

Краевая научно-практическая конференция  
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов  
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Исследование поведения слоя жидкости на несмачиваемой сетке**

Ромохов Константин Сергеевич,  
11 кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,  
Любимова Нина Юрьевна,  
старший преподаватель ПНИПУ.

Пермь. 2015.

## Содержание

Введение.....	2
Теоретическая часть	
Смачивание.....	4
Краевой угол.....	4
Теории, касающиеся изучения краевого угла, смачивания.....	5
Измерение краевого угла.....	6
Управление смачиванием.....	6
Влияние смачивания на промышленные и природные процессы.....	7
Экспериментальная часть	
Эксперимент №1.....	10
Эксперимент №2.....	12
Эксперимент №3.....	14
Задача.....	16
Заключение.....	17
Список литературы.....	18

## Введение

Явления, связанные со смачиванием и несмачиванием, очень широко распространены в природе, технике, сельском хозяйстве и повседневном быту, они играют важную, а иногда и определяющую роль в протекании многих как природных, так и технологических процессов. Для оптимального управления такими процессами необходимо изучение законов, которые могут описывать явления смачивания, а также выяснение самих законов смачивания.

Первые научные исследования и наблюдения, связанные с анализом смачивания, относятся к XVII веку, когда в 1665 году Гук в своей книге «Микрография» описал некоторые капиллярные явления. В частности, Гук обнаружил, что вода протекает через маленькие отверстия только под действием дополнительного давления. В 1718 году Джеймсом Жюреном был установлен первый количественный закон в области капиллярных явлений, он экспериментально показал, что высота подъема смачивающей жидкости в капиллярной трубке обратно пропорциональна ее диаметру

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{r_0(\rho - \rho_0)g}$$

где:

$\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения жидкости

$h$  — высота поднятия столба жидкости

$\theta$  — угол смачивания жидкостью стенки капилляра

$g$  — ускорение свободного падения

$\rho$  — плотность жидкости

$\rho_0$  — плотность газовой фазы

$r_0$  — радиус капилляра

Экспериментальное изучение капиллярного подъема выявило связь между смачиванием стенок капиллярной трубки и формой поверхности жидкости в капилляре: при смачивании образуется вогнутый мениск, а в отсутствие смачивания — выпуклый мениск. Эти наблюдения стимулировали изучение формы поверхности жидкости вблизи поверхности твердого тела. В середине XVIII века Янош Андраш Сегнер описал форму капли несмачивающей жидкости на горизонтальной твердой поверхности. [1]

Важнейший шаг в теоретическом изучении смачивания был сделан в 1804 году, когда Юнг показал, что форма капли на твердой поверхности определяется соотношением сил молекулярного притяжения между молекулами жидкости и твердого тела и взаимным притяжением молекул жидкости. Вместе с тем он ввел фундаментальное для явления смачивания представление о краевом угле как количественной характеристике смачивания.

В 1805 году Лаплас развил общую теорию капиллярных явлений. Работы Юнга и Лапласа являются классическими в учении о смачивании и широко используются в наши дни. В основе этих работ лежит использование принципов механики и гидростатики. Важные результаты в этом направлении получили позже Гаусс и Пуассон.

Новый этап в изучении смачивания, как и других поверхностных явлений, связан с развитием термодинамики. В 1878 году Гиббс вывел уравнение, которое устанавливает зависимость равновесного краевого угла от поверхностных натяжений на границах раздела фаз, участвующих в смачивании. Это соотношение получал ранее и Юнг, но термодинамический метод дал более строгое и общее обоснование этого закона, а также выявил многие принципиальные пути управления смачиванием.

Следующий этап исследований смачивания, продолжающийся и поныне, можно охарактеризовать как физико-химический.

В 30-х годах ряд принципиально важных результатов получил академик П. А. Ребиндер. Он ввел в химию представления об избирательном смачивании твердых тел жидкостями различной полярности, что позволило с помощью измерения краевых углов в условиях избирательного смачивания или сравнения теплот смачивания полярной и неполярной жидкостями классифицировать поверхности твердых тел как гидрофильные и гидрофобные. Эти работы положили начало научному обоснованию использования поверхностно-активных веществ для управления смачиванием, что получило широкое промышленное применение в промышленных процессах (во флотации, в очистке материалов от загрязнений, технологии моющего действия и т. д.). [1]

В связи с актуальностью вопроса смачивания, его распространенностью в современной жизни, бытовой и промышленной, была поставлена цель работы, задачи и определены методы изучения этого вопроса.

Цель работы: исследовать условия и процесс протекания жидкостей через несмачиваемую сетку;

Задачи: провести несколько опытов, с получением различных величин, их зависимостей друг от друга, получении факторов, влияющих на процесс смачивания, решение задачи, с помощью которой можно было бы определить теоретическое значение результатов, полученных на практике и их соотношение;

Методы изучения: анализ литературы, эксперименты, теоретический анализ полученных данных, анализ явления, построение графиков.

## Теоретическая часть

### Смачивание

Смачивание - поверхностное явление, возникающее при соприкосновении жидкости с поверхностью твёрдого тела или другой жидкости, которая не смешивается с первой. Если молекулы жидкости взаимодействуют с молекулами твёрдого тела сильнее, чем между собою, то жидкость растекается по поверхности, смачивает ее. Растекание происходит до тех пор, пока жидкость не покроет всю поверхность твёрдого тела или пока высота слоя жидкости не станет равной размеру молекулы. Такой случай называется полным смачиванием. Он наблюдается, например, при нанесении капли воды на поверхность чистого стекла. Если молекулы жидкости взаимодействуют друг с другом значительно сильнее, чем с молекулами твёрдого тела, растекания не произойдет. Наоборот, жидкость соберется на поверхности в каплю, которая, если бы не действовала сила тяжести, имела бы почти сферическую форму. Случай, близкий к этому, наблюдается при нанесении капли ртути на любую неметаллическую поверхность. Между этими двумя крайними случаями в зависимости от соотношения интенсивности молекулярных сил, действующих, с одной стороны, между молекулами жидкости и, с другой – между молекулами жидкости и твёрдого тела, возможны переходные случаи неполного смачивания, когда капля образует с поверхностью твёрдого тела определенный равновесный угол, называемый краевым углом или углом смачивания.[2]

### Краевой угол

Равновесный краевой угол смачивания определяется наклоном поверхности жидкости к смоченной ею поверхности твёрдого тела. Вершина угла находится на линии смачивания (рис.1).

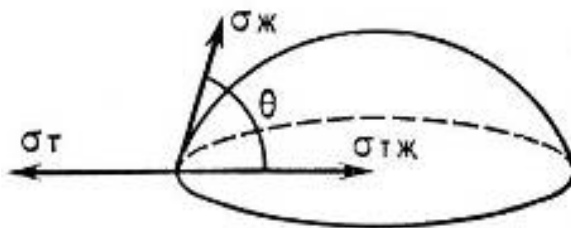


рис.1. Капля жидкости на твердой поверхности

где:

$\sigma_{ж}$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

$\sigma_{т}$  - коэффициент поверхностного натяжения твёрдого тела;

- коэффициент поверхностного натяжения на границе твёрдое тело - жидкость;

$\theta$  - равновесный краевой угол;

Краевой угол служит количественной мерой смачивания. Это угол между касательной АВ к искривленной поверхности жидкости и линией смачивания АА. (рис.2)

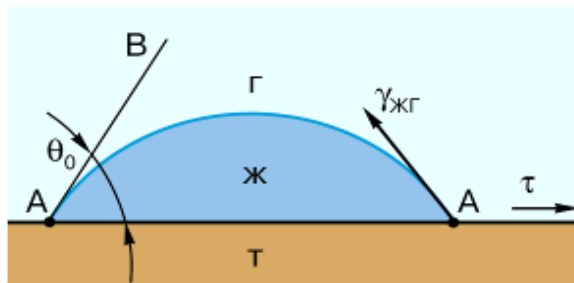


рис.2. Капля жидкости (ж) на твердом теле (т), третья фаза - газ (г)

где:

$\theta_0$  - равновесный краевой угол;

$\gamma_{жг}$  - сила поверхностного натяжения жидкости;

$\tau$  - сила адгезии;

Граничный контур (периметр основания капли) называется линией трехфазного контакта, то есть в смачивании участвуют три фазы: твердое тело, смачивающая жидкость и фаза – “предшественник”, которая находилась в контакте с твердой поверхностью до подвода жидкости. Далее будет рассматриваться случай газовой фазы. Однако это может быть и другая жидкость, которая не смешивается с первой.

### Теории, касающиеся изучения краевого угла, смачивания

Центральное положение теории Юнга-Лапласа: краевой угол определяется конкуренцией двух сил, действующих на граничный контур. Одна сила – это притяжение молекул жидкости к ближайшим молекулам жидкости на поверхности капли. В расчете на единицу длины граничного контура это сила поверхностного натяжения жидкости ( $\gamma_{жг}$ ).

Другая сила создается притяжением тех же молекул линии трехфазного контакта ближайшим молекулам на поверхности твердое тело-газ. Эта сила направлена вдоль поверхности твердого тела во внешнюю сторону от граничного контура. Ее называют силой адгезии  $\tau$  ( $\text{мН/м}$ ). Фундаментальный закон смачивания в формулировке Юнга имеет вид

$$\cos \theta_0 =$$

В более общей форме равновесный краевой угол определяется с упором на термодинамику (Гиббс, 1878 год) из условия минимальности свободной поверхностной энергии  $F_{\text{п}}$  трехфазной системы твердое тело-жидкость-газ. В случае капли:

где  $\omega_{\text{тг}}$ ,  $\omega_{\text{тж}}$ ,  $\omega_{\text{жг}}$  ( $\text{м}^2$ ) - площади контакта фаз твердое тело-газ, твердое тело-жидкость, жидкость – газ,  $\gamma_{\text{тг}}$ ,  $\gamma_{\text{тж}}$ ,  $\gamma_{\text{жг}}$  ( $\text{мДж/м}^2$ ) - удельные свободные энергии этих поверхностей. Для жидкостей численные значения поверхностного натяжения и поверхностной энергии совпадают, то есть

$$|\gamma_{\text{жг}}| = |\gamma_{\text{жг}}|.$$

Из условия  $F_{\text{п}} = \min$  следует

$$\cos \theta_0 = (\gamma_{\text{тг}} - \gamma_{\text{тж}}) / \gamma_{\text{жг}}$$

Это уравнение представляет современную формулировку основного закона смачивания. [1]

## Измерение краевого угла

Измеряя величину угла  $\theta_0$ , оценивают гидрофильность и гидрофобность поверхностей по отношению к различным жидкостям. Существует три случая взаимодействия жидкостей с поверхностью твердых тел: несмачивание, когда  $90^\circ < \theta_0 < 180^\circ$  (например, ртуть на стекле, вода на парафине); ограниченное смачивание, когда  $0^\circ < \theta_0 < 90^\circ$  (например, вода на оксидах металлов) и полное смачивание, когда капля растекается в тонкую пленку (ртуть на свинце). В первом случае поверхность по отношению к данной жидкости гидрофобна, а во втором — гидрофильна.

Обычно для измерения краевых углов на горизонтальную пластину наносят небольшую каплю. При такой процедуре жидкость натекает на твердую поверхность, постепенно вытесняя с нее предшествующую фазу (газ). Поэтому угол, измеренный после прекращения растекания называется углом натекания  $\theta_n$  (наступающим краевым углом).

Возможен и другой порядок измерений. Сначала образец помещают в жидкость, то есть принудительно смачивают всю твердую поверхность, потом к пластинке подводят пузырек газа. Под его действием жидкость оттекает с ранее смоченной поверхности. Поэтому угол, измеренный в момент начала течения жидкости, называется углом оттекания (отступающим углом). Обычно  $\theta_n >$ . Последнее явление можно наблюдать, когда капли дождя стекают по оконному стеклу, при этом капли как бы задерживаются и снизу образуют гораздо больший краевой угол, чем сверху.

## Управление смачиванием

Методы регулирования смачивания основаны главным образом на изменении удельных поверхностных энергий и а также поверхностного натяжения жидкости. Физический метод основан на электрической поляризации, связанной с зависимостью поверхностного натяжения электрода от его электрического потенциала (электрокапиллярность), воздействии электрических и магнитных полей, изменении температуры, обработки поверхности твердых тел ионизирующими излучениями. Наиболее универсальный метод регулирования смачивания состоит в использовании поверхностно-активных веществ (их адсорбция из жидкости на поверхности раздела с другой фазой приводит к значительному понижению поверхностного натяжения).

Растворение этих веществ в жидкости уменьшает ее поверхностное натяжение; вместе с тем возможна их адсорбция на границе твердое тело-жидкость с соответствующим изменением поверхностной энергии. Предварительная выдержка образцов данного твердого материала в растворе поверхностно активных веществ приводит к образованию на его поверхности адсорбционных слоев, которые могут частично или полностью "экранировать" ее.

Такое модифицирующее действие позволяет качественно менять характер контактного взаимодействия жидкости с твердым телом. Можно, например,

гидрофобизировать гидрофильные материалы или, напротив, гидрофилизировать гидрофобные подложки.

Для улучшения смачивания водой обычно применяют смачиватели – растворимые, хорошо адсорбирующиеся, поверхностно-активные вещества, понижающее поверхностное натяжение на границе твердое тело-жидкость и одновременно на границе жидкость-воздух. При нанесении на поверхность смачивателя краевой угол, являющийся мерой смачивания, согласно уравнению , уменьшается в результате снижения значений  $\sigma_{ж}$ , а смачивание соответственно возрастает.

Обычно молекулы смачивателей гидрофильны, что характерно для всякого поверхностно-активного вещества, и адсорбируются на поверхности воды, ориентируясь углеводородными цепями наружу в воздух, благодаря чему на поверхности воды создается как бы пленка углеводорода. Этим и объясняется понижение поверхностного натяжения раствора и повышение смачивающей способности до значений, соответствующих поверхностным натяжениям органических неполярных жидкостей.

Интересным свойством монослоев поверхностно-активных веществ является их способность переходить из раствора на твердую поверхность и образовывать на этой поверхности полимолекулярные слои. Это свойство было обнаружено еще Блоджетт на следующем опыте.

В мономолекулярный плотно упакованный слой молекул поверхностно-активного вещества, образованный на поверхности воды, осторожно вводят в вертикальном положении стеклянную пластинку. При погружении этой пластинки гидрофильная поверхность ее покрывается мономолекулярным слоем поверхностно-активного вещества, причем полярная часть молекул вещества будет обращена к полярной поверхности стекла и поверхность пластинки, таким образом, станет гидрофобной. После этого пластинку вместе с адсорбированным на ней слоем поверхностно-активного вещества осторожно извлекают из раствора. При этом на пластинке, уже адсорбировавшей мономолекулярный слой поверхностно-активного вещества, адсорбируется второй слой того же вещества, причем неполярные радикалы молекул этого слоя обращены к неполярным радикалам первого слоя, т.е. по направлению к пластинке. В результате на поверхности пластинки образуется бимолекулярный слой молекул, обращенных друг к другу неполярными радикалами, а поверхность пластинки станет снова гидрофильной. Неоднократно повторяя эту операцию, можно перенести на пластинку значительное число слоев поверхностно-активного вещества, делая поочередно поверхность пластинки то гидрофобной, то гидрофильной.[2]

### **Влияние смачивания на промышленные и природные процессы**

Смачивание имеет большое значение для успешного проведения ряда важнейших технологических процессов. Например, в текстильной технологии

хорошее смачивание волокна или тканей является важным условием для крашения,



беления, расшлихтовки, пропитки, стирки и т.д. Смачивание соответствующими жидкостями металлов и неметаллических тел ускоряет и облегчает их механическую обработку (резание, сверление, шлифовку, полировку). [1]

Пайка возможна только в том случае, если припой смачивает соединяемые детали. Это происходит, если силы притяжения между атомами припоя и металла больше, чем между атомами внутри припоя. Если капля припоя не смачивает поверхность, то она не способна затекать в узкие зазоры между соединяемыми материалами, что снижает качество пайки. Бурение нефтяных скважин в горных породах также облегчается, если применять специальные бурильные растворы, содержащие смачиватели. На явлениях избирательного смачивания основано обогащение руд – флотация. Смачивание имеет огромное значение и в процессах реставрационной обработки киноматериалов водными растворами, особенно если эти процессы должны протекать в течение короткого времени. [3]

Смачивание влияет также на степень перегрева и переохлаждения при фазовых переходах (кипении, конденсации, плавлении, кристаллизации). В частности, для предотвращения образования тромбов в кровеносных сосудах материалы для протезирования не должны смачиваться кровью. Важную роль играет смачивание при флотационном обогащении и разделении горных пород, вытекании нефти из пластов, отмывании загрязнений, нанесении пленок и покрытий, течении жидкости в условиях невесомости и др.

Смачиваемость зависит от микроструктуры поверхности. На этом основан так называемый «эффект лотоса». Лотос издревле почитается на Востоке как символ чистоты — его лепестки всегда остаются сухими и белоснежными. Загадка лотоса объяснилась сравнительно недавно. Оказалось, что дело не только в воскоподобном (гидрофобном) покрытии его лепестков, но и в особой микроструктуре их поверхности. Рельеф лепестка лотоса образован набором холмов и впадин микронного размера, покрытых отдельными «крупинками» гидрофобного вещества диаметром в несколько нанометров. Попав на такую поверхность, капля принимает форму, близкую к сферической, и легко скатывается с нее, унося с собой частицы загрязнений. Похожим образом устроены крылья бабочек и многих других насекомых, для которых защита от избыточной воды жизненно необходима: намокнув, они потеряли бы способность летать.

«Эффект лотоса» используется в промышленности для создания супергидрофобных самоочищающихся покрытий и красок. Например, ученые из Массачусетского технологического института (США) недавно разработали «сверхводоотталкивающее» покрытие, состоящее из нескольких слоев микропористой пленки полиэлектролита и кремниевых нано частиц. Ученые признались, что их вдохновил «эффект лотоса».

Рассмотрим роль смачивания в образовании “жидкой линзы”. Поместим каплю воды на супергидрофобную поверхность — она образует почти идеальный шарик.

Затем приложим между поверхностью и каплей напряжение — капля как бы прижмется к поверхности, краевой угол уменьшится. Плавно увеличивая и уменьшая напряжение, можно заставить каплю «танцевать». Поскольку вода

преломляет свет иначе, чем воздух, то лежащая капля — это своего рода линза, только жидкая. Работа жидкой линзы очень напоминает человеческий глаз, который фокусируется путем изменения кривизны хрусталика.

В последние годы «жидкими линзами» заинтересовались сразу несколько крупных компаний, занимающихся информационными технологиями и видеотехникой. В частности, компания «Philips» анонсировала оптическую систему FluidFocus, работающую по принципу «жидкой линзы». Устройство состоит из небольшой трубки с прозрачными торцами, заполненной двумя несмешивающимися жидкостями с различными коэффициентами преломления. Одна представляет собой проводящий электричество водный раствор, а другая — масло, изолятор. Внутренняя поверхность трубки и один из торцов покрыты гидрофобным покрытием, в результате чего водный раствор, скапливающийся у противоположного торца, принимает полусферическую форму. Фокусное расстояние (кривизна линзы) изменяется увеличением или уменьшением электрического потенциала, приложенного к гидрофобному покрытию. При этом поверхность может стать совершенно плоской и даже вогнутой — линза из собирающей превратится в рассеивающую или наоборот. Размеры опытного образца FluidFocus составили всего несколько миллиметров, его фокусное расстояние меняется от 5 сантиметров до бесконечности, и, что особенно важно, скорость переключения между двумя крайними режимами работы менее 10 миллисекунд, а энергопотребление крайне мало. Последнее обстоятельство открывает возможности применения «жидких линз» в портативных устройствах, работающих от аккумуляторов: цифровых фотоаппаратах, встроенных в мобильный телефон видеокамерах и прочей технике. [3]

## Практическая часть

Так как целью работы является изучение поведения слоя жидкости на сетке с использованием законов смачивания, то были проведены следующие эксперименты:

### Эксперимент №1

Цель: получение зависимости максимального объема жидкости, помещающемся на несмачиваемой сетке, от температуры жидкости;

Приборы и принадлежности: Сито №1 с размером ячейки 0.5мм на 0.5 мм (при обработке парафином ячейка представляет собой окружность с  $d=0.5\text{мм}$ ), парафин (свечи), тара для растопки парафина (сковорода), мерный стакан с ценой деления 20мл, вода, термометр с ценой деления  $1^\circ\text{C}$ , бумага (для равномерного стекания жидкости в сито).

План эксперимента: 1) Растираем свечи, чтобы легче плавилась, кладем на сковороду и ставим на медленный огонь, чтоб нижний, уже расплавленный, слой сильно не нагревался при нерасплавленном верхнем;

2) Дожидаемся, пока парафин перестанет кипеть и окунаем в него сито, сразу достаем и сильно встряхиваем, чтоб ячейки не забились парафином, при неудачном получении несмачиваемой сетки - повторить;

3) Подогреваем (если нужно) воду, измеряем ее температуру, наливаем в мерный стакан определенный объем, кладем бумагу в сито, край кладем на стенку сита, наливаем воду, при появлении хотя бы одной просочившейся капли эксперимент прекращается, рассчитывается количество воды, уместившейся в сите;

4) Составление графика зависимости  $V_{\text{max}}(t^\circ\text{C})$ . (рис.3)

Вывод: эксперимент был проведен с водопроводной водой разной температуры. Как и следовало ожидать, объем воды, удерживаемой на несмачиваемом сите зависит от ее температуры. То есть с ростом температуры воды максимально удерживаемое сеткой ее количество уменьшалось, причем нелинейно. При температуре больше  $65-70^\circ\text{C}$  вода сразу текла через сито, но при прекращении потока на сетке оставалось несколько больших капель, даже при температуре воды равной  $100^\circ\text{C}$ .

Так как точки на графике расположены практически на одной линии, то есть зависимость  $V_{\text{max}}(t^\circ\text{C})$  могла бы быть линейной, то с помощью метода наименьших квадратов проведена линия (рис.4), относительно которой все точки удалены на минимальное от нее расстояние, и получено ее уравнение:

$$y = -14x + 1019$$

Вся суть метода наименьших квадратов заключается в нахождении коэффициентов линейной зависимости, при которых функция двух переменных  $V$  и  $t$  принимает наименьшее значение. То есть, при данных  $V$  и  $t$  сумма квадратов отклонений экспериментальных данных от найденной прямой будет наименьшей.

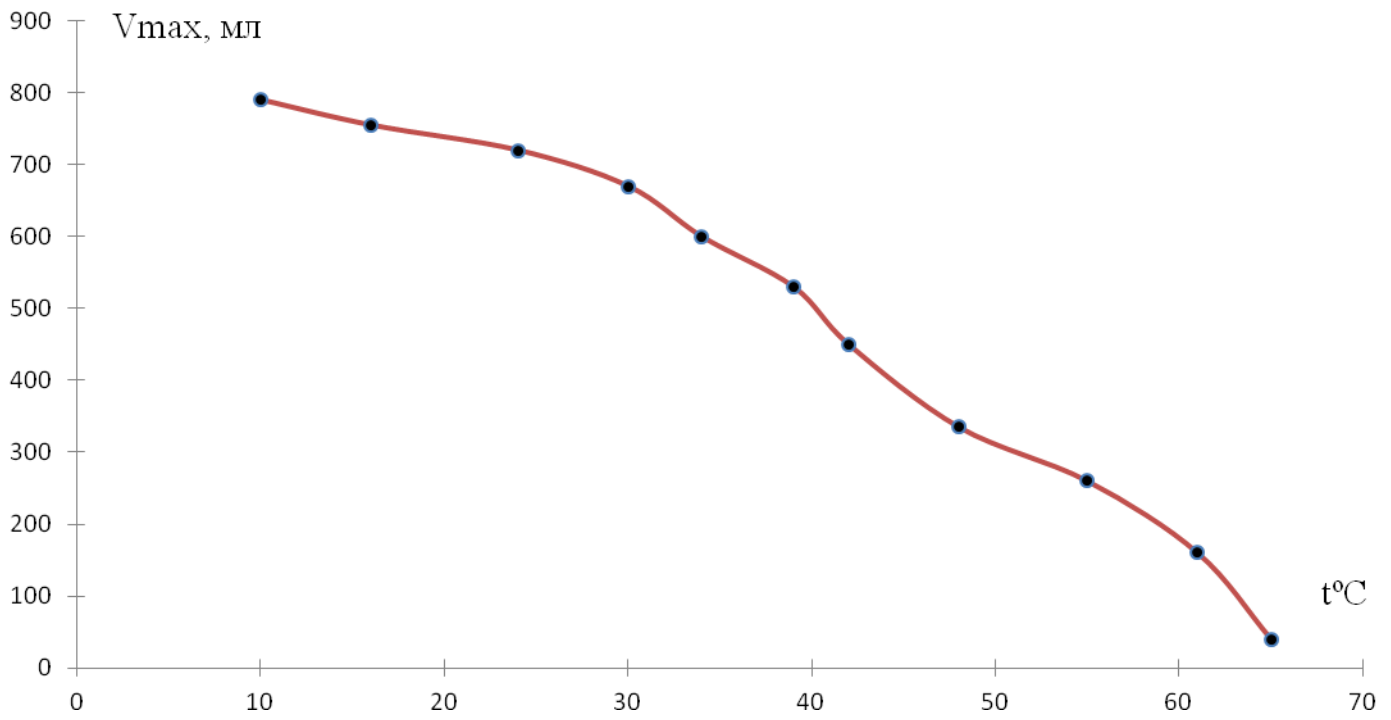


рис.3

зависимость объема жидкости, при котором нарушается несмачиваемая сетка, от температуры жидкости

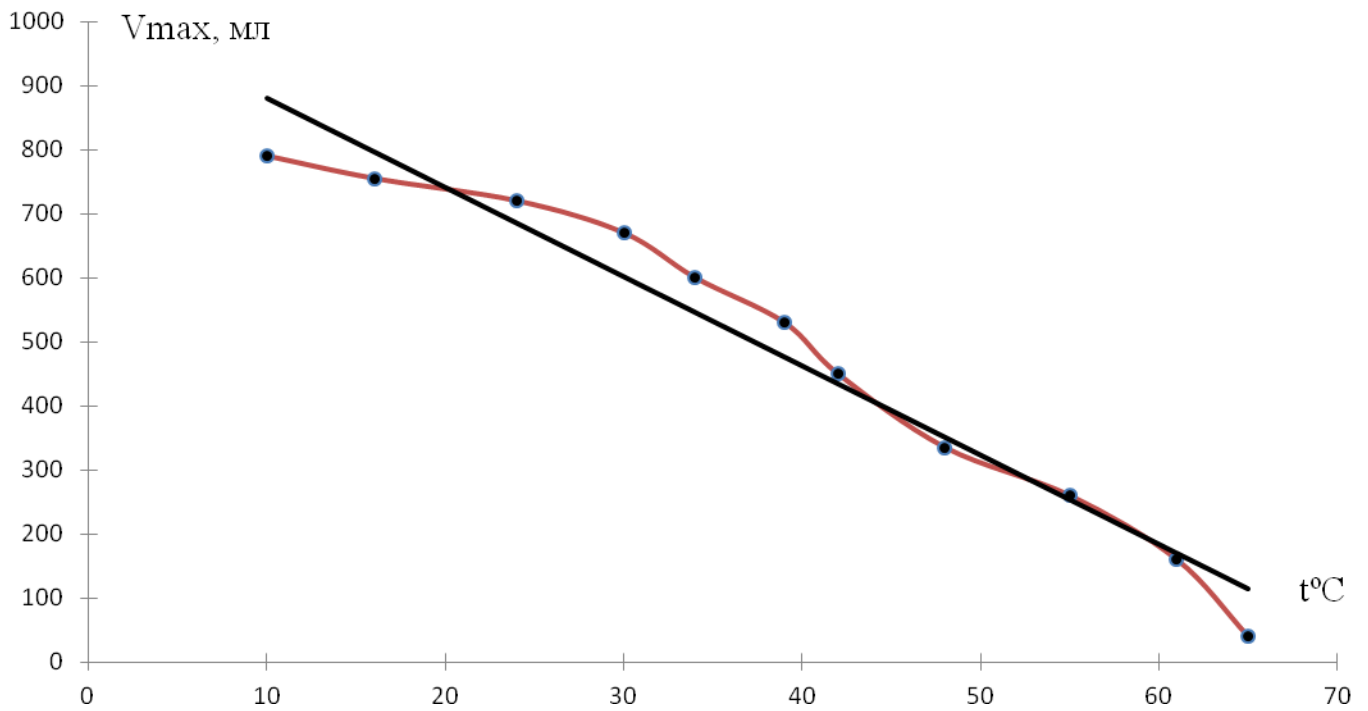


рис. 4

зависимость объема жидкости, при котором нарушается несмачиваемая сетка, от температуры жидкости с использованием метода наименьших квадратов

## Эксперимент №2

Цель: получение зависимости времени нарушения несмачиваемой сетки жидкостью объемом 200мл от ее температуры.

Приборы и принадлежности: Сито №1 с размером ячейки 0.5мм на 0.5 мм (при обработке парафином ячейка представляет собой окружность с  $d=0.5\text{мм}$ ), парафин (свечи), тара для растопки парафина (сковорода), мерный стакан с ценой деления 20мл, вода, термометр с ценой деления  $1^\circ\text{C}$ , бумага (для равномерного стекания жидкости в сито), часы.

План эксперимента: 1) Растираем свечи, чтобы легче плавилась, кладем на сковороду и ставим на медленный огонь, чтоб нижний, уже расплавленный, слой сильно не нагревался при нерасплавленном верхнем;

2) Дожидаемся, пока парафин перестанет кипеть и окунаем в него сито, сразу достаем и сильно встряхиваем, чтоб ячейки не забились парафином, при неудачном получении несмачиваемой сетки - повторить;

3) Подогреваем (если нужно) воду, измеряем ее температуру, наливаем в мерный стакан 200мл, кладем бумагу в сито, край кладем на стенку сита, наливаем воду, оставляем ее в сите до момента нарушения несмачиваемой сетки;

4) Составление графика зависимости  $t(t^\circ\text{C})$  (рис.5).

Вывод: Время нарушения несмачиваемой сетки также нелинейно зависит от температуры жидкости. Чем выше температура, тем меньше время нахождения жидкости в равновесном состоянии. При температуре больше  $60^\circ\text{C}$  жидкость объема 200 мл практически не держится в в сите.

Так как точки так же как и в первом эксперименте расположены практически на одной прямой, можно аналогично воспользоваться методом наименьших квадратов(рис.6) и найти ту линию, относительно которой все точки удалены минимально, ее уравнение имеет такой вид:

$$y=-0,6x+35$$

Суть метода наименьших квадратов в том же, что и в 1 эксперименте, но для переменных  $t(\text{время})$  и  $t(\text{температура})$ .

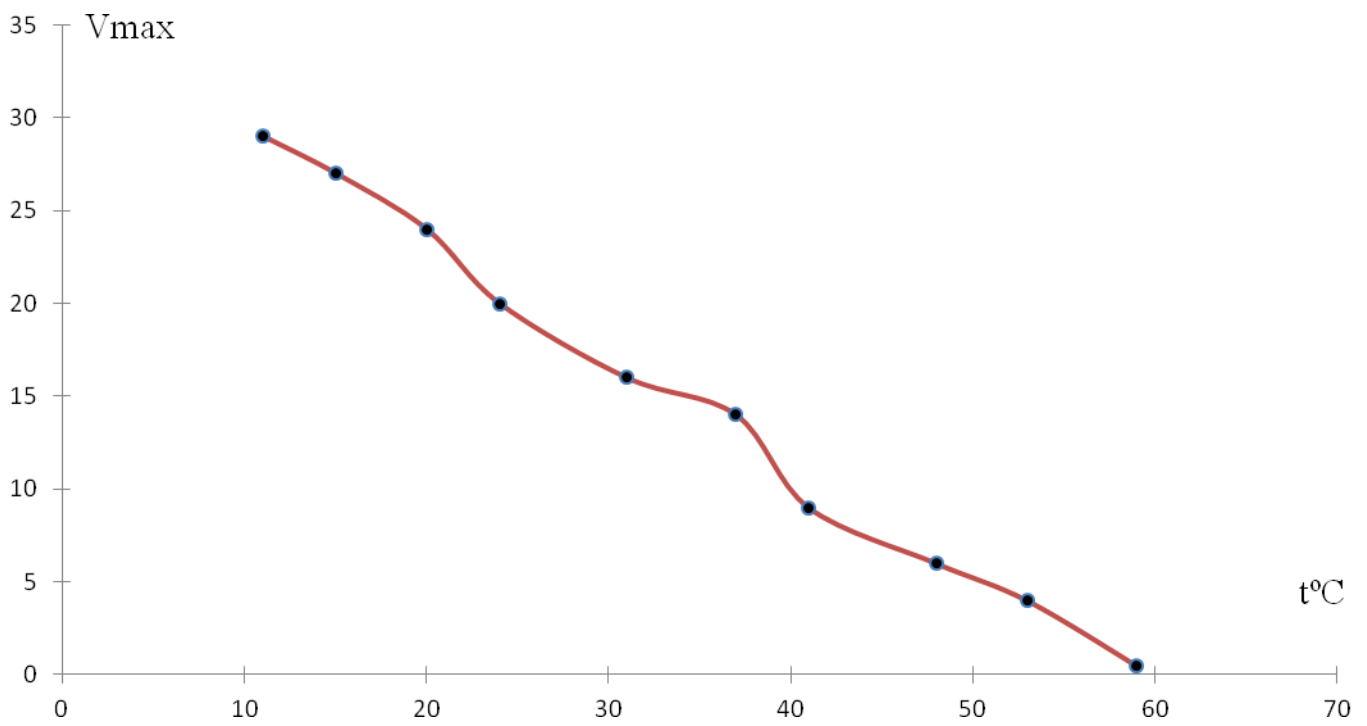


рис.5

Зависимость времени нарушения несмачиваемой решетки водой объемом 200мл от температуры

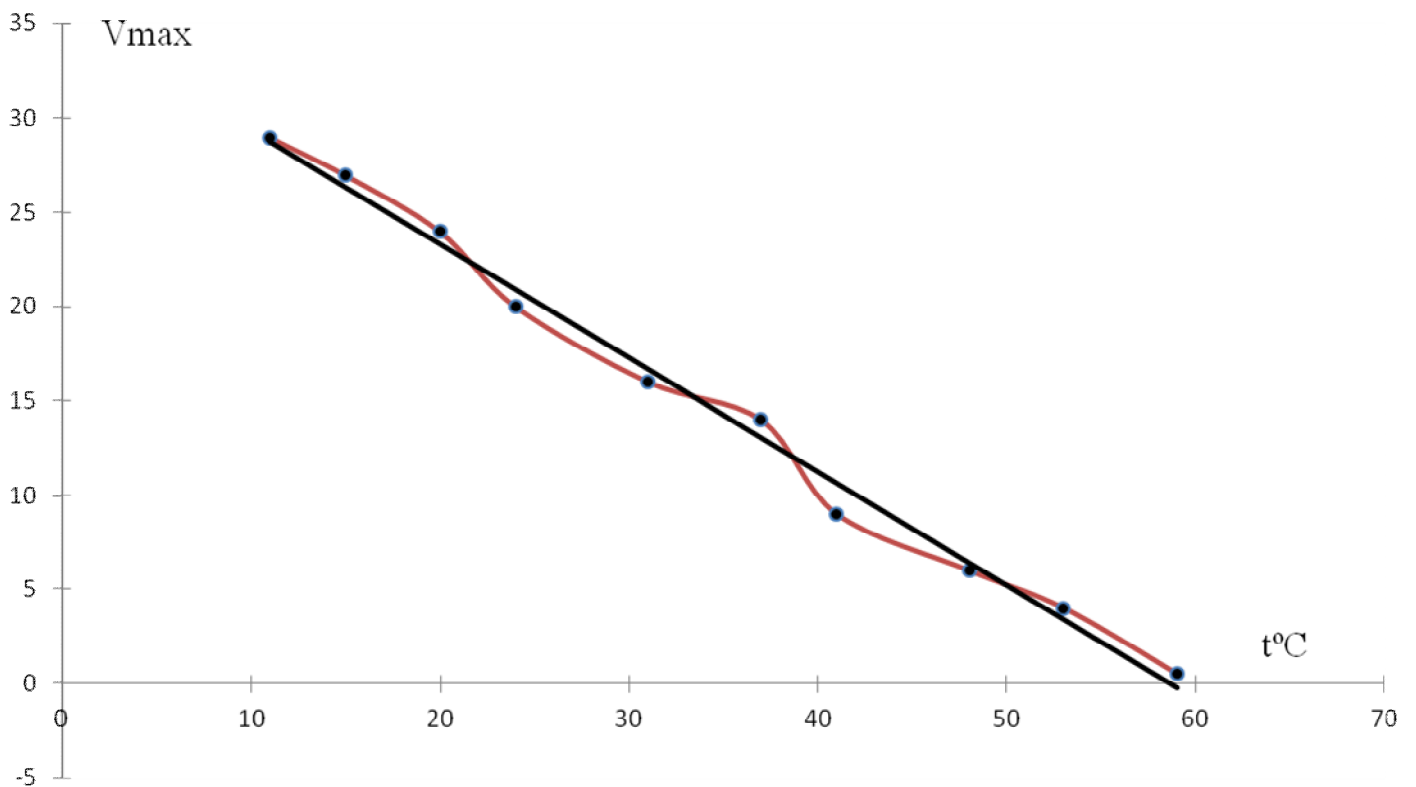


рис.6

Зависимость времени нарушения несмачиваемой решетки водой объемом 200мл с использованием метода наименьших квадратов

### Эксперимент №3

Цель: получение зависимости максимального объема на сетке от вещества;

Приборы и принадлежности: Сито №2 с размером ячейки 1мм на 1 мм (при обработке парафином большинство ячеек становятся немного меньше, а некоторые так же, как в сите с меньшими ячейками приобретает круглую форму с  $d=1.2\text{мм}$ ), парафин (свечи), тара для растопки парафина (сковорода), мерный стакан с ценой деления 20мл, вода, соль, бумага (для равномерного стекания жидкости в сито).

План эксперимента: 1) Растираем свечи, чтобы легче плавилась, кладем на сковороду и ставим на медленный огонь, чтобы нижний, уже расплавленный, слой сильно не нагревался при нерасплавленном верхнем;

2) Дожидаемся, пока парафин перестанет кипеть и окунаем в него сито, сразу достаем и сильно встряхиваем, чтобы ячейки не забились парафином, при неудачном получении несмачиваемой сетки - повторить;

3) Наливаем в мерный стакан жидкость при  $10^{\circ}\text{C}$  (если нужен раствор соли - смешиваем разные массы соли и одинаковые объемы воды, рассчитываем концентрацию), кладем бумагу в сито, край кладем на стенку сита, наливаем жидкость до тех пор, пока не нарушится сетка, считаем объем жидкости, помещившийся в сито.

4) Составление графика зависимости  $V_{\text{max}}(C)$  (рис.7).

Вывод: опыт проводился с водой и 6, 11, 15 и 19% растворами соли. В результате, так как соленая вода имеет большую плотность, а следовательно и большую массу и оказывает большее давление на решетку, она помещалась в меньшем объеме на несмачиваемую сетку с ростом концентрации.

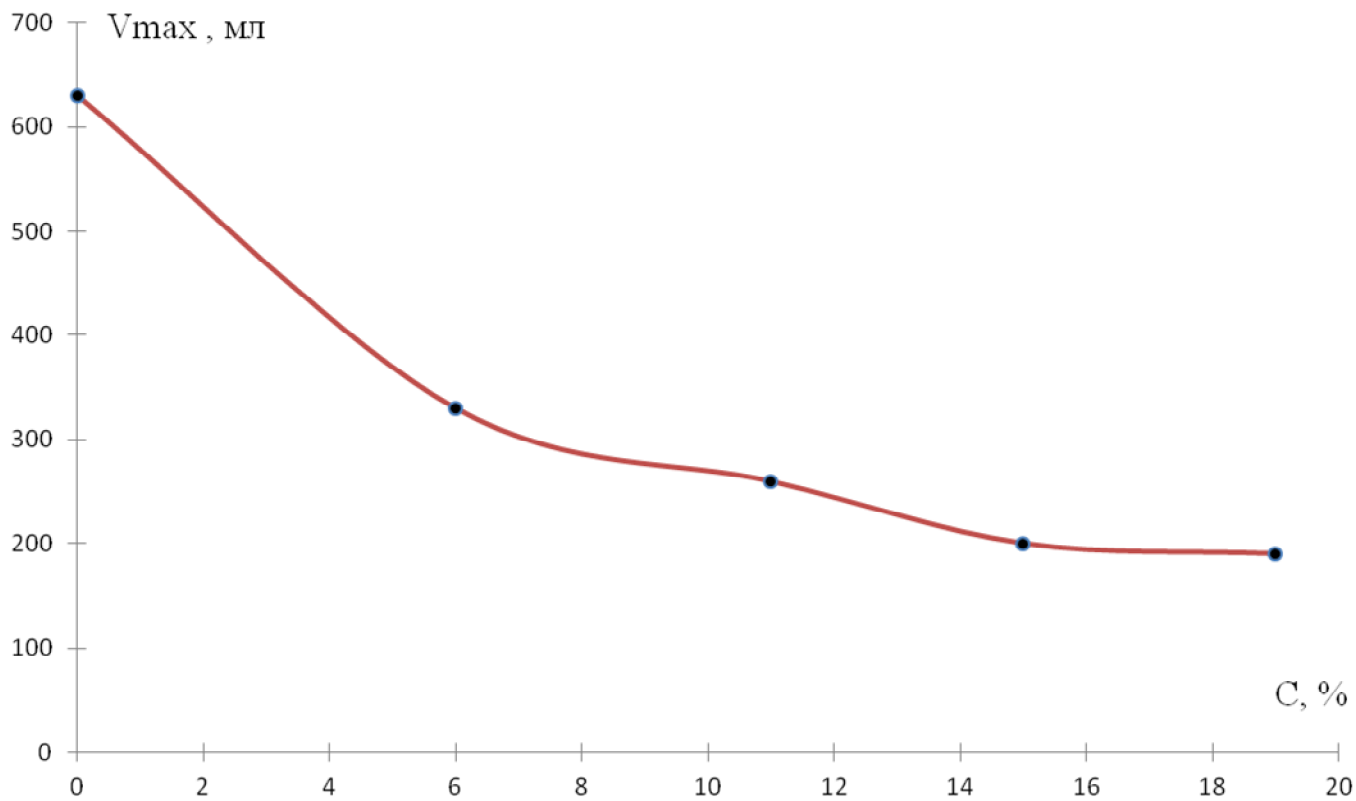


рис.7

Зависимость объема жидкости, при котором нарушается несмачиваемая сетка от концентрации соли в жидкости



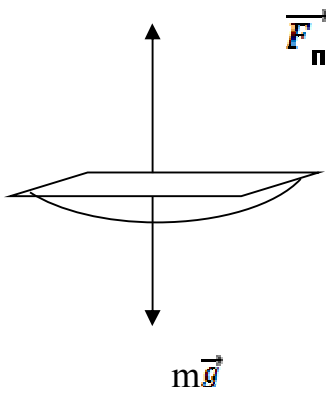
Задача: Рассчитать теоретически объем жидкости, уместяющейся на несмачиваемом сите

Дано:

$h = 9 \text{ см}$

$a = 0.8 \text{ мм}$

$\sigma_{\text{ж}} = 73 \text{ мН/м}$



$$\vec{F}_n + m\vec{g} = 0$$

$$m g =$$

$$m_i = \frac{\sigma \cdot 4a}{g} = \frac{0.073 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 10^{-4}}{10} = 1,752 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$$

$$N = \frac{\pi R^2}{a^2} = \frac{3.14 \cdot 0.09 \cdot 0.09}{64 \cdot 10^{-8}} = 3.974 \cdot 10^4 \text{ шт}$$

$$m = m_i N = 1,752 \cdot 10^{-5} \cdot 3.974 \cdot 10^4 = 0.696 \text{ кг}$$

V-?

$$V = \frac{m}{\rho} = 6.96 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 696 \text{ мл}$$

После решения математической задачи видно, что теоретический результат измерений отличается от практического и погрешность примерно равна

Тогда, решение в стандартной форме будет иметь вид:

$$V = (696 \pm 35) \text{ мл}$$

## **Заключение**

Таким образом, на основе изученного материала и проведенных экспериментов, можно понять, что явления, связанные со смачиванием, действительно, очень распространены в современной жизни и не только в производстве, область их применения достаточно широка. С этими явлениями каждый из нас сталкивается не один раз в день и их влияние на нашу жизнь очень важно.

В ходе исследовательской работы были выявлены условия протекания жидкости через несмачиваемую сетку, а именно температура жидкости, концентрация в ней соли и, возможно, других примесей, также на этот процесс может влиять фактор внешней среды (температура) и человеческий фактор (неравномерное натекание жидкости, нестабильное положение сита в пространстве). В результате опытов получены зависимости максимально удерживаемого объема жидкости от ее температуры, от содержания в ней соли; времени удержания слоя толщиной 200 мл от температуры. Зависимости величин получились ожидаемыми.

С помощью метода наименьших квадратов были построены линейные зависимости. Решена математическая задача на основе проведенных экспериментов по вычислению теоретического значения максимального объема жидкости на сетке, в результате расчетов получилось, что погрешность вычисленной теоретически величины относительно экспериментально вычисленной составила примерно 5%. То есть задачи, поставленные в начале работы, выполнены. Цели достигнуты. По результатам измерения в экспериментах можно высказать и практические соображения:

1) Возможен подбор или изготовление того или иного материала на основе воска, который мог бы удерживать определенные объемы жидкости, в зависимости от их температуры;

2) При изготовлении красящих веществ (красок) с добавлением воска можно подобрать состав для той или иной температуры и того или иного содержания соли в жидкости.

## **Список литературы**

1) Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976;

- 2) Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1975;
- 3) Наука и жизнь, №2, 2005;
- 5) Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика. Молекулярная физика. Термодинамика. 10 класс, 5-е изд., М.: Дрофа, 2002