

Капля магнитной жидкости в измерительных системах

Баштовой В. Г., Рекс А. Г., Рекс П. А.,
Гришук Е. А., Никандров Е. С.

Белорусский национальный технический университет

Жидкостные измерительные системы силового воздействия основаны на использовании гравитационных сил для противодействия измеряемой силе. К таким измерительным системам можно отнести датчики давления, акселерометры, датчики угла наклона, в которых гравитационная сила компенсирует силу давления либо инерционную силу. Неоспоримым преимуществом данных систем является высокая чувствительность. Так, жидкостные микроманометры могут использоваться для измерения малых давлений, а также малых скоростей газовых потоков.

Настоящая работа направлена на поиск путей повышения чувствительности жидкостных измерительных систем.

Рассматривается статическое равновесие капли магнитной жидкости с постоянным магнитом внутри в криволинейной в вертикальной плоскости цилиндрической трубке (рис. 1).

Цилиндрическая трубка диаметром D_T изогнута в вертикальной плоскости с радиусом закругления R . Один конец трубки (верхний) сообщается с атмосферой, а другой (нижний) – с источником избыточного давления, создающим силу давления F на каплю.

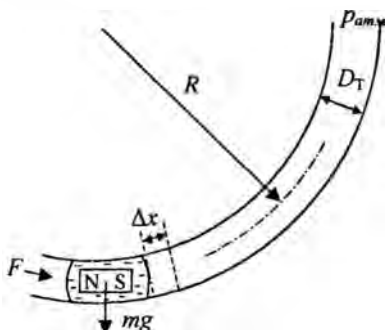


Рис. 1. Геометрия задачи

Магнит притягивает к себе магнитную жидкость и покрывается ею со всех сторон. В результате образуется капля магнитной жидкости, характеризуемая высокой устойчивостью и способная перемещаться с малым трением как единое целое при силовых воздействиях. При достаточно большом объеме магнитной жидкости капля полностью герметично перекрывает сечение трубки и является подвижным жидким поршнем.

В начальный момент, когда давления по обе стороны капли равны друг другу, она под действием силы тяжести находится в нижней части трубки. При повышении давления p на каплю действует сила давления F , и капля начинает перемещаться вдоль трубки вверх на некоторое расстояние Δx . Поскольку капля сместилась из положения равновесия, то появляется составляющая силы тяжести F_{τ} , направленная вдоль трубки и противоположно силе давления F . Движение капли осуществляется до тех пор, пока сила давления не уравновешивается продольной составляющей силы тяжести. Поскольку трубка криволинейная, то с увеличением перемещения Δx растет и величина F_{τ} . Составляющая силы тяжести F_{τ} определяется положением капли в трубке. Следовательно, каждому значению силы давления соответствует вполне определенное равновесное положение капли. Очевидно, что максимальное линейное перемещение капли Δx_{\max} соответствует предельному угловому перемещению, равному $\pi/2$, а пределом F_{\max} действующей силы давления является сила тяжести капли жидкости с магнитом.

Для экспериментов использованы самарий-кобальтовые магниты, магнитные жидкости на основе трансформаторного масла ММТр-31 и керосина МК-28 и МК-37 с намагниченностями насыщения 31,2, 28 и 37,1 кА/м и плотностями соответственно 1274, 1158 и 1270 кг/м³.

Использованы стеклянные трубки с внутренними диаметрами от 4 до 8 мм, радиусами закругления R трубок: 25, 50, 100 и 150 мм.

В экспериментах давление создавалось поршневой системой и измерялось микроманометром типа ММН с допустимой погрешностью показаний $\pm 0,5\%$. Величина перемещения капли жидкости в трубке определяется визуально микроскопом МИ-1.

Под действием силы давления капля смещается из положения равновесия. Ее угловое перемещение не зависит от кривизны канала R , поскольку противодействующая гравитационная сила F_g одинакова для всех каналов при равных угловых перемещениях. Линейное же перемещение капли Δx определяется радиусом изгиба канала. Так, например, чувствительность капли к действию давления $\Delta x/\Delta p$ для канала с $R=150$ и 25 мм составляет соответственно $0,8$ и $0,12$ мм/Па. Особенно чувствительна капля к воздействию давлений, когда ее угловое смещение близко к 90° . Тогда величина $\Delta x/\Delta p$ достигает значений порядка 2 мм/Па.

Величина линейного перемещения капель зависит от их массы. Это связано с гравитационным механизмом уравнивающей действующей на каплю силы давления. С уменьшением массы капли уменьшается противодействующая силе давления составляющая силы тяжести капли. В результате повышается чувствительность капли к действию давления (рис.2.), которая для капли массой 210 мг достигает 1 мм/Па на начальном участке зависимости. Для сравнения, чувствительность микрометра типа ММН со спиртовым заполнением не превышает $0,6$ мм/Па.

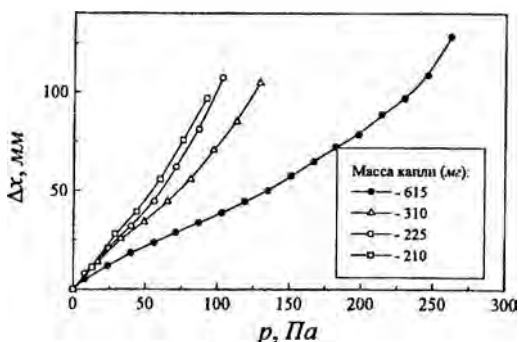


Рис. 2. Зависимость линейного перемещения капли магнитной жидкости от давления в криволинейных каналах

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.