

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОЙ СРЕДЫ

Александр Витальевич Скрылев

*Студент 6 курса,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.А. Деулин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

Производство современных изделий в бурно развивающейся электронной технике и ядерных технологиях включает в себя методы обработки и получения необходимой информации о состоянии технологической системы, а также десятки технологических операций, требующих специальных измерительных приборов и методов. В настоящее время каталоги фирм в области вакуумной техники демонстрируют высочайшее разнообразие приборов для измерения остаточного давления. Ряд предлагаемых на рынке приборов имеет широкий (до 10 порядков) диапазон измерения остаточного давления, необходимый для осуществления технологического процесса в вакууме. Техническое решение подобных приборов заключается в объединении в одном корпусе нескольких манометров, обладающих узким (до 5-ти порядков) диапазоном измеряемых давлений и основанных на разных физических принципах (жидкостные, деформационные, тепловые, радиационные, компрессионные, вязкостные, ионизационные манометры и т.д.) [1,2].

В современных технологиях нанесения тонких пленок, сборки фотоэлектронных приборов (ФЭП), в технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), в установках для экспериментальных термоядерных исследований типа «Токамак» и др. важно знать значение коэффициента покрытия поверхностей сорбатом  $\Theta$  для определения степени чистоты поверхности, поскольку этот параметр является критичным, но для его прямого измерения в настоящее время не создано приборов, а рассчитывается он по известным уравнениям сорбции [3,4]: Генри, Ленгмюра, Фрейндлиха, БЭТ и др. Проблема использования подобного расчета заключается в том, что оценку коэффициента покрытия производят удаленно от исследуемой поверхности как по времени, так и по расстоянию. На основе предлагаемой теории «сухого трения» возможно создание приборов, позволяющих решить описанные проблемы в области вакуумной техники.

В основе теории «сухого трения» лежит корреляционная зависимость между такими параметрами как остаточное давление, температура, влажность, газовый состав в камере и количеством сорбированных молекул на поверхностях, обращенных внутрь вакуумной камеры. Ленгмюром показано, что поверхность стекла в атмосфере покрыта пленкой, состоящей из 50-55 монослоев сорбированной воды [5]. В результате откачки воздуха из вакуумной камеры количество сорбата уменьшается, вследствие чего изменяется коэффициент трения между контактирующими поверхностями [6]. Теоретические исследования показывают, что [7]:

- в области давлений от  $10^1$  до  $10^5$  Па доминирует «капиллярное» трение;
- в области давлений от  $10^0$  до  $10^1$  Па сочетается «капиллярное» и «вязкостное» трение;
- в области давлений от  $10^{-1}$  до  $10^0$  Па доминирует «вязкостное» трение;
- в области давлений от  $10^{-7}$  до  $10^{-1}$  Па доминирует «адгезионное» трение;
- в области давлений  $P < 10^{-7}$  Па доминирует «когезионное» трение.

Существующие в настоящее время критерии различных степеней вакуума [1] не согласованы между собой и до сих пор не сформулированы критерии ультравысокого вакуума [8].

На основании теоретических исследований можно предложить следующее деление вакуума по степеням:

$\Theta \geq 3$  соответствует давлению от  $10^0$  до  $10^5$  Па – низкий вакуум;

$3 > \Theta \geq 2$  соответствует давлению от  $10^{-1}$  до  $10^0$  Па – средний вакуум;

$2 > \Theta \geq 1$  соответствует давлению от  $10^{-3}$  до  $10^{-1}$  Па – высокий вакуум;

$1 > \Theta \geq 0,001$  соответствует давлению от  $10^{-7}$  до  $10^{-3}$  Па – сверхвысокий вакуум;

$\Theta < 0,001$  соответствует давлению ниже  $10^{-7}$  Па – ультравысокий вакуум.

### Литература

1. Розанов Л. Н. Вакуумная техника: Учебник для вузов. — М.: Высш. школа, 1982.—207 с.
2. Saul Dushman, Scientific Foundations of Vacuum Technique, New York-London, John Willey & Sons, Inc., 1962
3. Дushman С. Научные основы вакуумной техники. М.Мир,1964, - 715 с.
4. Redhead P.A., Hobson J.P. Kornelson E.V. The Physical basis of ultrahigh vacuum. Chapman and Hall LTD London 1968 – 776 p.p.
5. Scherge M., Li X., Schaefer J.A. The effect of water on friction of MEMS // Tribology Letters. – 1999. – №6. – P.215-220.
6. Deulin E.A., Gatsenko A.A., Loginov B.A. Friction force of SiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> as a function of residual pressure // Surface Science. – 1999. – №433-435. – P.288-292.
7. Патент РФ №2316744 Е.А. Деулин. Способ измерения вакуума / Б.И.-10.02.2008
8. D.A. Redhead The Ultimate Vacuum, 14 International Vacuum Congress IVC-14, Book of Abstracts, Birmingham, U.K., 31 Aug.-4 Sept. 1998-P.1.