. Данный факт имел подтверждение в работе (4) для стали 30ХГСА.

Аналитическая зависимость аппроксимированного линейного износа от твёрдости стали 45 при пути трения 30, 60, 90, 120, 150 м найдены с помощью системы «Mathcad» и имеют вид (4), (5), (6), (7), (8) соответственно.

$$I_h = 1.3025 \cdot 10^{-11} + \frac{6.380347601 \cdot 10^{-5}}{HB} \quad (4)$$

$$I_h = 1.496868 \cdot 10^{-11} + \frac{5.1033906662 \cdot 10^{-5}}{HB} \quad (5)$$

$$I_h = 3.12349 \cdot 10^{-10} + \frac{4.5080515579 \cdot 10^{-5}}{HB} \quad (6)$$

$$I_h = 1.201126 \cdot 10^{-9} + \frac{4.065285588 \cdot 10^{-5}}{HB} \quad (7)$$

$$I_h = 8.40914 \cdot 10^{-10} + \frac{3.8337531825 \cdot 10^{-5}}{HB} \quad (8)$$

Используя систему «Matlab» и данные таблицы 1, геометрически смоделированные зависимости интенсивности линейного износа от твёрдости стали 45 и среднего давления на поверхность трения, приведены на рис.5 (интерполированная) и рис.6 (аппроксимированная).

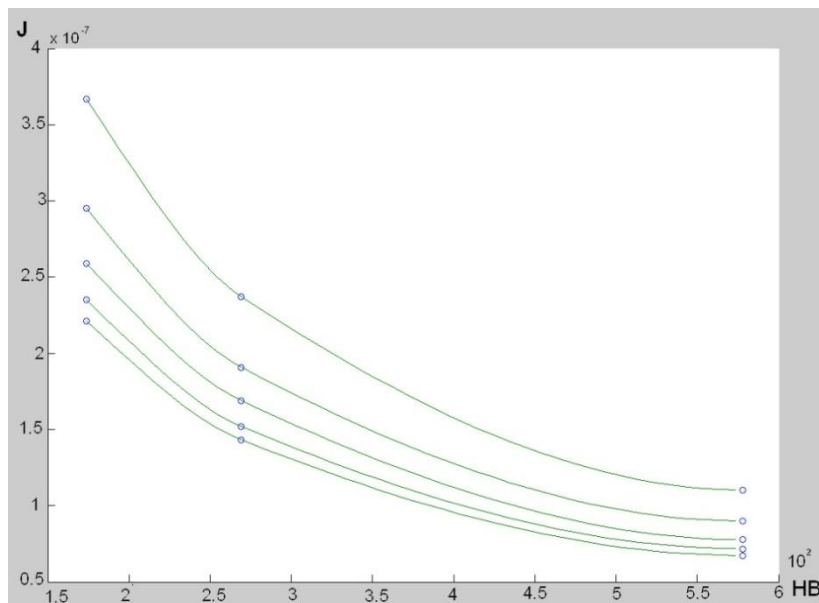


Рис 4. Аппроксимированная зависимость интенсивности линейного износа от твёрдости при испытаниях стали 45 различной твёрдости на абразивную износостойкость для пути трения 30, 60, 90, 120, 150 м. (соответственно сверху вниз на графике).

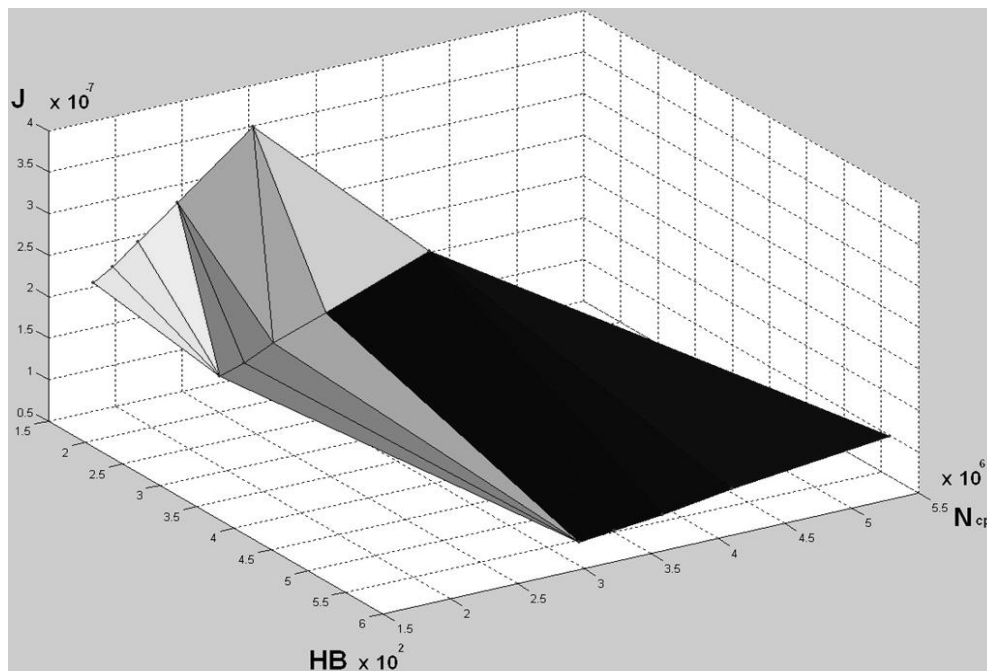


Рис 5. Интерполированная зависимость интенсивности линейного износа от твёрдости и среднего давления на поверхность трения.

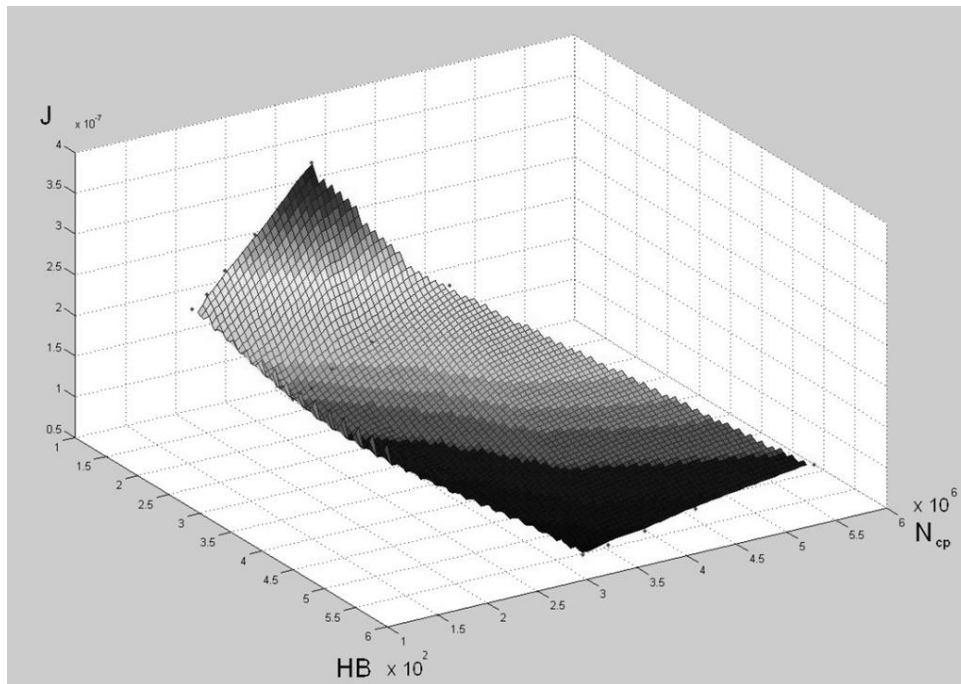


Рис 6. Аппроксимированная зависимость интенсивности линейного износа от твёрдости и среднего давления на поверхность трения.

Выводы

Установлен экспериментально линейный характер закономерности интенсивности линейного износа материалов трубопроводной арматуры от среднего давления на поверхность трения, что позволяет аналитически определять данные величины. Построенная модель зависимости интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения и от твердости поверхности материала показывает зависимость линейного износа при различной твердости материала и давления на пути трения.

Список литературных источников

1. Вишне夫斯基 О.А. Модель залежності величини абразивного зносу від лінійного // Вісн. НАУ. 2004. №1 – С.125 – 129.
2. O.A. Vyshnevskiy, A.S. Davydov Determination of average loading and pressure on the friction surface – the base of simulating the process of materials test for abrasive wearing resistance // Вісн. Київського Університету 2008. №2. С.73 – 76.
3. Вишне夫斯基 О.А. Моделирование процесса абразивного изнашивания материалов при испытаниях // Проблемы трибологии. 2008. №1. С.57 – 65.
4. Вишне夫斯基 О.А. Залежність результатів абразивного зносу від твердості матеріалів // Вісн. НАУ. – 2008. – №1.– С.76 – 79.
5. Билокур И.П., Вишне夫斯基 О.А. Моделирование методов определения механических показателей изнашивания // Автошляховик України. 13'2010. – Окремий випуск. – С.90 – 92.