

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа рабочего поселка Шемышейка имени Героя Советского Союза Александра Тимофеевича Бодряшова

**Проект**  
**по теме «Неньютоновская жидкость и возможность её**  
**использования при ремонте автодорог»**

Автор работы:  
Макаркин Илья, 11А класс

Руководитель:  
Тарасов Евгений Александрович,  
учитель математики и физики

р.п. Шемышейка, 2021 г.

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Неньютоновская жидкость и её свойства.....	4
1.1 Ньютоновская и неньютоновская жидкости.....	4
1.2 Применение неньютоновских жидкостей.....	6
Глава 2 Использование неньютоновской жидкости при ремонте автомобильных дорог.....	8
Заключение.....	9
Список литературы.....	10

## Введение

Каждый из нас ежедневно сталкивается с различными жидкостями. Мы употребляем их в пищу, используем в целях личной гигиены, в качестве топлива для двигателей, для растворения твёрдых веществ и для многих других целей. Широкое распространение жидкостей и их частое использование приводит к тому, что любой из нас без труда назовёт несколько свойств, присущих жидкостям. Например, все знают, что жидкость принимает форму сосуда, в котором находится, обладает текучестью, может испаряться. Однако некоторые жидкости (загустевающие краски, лаки, битум, мёд, различные смолы) при определённых условиях ведут себя совсем не так, как та же вода, бензин или спирт. Такие жидкости получили название неньютоновских.

Одну из таких жидкостей можно приготовить в домашних условиях, достаточно смешать крахмал с водой. Именно эта неньютоновская жидкость и была взята в качестве объекта исследования. Целью проекта является изучение возможности применения неньютоновской жидкости для заполнения небольших ям на автомобильных дорогах. Проблема плохих дорог всегда стоит очень остро, особенно в весенний период, когда растаявший снег обнажает на дорожном покрытии множество ям. Работники дорожных служб, к сожалению, не могут охватить все проблемные участки, и, пока идёт ремонт на одной дороге, на другой водители продолжают разбивать подвески своих автомобилей. Автором проекта была выдвинута следующая гипотеза: необходимо заполнить яму на дорожном покрытии неньютоновской жидкостью, за счёт своих особых свойств эта жидкость не даст провалиться колесу автомобиля в яму при проезде препятствия.

Успешная проверка выдвинутой гипотезы, а также достижение цели проекта требует выполнения следующих задач:

- описать свойства неньютоновской жидкости;
- рассмотреть области применения неньютоновских жидкостей;
- самостоятельно изготовить неньютоновскую жидкость и проверить описанные свойства;
- проверить в ходе эксперимента выдвинутую гипотезу и сделать вывод о возможности использования неньютоновской жидкости в ремонте дорог.

## Глава 1. Неньютоновская жидкость

### 1.1 Ньютоновская и неньютоновская жидкости

Описать движение жидкости гораздо труднее, чем решить задачи гидростатики, поэтому теория движения жидкостей начала разрабатываться относительно недавно. Одно из важнейших уравнений гидромеханики было получено в 1738 году швейцарским учёным Даниилом Бернулли. Данное уравнение имеет вид

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const,$$

где  $p$  – абсолютное давление,  $\rho$  – плотность,  $v$  – скорость,  $g$  – ускорение свободного падения,  $h$  – высота.

Уравнение Бернулли позволяет объяснить очень много интересных гидродинамических явлений, но гораздо больше явлений, происходящих в движущих жидкостях, с его помощью объяснить нельзя. Используя это уравнение, можно прийти к парадоксальным результатам, которые невозможны в природе. В частности, получается, что при протекании жидкости по трубе постоянного сечения давление не падает и жидкость течёт, не испытывая сопротивления. Не должны испытывать сопротивления и тела, движущиеся равномерно и прямолинейно. Таких жидкостей в природе нет, поэтому такую теоретическую жидкость назвали идеальной.

Реальная жидкость отличается от идеальной тем, что она обладает внутренним трением, или вязкостью. Два соприкасающихся элемента жидкости, двигающиеся в одном направлении, но с разными скоростями, воздействуют друг на друга. Сила взаимодействия ускоряет медленно движущийся элемент жидкости и замедляет более быстрый. И. Ньютон предположил, что величина этой силы (называемой силой внутреннего трения) пропорциональна разности скоростей элементов жидкости. В сплошной среде никаких элементов нет, и это понятие используют лишь для наглядности, а скорость жидкости распределена непрерывно. Следовательно сила  $F$  пропорциональна изменению скорости жидкости  $v$  в направлении, перпендикулярном движению, и зависит от площади  $S$  соприкосновения элементов жидкости:

$$F = \eta \frac{dv}{dy} S.$$

Это закон вязкого трения Ньютона. Коэффициент пропорциональности  $\eta$  в нём называется коэффициентом динамической вязкости. Жидкости, в которых внутреннее трение подобным образом зависит от изменения скорости, называются ньютоновскими, или жидкостями с линейной вязкостью. Ньютоновская вязкость зависит только от температуры и давления и не зависит от скорости сдвига.

В более строгой формулировке линейная зависимость вязкого трения от изменения скорости движения жидкости называется уравнением Навье-Стокса. Оно учитывает сжимаемость жидкостей и, в отличие от закона

Ньютона, справедливо не только вблизи поверхности твёрдого тела, но и в каждой точке жидкости.

Закон вязкого трения Ньютона можно переписать в другом виде:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} = \eta \gamma,$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига,  $\eta$  – коэффициент вязкости.

Тогда график зависимости между напряжением и скоростью сдвига (кривая течения) для ньютоновской жидкости представляет прямую линию (рис. 1).

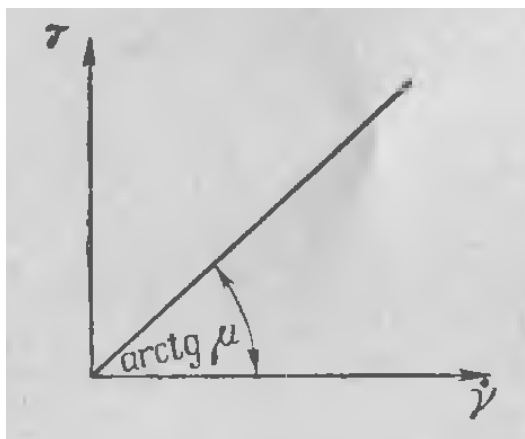


Рис. 1

Однако среди жидкостей довольно часто можно встретить такие, динамика которых описывается более сложными соотношениями: например, загустевающие краски, лаки, строительные растворы, мёд, смолы, глинистые и болотистые почвы. У таких жидкостей вязкость не остаётся постоянной при заданных температуре и давлении, а зависит от других факторов, в частности, от скорости деформации сдвига. Жидкости подобного рода называются неньютоновскими. Их можно разбить на три обширные группы:

- 1) системы, для которых скорость сдвига в каждой точке представляет некоторую функцию только напряжения сдвига в той же точке;
- 2) более сложные системы, в которых связь между напряжением и скоростью сдвига зависит от времени действия напряжения;
- 3) системы, обладающие свойствами как твёрдого тела, так и жидкости и частично проявляющие упругое восстановление формы после снятия напряжения (так называемые вязкоупругие жидкости).

Рассмотрим первую из них. Она, в свою очередь, делится ещё на три группы:

- бингамовские пластичные жидкости (бингамовские пластики);
- псевдопластичные жидкости (псевдопластики);
- дилатантные жидкости.

Жидкость, являющаяся объектом исследования (смесь крахмала с водой), называют дилатантной. Особенностью дилатантных жидкостей

является то, что в них отсутствует предел текучести, а кажущаяся вязкость повышается с возрастанием скорости сдвига. Кроме того, когда такие вещества подвергаются сдвигу с небольшой скоростью деформации, жидкость служит смазкой. При больших сдвигах вещество разбухает, увеличивается в объёме. Строго говоря, смесь крахмала с водой не является дилатантной жидкостью, поскольку не расширяется при сдвигах. Но, несмотря на это, к ней тоже применяют термин «дилатантная».

## **1.2 Применение неньютоновских жидкостей**

Удивительные свойства неньютоновских жидкостей позволяют применять их в самых разных областях, например, в косметологии. Всем нам хорошо знакомые крема, мази, гели для душа, шампуни являются неньютоновскими жидкостями. Широкое применение в этой области неньютоновские жидкости получили благодаря их вязкости. Чтобы косметика держалась на коже, её делают вязкой. Вязкость для каждого изделия подбирается индивидуально, в зависимости от того, для какой цели оно предназначено. Блеск для губ, например, должен быть достаточно вязким, чтобы долго оставаться на губах, но не слишком вязким, иначе тем, кто им пользуется, будет неприятно ощущать на губах что-то липкое. В массовом производстве косметики используют специальные вещества, называемые модификаторами вязкости. В домашней косметике для тех же целей используют разные масла и воск.

В гелях для душа вязкость регулируют для того, чтобы они оставались на теле достаточно долго, чтобы смыть грязь, но не дольше, чем нужно, иначе человек почувствует себя снова грязным. Обычно вязкость готового косметического средства изменяют искусственно, добавляя модификаторы вязкости.

Наибольшая вязкость — у мазей. Вязкость кремов — ниже, а лосьоны — наименее вязкие. Благодаря этому лосьоны ложатся на кожу более тонким слоем, чем мази и кремы, и действуют на кожу освежающе. По сравнению с более вязкой косметикой, их приятно использовать даже летом, хотя втирать их нужно сильнее и чаще приходится наносить повторно, так как они долго не задерживаются на коже. Кремы и мази дольше остаются на коже, чем лосьоны, и сильнее её увлажняют. Их особенно хорошо использовать зимой, когда в воздухе меньше влаги. В холодную погоду, когда кожа сохнет и трескается, очень помогают такие средства как, например, масло для тела — это что-то среднее между мазью и кремом. Мази намного дольше впитываются и после них кожа остается жирной, но они намного дольше остаются на теле. Поэтому их часто используют в медицине, и это ещё одна область применения неньютоновских жидкостей.

Стоит отметить, что одна из главных жидкостей нашего организма — кровь — тоже является неньютоновской. И от её вязкости зависит состояние здоровья человека. Высокая вязкость способствует возникновению ряда проблем. В частности, густая кровь хуже переносит кислород к тканям и

органам, что может привести к их повреждению, а в тяжёлых случаях – к отмиранию.

Используют неньютоновские жидкости и в кулинарии. Это различные соусы, майонезы и другие продукты, обладающие высокой вязкостью. Благодаря им можно не только сделать еду более аппетитной, но и улучшить оформление блюд. Например, йогурт или майонез не только сохраняют форму, которую им придали, но и поддерживают украшения, которые на них положили.

Находит своё применение неньютоновская жидкость и в военных целях. С давних пор защита человеческого тела от различного оружия является актуальной задачей. В настоящее время для защиты используют бронежилеты, состоящие из пластин. Одним из новых решений в области создания бронежилетов может стать броня на основе неньютоновской жидкости. Работу в этом направлении вели польские учёные из Института технологий безопасности Moratex. Современные кевларовые бронежилеты при попадании пули прогибаются на глубину до четырёх сантиметров. В результате человек может получить серьёзную травму в виде ушиба или перелома. В бронежилетах с неньютоновской жидкостью при правильно рассчитанной конструкции глубина деформации уменьшается до одного сантиметра, что вполне безопасно для человека.

Применяются неньютоновские жидкости и в других сферах деятельности человека: в нефтяной промышленности, мореплавании, пожаротушении и др.

Подводя небольшой итог, отмечу, что отличие неньютоновской жидкости от ньютоновской заключается в том, что первая может менять свою вязкость в зависимости от скорости деформации сдвига. Благодаря этому она может проявлять как свойства жидкости, так и свойства твёрдого тела, и находит своё применение в самых разных областях человеческой деятельности.

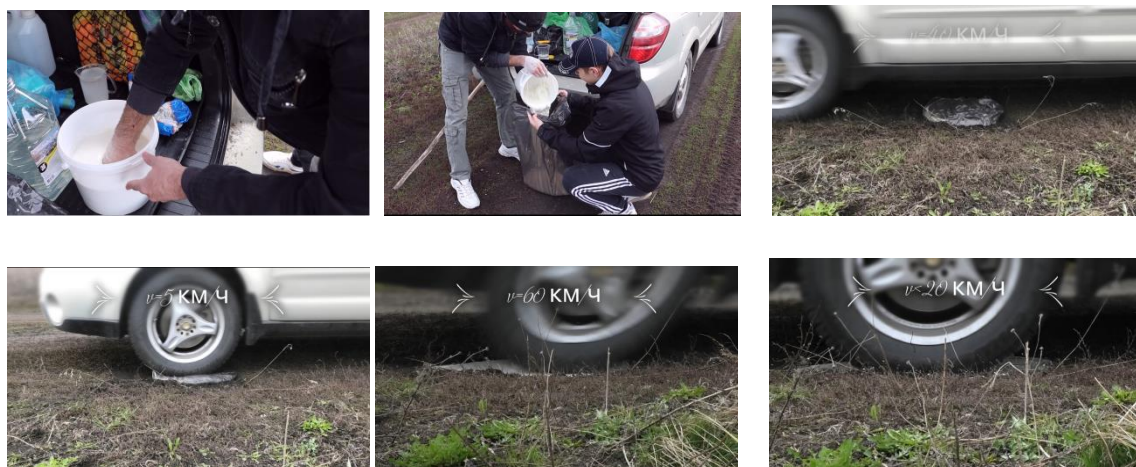
## Глава 2. Использование неньютоновской жидкости при ремонте автомобильных дорог

Для проверки выдвинутой гипотезы были созданы несколько идеализированные условия. В первую очередь хотелось проверить, выдержит ли неньютоновская жидкость проезд по ней автомобиля и какова должна быть минимальная скорость, чтобы колесо не увязло в ней. Поэтому была выбрана грунтовая дорога за чертой населённого пункта. На пути следования автомобиля выкопали яму. Для приготовления раствора было взято 7 кг крахмала. Смешивали его с водой в пропорции приблизительно 1:1. Полученную смесь налили в плотный пакет и упаковали в ещё один. Далее уложили пакеты в яму и устроили серию проездов по ней.

В каждом из заездов меняли скорость движения. В первой серии скорости были следующие: 60, 40, 20, 10 и 5 км/ч. Автомобиль двигался по жидкости, как по твёрдому покрытию. Колесо не провалилось в яму даже при скорости 5 км/ч. Внутри автомобиля не ощущалось никаких ударов со стороны подвески.

Далее решено было вылить жидкость из пакетов непосредственно в яму и продолжить испытания. Сразу же возник вопрос: «Будут ли брызги, как при проезде обыкновенной лужи с водой?» Во второй серии заездов скорости были следующие: 60, 40, 20 км/ч. Последний заезд провели на первой передаче со скоростью около 5-7 км/ч. И вновь жидкость не подвела. Как только колёса попадали на неё, смесь вела себя, словно твёрдое тело. Лишь небольшие волны после проезда напоминали о том, что в яме жидкость. И вопреки нашим опасениям не было абсолютно никаких брызг.

Таким образом, была полностью подтверждена выдвинутая гипотеза и достигнута цель проекта. Однако, несмотря на это, появились новые вопросы, которые также требуют экспериментальной проверки. Надеюсь, что работа в этом направлении будет продолжена.





## **Заключение**

Мир неньютоновских жидкостей очень разнообразен. И, как оказалось, обычные жидкости, которые нас окружают, являются не совсем обычными, ведут себя по-другому при определённых условиях.

В процессе выполнения проекта, я получил много полезной информации: узнал, что такое неньютоновская жидкость, чем она отличается от ньютоновской, где применяется. Работать было нелегко, поскольку в школьном курсе неньютоновские жидкости не изучаются, но в то же время интересно. Приходилось изучать специализированную литературу, энциклопедии. А в процессе проведения эксперимента вопросы появлялись один за другим. Будет ли влиять масса транспортного средства на то, увязнет ли колесо в жидкости при небольшой скорости или нет? И если увязнет, то какова минимальная скорость движения? Как лучше заполнять яму неньютоновской жидкостью: непосредственно наливать её или упаковывать? Каким должен быть материал для упаковки? Ответы на эти вопросы, думаю, займут не один проект. Текущий же считаю на этом завершённым.

### Список литературы

1. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / под ред. акад. АН БССР проф. А.В. Лыкова. Пер. с англ. канд. техн. наук З.П. Шульмана. – М.: Мир, 1964. – 216 с.
2. Физическая энциклопедия. Т. 3 Магнитоплазменный – Пойнтинга теорема / гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1992. 672 с.
3. Энциклопедия для детей. Том 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира / глав. ред. В.А. Володин. – М.: Аванта+, 2000. – 448 с.
4. Сайт Военное обозрение <https://topwar.ru>
5. Свободная энциклопедия Википедия <https://ru.wikipedia.org>
6. Справочник студенческий <https://spravochnick.ru/>