

інструментального характеру, а освіта, переставши бути елітарним явищем, дедалі більше орієнтується на потреби ринку праці та технологічного розвитку. Водночас гумбольдтівська модель минулого прищепила дуже важливий елемент європейській освіті - а саме автономізацію і викладача, і студента.

В Україні, де система освіти досі залежить від планів, що визначаються „нагорі” – в уряді, міністерстві, керівництві університету, деканаті – залежно від рівня рішення – перехід до Болонської системи може призвести до болючих наслідків – а саме до того, що попри численні декларації справжня свобода викладання та навчання так і залишиться примарою...

Список літератури

1. Вища школа – К.: Вип. 1-6, 2007.
2. Вища школа – К.: Вип. 1-6, 2008.

В статье рассматривается гумбольдтская модель университета и проблемы украинского высшего образования.

The article deals with Humboldt university model and the problems of the Ukrainian higher education.

Одержано 15.02.10

УДК 551.594.253:537.241

С. В. Лопатенко, доц., канд. физ.-мат. наук

Кировоградский национальный технический университет

Зарядка монодисперсных капель при дроблении жидкости как метод определения её поверхностного потенциала

Описан экспресс - метод определения поверхностного потенциала растворов по величине заряда капли при временах менее 10^{-3} с. Описанная методика была реализована с использованием генератора монодисперсных капель (ГМК) с вибрирующей иглой. Изложена модель механизма зарядки капель при дроблении жидкости. Показано, что величина заряда капли коррелирует с величиной поверхностного потенциала раствора $\Delta\chi$.

жидкость, электролит, монодисперсные капли, дробление, зарядка, поверхностный потенциал, электрическое поле

Измерение неравновесного поверхностного потенциала – один из наиболее информативных способов изучения строения и состава подвижной границы раздела жидкость – воздух.

До сих пор подобного рода исследования проводили в основном для равновесных состояний [1-4] и только немногие – в отсутствие равновесия [5, 6], измеряя поверхностный потенциал струи жидкости в воздухе на участке неустановившегося равновесного значения методом вибрирующего конденсатора [6]. К сожалению, определение поверхностного потенциала известными методами связано со значительными экспериментальными и техническими трудностями. Кроме того, они

весьма чувствительны к внешним электрическим полям. Цель работы – разработать экспресс – метод определения потенциала на границе раздела фаз жидкость – газ.

Двойной слой, как для чистой воды, так и для водных растворов электролитов образован слоем автоориентированных дипольных молекул воды и связанными с ними ионным двойным электрическим слоем (ДЭС) [1,3,4].

Причина возникновения на поверхности раздела жидкость – газ дипольного двойного слоя лежит в полярной природе молекул воды. Молекулы воды обладают электрической асимметрией, в результате чего возникает преимущественная ориентация диполей в поверхностном поле, обусловленная диполь – квадрупольными и мультипольными взаимодействиями. Поверхностные молекулы воды предпочтительно ориентируются протонами в глубь жидкости [3].

Под действием поля ориентированных диполей, находящиеся в жидкости анионы притягиваются положительными полюсами диполей, образуя отрицательную обкладку ионного ДЭС [4]. Связь анионов с диполями является достаточно сильной, и эта обкладка является неподвижной. Вторая обкладка ионного ДЭС образована катионами, которые экранируют заряд анионов. С поверхностью раздела катионы имеют более слабую связь, поэтому они могут свободно двигаться в растворе, образуя подвижную обкладку двойного слоя, получившую название диффузной. Формирование диффузного слоя определяется двумя противоположными процессами: притяжением ионов к поверхности за счет электростатического взаимодействия, в связи, с чем концентрация их у поверхности должна возрастать, и оттоком ионов из области высоких концентраций, в результате диффузии.

Поэтому ионный ДЭС оказывается размытым и его толщину можно оценить по формуле, предложенной Я.И.Френкелем:

$$\delta = \sqrt{D \cdot \tau},$$

где D - коэффициент диффузии ионов, м/с;

τ - время релаксации ионов в растворе.

В соответствии с моделью о структуре поверхностного слоя жидкости сформировались представления о поверхностном потенциале на границе жидкость – газ.

Поверхностный потенциал, возникающий на границе раздела жидкость – газ, включает в себя скачок потенциала в дипольном слое и скачок потенциала в ионном слое.

Строгое определение величины поверхностного потенциала невозможно, так как никаким термодинамическим методом нельзя определить разность потенциалов двух точек, находящихся в различных фазах [4]. Опыт дает только величине $\Delta\chi = \chi_2 - \chi_1$, характеризующую изменение поверхностного потенциала χ при изменении состава поверхностного слоя.

Адсорбция растворенного вещества на поверхности раствора изменяет разность потенциалов между раствором и воздухом [7]. Введение ионогенных примесей сопровождается двумя основными эффектами:

- адсорбцией ионов с изменением структуры ионного двойного слоя;
- сжатием диффузного ионного слоя при повышении ионной силы раствора.

В области концентрацией больше $10^{-3} - 10^{-2}$ моль/л влияние на поверхностный потенциал раствора начинает определяться плотной частью ионного двойного слоя, где существенную роль играет адсорбция, а роль диффузного слоя незначительна.

Экспериментально измеренные значения потенциала чистой воды отличаются по величине и по знаку. Так, полный скачок потенциала на границе вода - воздух по данным Фрумкина [3], согласно которым молекулы воды ориентированы отрицательными полюсами к границе, приблизительно равен 0,1 В. Близкое значение

(0,26 В) получено Чалмерсом и Пасквиллом [8]. Фольхардт и Вюстнек [9] приводят значение 0,12 – 0,13 В. Эти расхождения, по-видимому, связаны с чистотой и условиями опыта, так как двойной слой чрезвычайно чувствителен к ничтожно малым примесным добавкам различных веществ [1].

Джарвис [10] измерял величину поверхностного потенциала в зависимости от концентрации электролитов и получил, что с увеличением концентрации соли в растворах NaJ, KJ, NaBr, LiCl поверхностный потенциал увеличивался в отрицательную сторону почти линейно. Знак и величина поверхностного потенциала определяются, главным образом, природой аниона, катион вносит лишь небольшой вклад.

1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для исследования поверхностного потенциала жидкости в отсутствие внешнего электростатического поля предложен метод [11], состоящий в зарядке капель при распаде нестационарных перемычек жидкости, периодически вытягиваемых иглой в течении времени t , определяемом соотношением

$$4 \varepsilon \varepsilon_0 \rho \leq t < 10^{-3}, \text{ с} \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость жидкости;

ρ – удельное объемное сопротивление диспергируемой жидкости;

$\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная,

а разрыв перемычки вблизи иглы осуществляют при условии

$$h/\delta \gg 1, \quad (2)$$

где h – толщина слоя жидкости, остающейся на конце иглы в момент разрыва перемычки, равная $(4 - 6) \cdot 10^{-4} \text{ м}$;

δ – толщина двойного электрического слоя на границе жидкость – игла.

$$\text{Для симметричного электролита } \delta = 1,4 \cdot 10^{-10} \sqrt{\frac{\varepsilon T}{c}},$$

где T – температура раствора;

c – концентрация электролита в растворе.

При $\varepsilon = 81$, $T = 293 \text{ К}$ и $c = 10^{-3} \text{ моль/л}$, $\delta = 6,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

Неравенство (1) задаёт временной интервал, в котором заряд капель практически постоянен и достигает максимального значения. Второе неравенство задает условие при котором контактная разность потенциалов на границе жидкость – твердое тело (игла) не оказывает влияния на процесс зарядки.

Выбор данного метода образования монодисперсных капель основан на том, что он позволяет просто, эффективно и с высокой точностью решать поставленную задачу и однозначно показать, что зарядка капель обусловлена поверхностными свойствами раствора, физико-химическими свойствами границы раздела раствор – воздух, а не такими факторами, как контактная разность потенциалов между раствором и иглой или потенциалом течения.

Для решения поставленной задачи был разработан генератор монодисперсных капель (ГМК), который отвечает следующим требованиям:

- создаёт капли, размер и время образования которых можно менять в широких пределах;
- генерирует монодисперсные капли в течение времени, необходимого для проведения эксперимента;
- хорошая воспроизводимость результатов;
- простота эксплуатации.

Определение величины заряда осуществлялось на экспериментальной установке, схема которой описана в работе [12].

Основным узлом установки является устройство, генерирующее капли с помощью вибрирующей иглы (рис.1). Идентичность последовательных погружений иглы в жидкость дает возможность получать ряд следующих друг за другом одинаковых капель с частотой, равной частоте вибрации иглы, то есть, частоте питающего напряжения. Основная конструктивная идея заключалась в объединении в единый сменный блок наиболее чувствительных к взаиморасположению элементов – вибрирующей иглы и капилляра для жидкости. Этот блок находится в фиксированном положении относительно электромагнита, возбуждающего вибрацию иглы на заданной частоте и легко сменяется с корпусе генератора. Такая конструкция генератора капель позволила достичь высокой воспроизводимости результатов без дополнительной надстройки всей системы.

Основной блок генератора содержит корпус 1, выполненный в виде толстостенного цилиндра, канал для подачи воздуха 2, через который может быть подан газ для подхватывания капель, гнездо для сменного модуля 3, электромагнит 4 с металлическим сердечником 5. Электромагнит питается напряжением переменной частоты от генератора сигналов звуковой частоты. Сменный модуль состоит из цилиндрического корпуса 6, капилляра для исследуемой жидкости 9, гибкой металлической пластины 7 и иглы 8. В корпусе генератора имеются отверстия для освещения и наблюдения за рабочей зоной, в которой образуются капли.

Эксперимент проводили следующим образом. Заполняли раствором капилляр и включали низкочастотный генератор электрических сигналов, питающий электромагнит, переменное поле которого приводит в колебание пластинку с иглой. Изменяя величину питающего напряжения, добивались образования стабильной струи

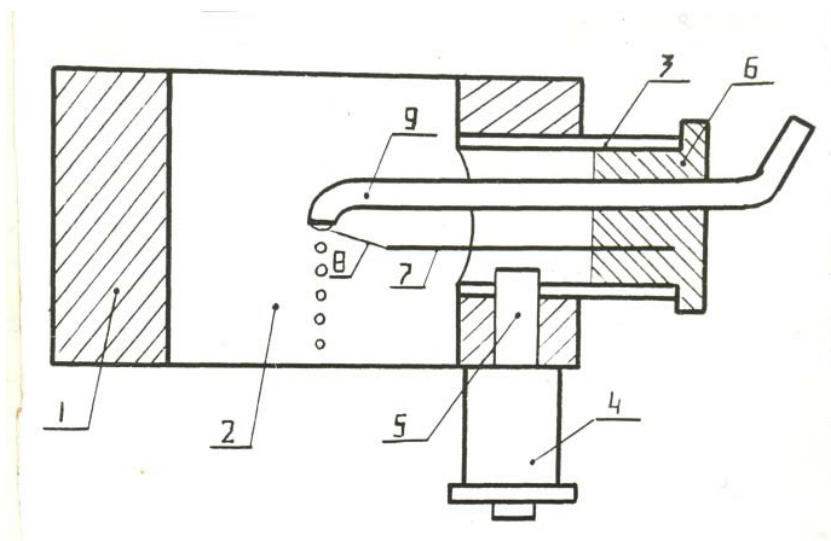
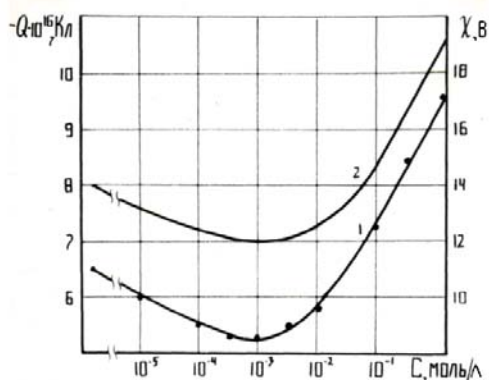


Рисунок 1 – Схема генератора монодисперсных капель

моно дисперсных капель, а контроль над процессом их образования осуществляли с помощью микроскопа при стробоскопическом освещении. Для определения величины заряда цепочка капель от ГМК направлялась в электрически изолированный сборник (цилиндр Фарадея), ток на землю с которого измерялся чувствительным электрометром типа ВК2-16. Величину заряда одной капли находили делением величины тока на число капель в единицу времени, попадающих в сборник. Ошибка при измерении зарядов капель водных растворов электролитов в процессе их генерирования не превышала 2 – 3 %. Размер капель определяли с помощью микроскопа после осаждения их на подложку, покрытую тонким слоем вазелина и трансформаторного масла.

2. МЕХАНИЗМ ЗАРЯДКИ КАПЕЛЬ

При дроблении полярных электропроводных жидкостей в отсутствие внешних электрических полей в зоне дробления основным фактором определяющим зарядку капель является потенциал границы раздела фаз жидкость – газ [3,11]. Так, ход зависимости $Q = Q(c)$ I-I-валентных электролитов (рис.2) согласуется с ходом зависимости поверхностного потенциала от концентрации аналогичного типа электролитов. При переходе от дистиллированной воды к растворам электролитов потенциал на границе жидкость – газ становится меньше по абсолютной величине [3]. Дальнейшее повышение концентрации электролита приводит к увеличению абсолютной величины потенциала. Причем, зависимость $\chi = \chi(c)$ имеет минимум в той же области концентраций, что и функция $Q = Q(c)$.

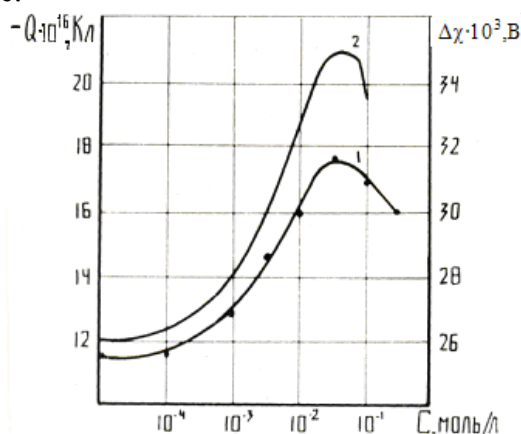


1 – зависимость заряда капель от концентрации NaCl;

2 – зависимость поверхностного потенциала от концентрации NaCl

Рисунок 2 – Изменение заряда и потенциала I-I – валентного электролита

Присутствие в растворе ионов более высокой валентности приводит к усложнению термодинамических свойств растворов. Поэтому ход зависимости (рис.3) $Q = Q(c)$ для 2-I и 3-I – валентных электролитов существенно отличается от хода аналогичной зависимости для I-I – валентных электролитов и полностью отражает изменение величины поверхностного потенциала от концентрации электролита в исследованном диапазоне.



1 – зависимость заряда капель от концентрации $Pb(NO_3)_2$;

2 – зависимость поверхностного потенциала от концентрации $Pb(NO_3)_2$

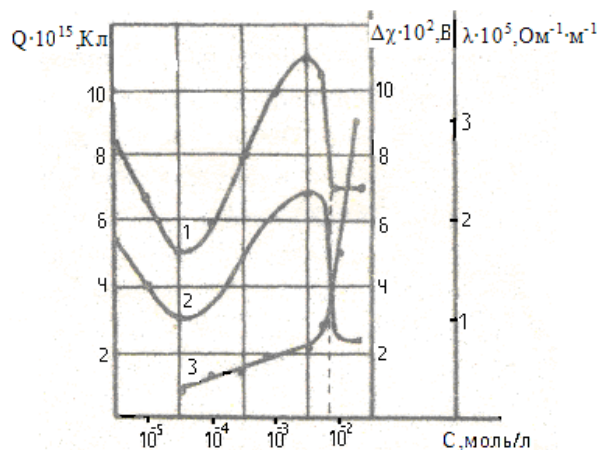
Рисунок 3 – Изменение заряда и потенциала I-II – валентного электролита

Наблюдаемое отличие, по-видимому, связано с большой величиной энергии гидратации катиона, что при низких концентрациях электролита способствует

преимущественному накоплению анионов поверхностном слое. В области высоких концентраций сказывается влияние валентности и концентрации катионов.

Исследование ионогенных ПАВ показало (рис.4), что ход зависимости заряда капль от концентрации додецилсульфата натрия и цитилперидиний хлорида полностью отражает аналогичную зависимость для поверхностного потенциала.

Представленные результаты наглядно показывают существование корреляции между действием исследованных веществ на поверхностный потенциал раствора и на зарядку капль, то есть свидетельствуют, что поверхностный потенциал раствора на границе и воздух определяет величину и знак заряда капли при дроблении раствора.



- 1 – зависимость заряда капль от концентрации додецилсульфата натрия;
- 2 – зависимость поверхностного потенциала от концентрации додецилсульфата натрия;
- 3 – зависимость удельной электропроводности от додецилсульфата натрия

Рисунок 3 – Изменение заряда и потенциала ионогенных ПАВ

Полученные многочисленные экспериментальные данные по исследованию влияния физико-химических свойств диспергируемых растворов на естественную зарядку капль показали, что механизм возникновения разности потенциалов, приводящей к естественной зарядке капль при дроблении полярных электропроводных жидкостей, заключается в следующем. На вновь возникающей растянутой поверхности полярной жидкости образуется неравновесный поверхностный потенциал (χ_1) вследствие конечного времени образования двойного электрического слоя. Это приводит в случае хорошей электропроводности раствора к возникновению на поверхности жидкости разности потенциалов $\Delta\chi = \chi - \chi_1$, где χ – значение равновесного (стационарного) поверхностного потенциала жидкости. В жидкости возникает электрическое поле, под действием которого на поверхности жидкости появляются компенсирующие $\Delta\chi$ свободные заряды, знак которых соответствует знаку χ . Последующий разрыв перемычки приводит к зарядке оторвавшейся капли с постоянной плотностью поверхностного заряда (σ), определяемой выражением

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi k r^2},$$

где Q – величина заряда капли;

r – радиус капли;

$k = 1,5$ – коэффициент учитывающий отличие площади поверхности вытягиваемой перемычки от площади поверхности капли, которая образуется из этой перемычки.

Изложенная модель механизма зарядки капле является достаточно общей, так как включает два положения, содержащихся в любом способе дробления жидкости, а именно: деформацию границы раздела жидкость – газ и изменение при деформации свойств жидкости (поверхностного потенциала и поверхностного натяжения).

Относительная простота методов измерения заряда и образования монодисперсных капле и установленная связь величины заряда капле с физико-химическими свойствами диспергированных растворов в сочетании с изложенной моделью зарядки позволили разработать прецизионный капленый зарядо-чувствительный метод определения поверхностного потенциала растворов.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЖИДКОСТИ

Из экспериментальных результатов по естественной зарядке следует, что величина заряда капли коррелирует с величиной $\Delta\chi$ (рис.2-4). Принимая во внимание время образования капли $t < 10^{-4}$ с ясно, что потенциал свежесформированной поверхности мал [6], то есть $\chi_1 = 0$. Следовательно, $\Delta\chi = \chi$, то есть разность потенциалов, определяющая величину заряда капли, незначительно отличается от равновесного значения потенциала поверхности жидкости. Измеряя заряд капле Q и их радиус r и учитывая, что зарядка – процесс нестационарный, можно рассчитать величину поверхностного потенциала жидкости по формуле

$$\Delta\chi = \frac{910^9 Q}{kr} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \text{ В} \quad (4)$$

где $\tau = \epsilon\epsilon_0 \rho$ – время релаксации заряда в жидкости;

ρ – удельное объемное сопротивление жидкости.

Из выражения (4) следует, что величина $\Delta\chi$ может существенно отличаться от истинного значения поверхностного потенциала границы раздела жидкость – газ χ и зависит от соотношения времени отрыва капли и времени релаксации заряда в жидкости.

Оценка поверхностного потенциала для раствора 10^{-1} моль/л NaBr при $Q = -14 \cdot 10^{-16}$ Кл, $r = 0,75 \cdot 10^{-4}$ м и $t \ll \tau$ дает значение $\Delta\chi = -0,18$ В, а для раствора 10^{-2} моль/л раствора NaCl при $Q = -9,510^{-16}$ Кл и $r = 10^{-4}$ м, $\Delta\chi = -0,1$ В, которые хорошо согласуются со значениями поверхностного потенциала, полученными другими методами [2,5].

Описанный экспресс-метод определения поверхностного потенциала по величине заряда капли, образующегося при дроблении жидкости, эффективно можно использовать и для исследования ионогенных ПАВ.

Список литературы

1. Фрумкин А.Н. К вопросу о строении поверхностного слоя. 1. Разность потенциалов на границе между воздухом и растворами неорганических электролитов. Сб. работ хим. института Л.Я. Карпова.-М, 1924, №2, С. 106-126.
2. Llopis J. Surface potential of liquid interface.- In J.Q.M. Bockris. Modern aspects of electrochemistry, 1971, #6, P.91-158.
3. Фрумкин А.Н., Иофа З.А., Герович М.А. К вопросу о разности потенциалов на границе вода-воздух. Ж. физич. химии, 1956, т. 30, вып. 7, С.1455-1468.
4. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику,- М.: Высшая школа, 1975.
5. Исследование динамического скачка поверхностного потенциала растворов ПАВ. Ф.К. Галимов, Л.Г. Гросс, С.В.Руденко, С.М. Леви. - Коллоид. журн., 1975, т.37, № 8, С.1154-1156.
6. Кочурова Н.Н., Носков Б.А., Русанов А.И. Исследование зависимости поверхностного потенциала от времени на струе воды.- Докл. АН СССР, 1976, т.227, № 6, С.1386-1388.

7. Лёб. Л. Статическая электризация. – М.: -Л.: Госэнергоиздат, 1963.
8. Chalmers J.A., Pasquill F. The potential difference at on air water interface.- Phil. Mag. 1937, v.23, P.88.
9. Фольхардт Д., Вюстнек Р. Характеристика ионизационного и компенсационного методов измерения поверхностного потенциала водных растворов ПАВ. - Коллоид. журн., 1974, т.34, №6, С.1116-1120.
10. Jarvis N. Z. Effect of various salts on the surface potential of the water-air interface.-J. Geophys. Res. 1972, v.77, № 27, P.5177-5182.
11. Лопатенко С.В., Контущ С.М. Механизм естественной зарядки капель при дроблении полярных жидкостей. - Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, 1984, № 1, С. 151 -154.
12. Лопатенко С.В. Электризация жидкости при дроблении.- Кіровоград: Наукові записки КДТУ, №10, 2010.

С. Лопатенко

Зарядка монодисперсних крапель при дробленні рідини як метод визначення її поверхневого потенціалу

Описаний експрес - метод визначення поверхневого потенціалу розчинів по величині заряду краплі при часах менших, ніж 10-3 с. Описана методика була реалізована з використанням генератора монодисперсних крапель (ГМК) з віброуючою голкою. Викладена модель механізму зарядки крапель при дробленні рідини. Показано, що величина заряду краплі корелює з величиною поверхневого потенціалу розчину.

Одержано 26.02.10

УДК 539.3/.6(075.8)

**В.М. Лушніков, доц., канд. техн. наук, О.Б. Чайковский, доц., канд. техн. наук,
С.В. Лук'яненко, студ.**

Кіровоградський національний технічний університет

Установка для дослідження вільних коливань систем

Запропонована установка відноситься до класу випробувальної техніки і може бути використана при проектуванні лабораторних установок для дослідження вільних коливань систем з одним ступенем вільності. Передбачене сучасне оснащення установки вказівником вертикального коливання вантажу, світлодіодним випромінювачем світлового потоку, дискретною світлочутливою лінійкою, з'єднаною швидкодіючим інтерфейсом з комп'ютером. На моніторі розгортається у часі коливальний процес системи за допомогою комп'ютерних розрахунків отримують характеристики реального коливального процесу з друкуванням на принтері.

установка, ступінь вільності, пружина, вільні коливання, штанга, кронштейн, вантаж, електромагніт, лінійка-вказівник, світлодіодний випромінювач світлового потоку, дискретна світлочутлива лінійка, швидкодіючий інтерфейс, комп'ютер

Найпростішою схемою коливальної системи з одним ступенем вільності може слугувати вантаж, підвішений на вертикально розташованій циліндричній пружині. Аналітичні дослідження такої схематичної коливальної системи наведені в джерелі [1]. Але на даний період відсутні конструктивні описи лабораторних установок, на яких можливе експериментальне підтвердження результатів аналітичних досліджень вільних коливань систем з одним ступенем вільності.

© В.М. Лушніков, О.Б. Чайковский, С.В. Лук'яненко, 2010