измерениях, которую разрешают использованием нескольких модулирующих колебаний на различных частотах.

Проанализировав решения, можно утверждать, что при соответствующем подходе вполне реально сконструировать систему, отвечающую запросам пользователя.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ КРОВИ

Сидаш А.А., гр. НАП-01.
Руководитель: Штепа А.А., ас. каф ЭТ

Большинство существующих методов исследования свертывания крови, основаны на установлении интервала между взятием крови и появлением в ней сгустка фибрина (унифицированный метод, метод Ли-Уайта, метод Е. Ковальски, метод Архипова и Еремина и др.). Весьма интересным является способ исследования динамики свертывания крови, позволяющий получать временную зависимость вязкости крови на протяжении всего процесса свертывания.

Методика измерения вязкости по затуханию колебаний камертона не требует погружения колеблющегося тела в исследуемую жидкость: капли вещества наносятся на поверхность камертона. Это позволяет уменьшить объем пробы до 1 мл и менее. Кроме того, описываемая лабораторная модель вискозиметра позволяет проводить измерения в режиме реального времени. Простота конструкции и доступность её компонентов делает лабораторную модель гораздо более дешёвой, чем промышленно выпускаемые приборы.

Основной частью экспериментальной установки является высокодобротный (добротность Q = 8500) лабораторный камертон [КАМ] (собственная частота f=1600 Гц), представляющий собой П-образную металлическую рамку. Камертон зажимается в механический зажим [МЗ]; Для предотвращения утечки энергии колебаний контакт стержня [С] и зажима [МЗ] осуществляется через механический изолятор [МИ].

На поверхность камертона (на его «ножки») наносятся капли [К1 и К2] исследуемой жидкости, размеры которых для большей точности могут быть измерены окуляр-микрометром микроскопа [МС]. Колебания камертона возбуждаются деревянным молоточком [ДМ] и регистрируются с помощью микрофона [МФ], подключённого к компьютеру [ПК] (см. рис. 1).

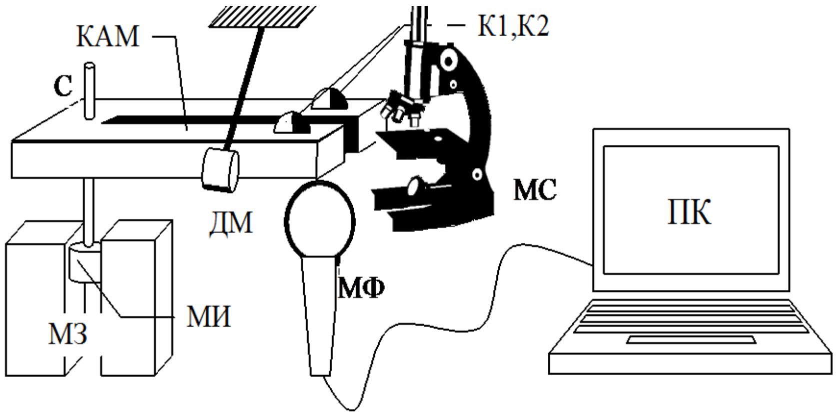

Рисунок 1 – Структура вискозиметра на основе высокодобротного камертона.

Для корректной интерпретации полученных результатов возникает необходимость теоретического описания поведения капли на поверхности осциллятора и нахождения связи декремента затухания γ гармонических колебаний камертона ($\gamma = \frac{1}{\tau}$, где τ – время, за которое амплитуда колебаний уменьшается в e раз) с динамической вязкостью среды η.

При колебании камертона и, следовательно, подножия капли по капле вверх бежит вязкая волна – волна, обусловленная вязкостью среды (капли). Такая волна является поперечной: частицы среды колеблются горизонтально, то есть перпендикулярно направлению распространения колебаний (волна бежит вверх). Рассмотрим слой жидкости массой Δm, совершающий колебания под действием результирующей сил вязкого трения со стороны нижележащего и вышележащего слоев (силы поверхностного натяжения в данной модели не учитываются). Основное уравнение динамики для него запишется в виде:

$$F_x(z+\Delta z,t) - F_x(z,t) = -\Delta m \frac{\Delta V_x(z,t)}{\Delta t} \quad (1),$$

где элемент массы $\Delta m = \rho \cdot S \cdot \Delta z$ (ρ - плотность жидкости, S - площадь слоя, Δz – толщина слоя). В то же время для силы вязкого трения имеем (формула Ньютона):

$$F_x = \eta \cdot S \cdot \frac{\partial V_x}{\partial z} \quad (2).$$

Подставляя (2) в (1), получаем:

$$\eta \frac{\partial^2 V_x(z,t)}{\partial z^2} = -\rho \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad (3).$$

Решение дифференциального уравнения (3) ищем в виде:

$$V_x = a \cdot \exp(i\omega \cdot t + ikz) + b \cdot \exp(i\omega t - ikz) \quad (4),$$

где первое слагаемое соответствует волне, бегущей от поверхности камертона вверх по капле, а второе – волне, отраженной от верхней границы капли и бегущей вниз.

Подставляя общий вид решения (4) в уравнение (3), находим:

$$k^2 = \frac{i\omega\rho}{\eta} \quad (5).$$

Это означает, что и для параметра затухания (δ), и для волнового числа (k) получаем:

$$\delta = k = \sqrt{\frac{\omega \cdot \rho}{2\eta}} \quad (6),$$

откуда для длины затухания (расстояния, на котором происходит уменьшение амплитуды колебаний в ***e*** раз) и длины волны имеем, соответственно:

$$l = \sqrt{\frac{2\eta}{\omega \cdot \rho}}; \qquad \lambda = 2\pi\sqrt{\frac{2\eta}{\omega \cdot \rho}} \quad (7).$$

Это является одним из свойств вязкой волны: длина затухания с точностью до множителя 2π совпадает длиной волны. Чтобы найти зависимость скорости слоя капли от времени и высоты, нужно рассмотреть граничные условия, которые записываются следующим образом:

$$V_x(t)\big|_{z=0} = V_0 \cdot \exp(i\omega \cdot t) \quad (8a)$$

$$\left.\frac{\partial V_x(t)}{\partial z}\right|_{z=H} = 0 \qquad (8б)$$

Условие 8(а) соответствует самому нижнему слою капли (***z* = *0***), колеблющемуся вместе с камертоном. Граничное условие для свободной границы 8(б) соответствует самому верхнему (***z* = *H***) слою капли.

Для амплитуд получаем:

$$b = V_0 \cdot \frac{1}{1+\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)} \qquad (9а),$$

$$a = V_0 \cdot \frac{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)}{1+\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)} \qquad (9б),$$

где H - высота капли, V_0 – амплитуда скорости колебаний камертона в месте нахождения капли, ω – циклическая частота колебаний.

Для решения уравнения (3) с учетом соотношений (9а, 9б) получаем:

$$V_x(z,t) = \frac{V_0 \exp(i\omega \cdot t)}{1+\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)} \cdot \left(\exp\left(\frac{(1-i)(2H-z)}{l}\right) + \exp\left(\frac{z-zi}{l}\right)\right) \qquad (10).$$

Для амплитуды силы вязкого трения (по формуле Ньютона), действующей со стороны капли на поверхность камертона, имеем:

$$F_0 = \frac{\eta S V_0}{l} \cdot \frac{1-\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)}{1+\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)} \qquad (11),$$

где S – площадь основания капли.

Так как энергетические потери состоят из двух частей: энергетические потери за счёт излучения (без капли) - ΔW_0 и за счёт вязкого трения в капле - $\Delta W_{вяз}$, то справедливо соотношение:

$$\Delta W = \Delta W_0 + \Delta W_{вяз} \qquad (12),$$

где ΔW - общая энергия потерь за небольшой промежуток времени Δt.

Тогда из формулы (12):

$$\Delta W_{вяз} = \Delta W - \Delta W_0 = k_{эфф} A_0^2 \Delta t(\gamma - \gamma_0) \qquad (13),$$

где $k_{эфф}$ – эффективный коэффициент жёсткости камертона, A_0 - амплитуда колебаний камертона, γ и γ_0 - декременты затухания с каплей и без неё.

С другой стороны, учитывая формулы (6),(10) и (11), получим:

$$\Delta W_{вяз} = 4\frac{\Delta t}{T}\int_0^{T/4} N \cdot dt = \frac{\sqrt{2\eta\omega\rho}\cdot \Delta t \omega^2 A_0^2 S}{4}\cdot \frac{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)-1}{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)+1} \qquad (14),$$

где $N = F \cdot V$ - мощность потерь; $F = F_0 \cdot \exp(i\omega t)$.

Приравняв (13) и (14), получим:

$$\sqrt{2\eta\omega\rho} = 4k_{эфф}\frac{(\gamma-\gamma_0)}{S}\cdot\frac{1}{\omega^2}\cdot\frac{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)+1}{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)-1} \qquad (15)$$

Преобразовав (15), имеем:

$$\eta = \frac{8(k_{эффф})^2}{\rho\omega^5}\left(\frac{(\gamma-\gamma_0)}{S}\right)^2\left(\frac{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)+1}{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)-1}\right)^2 \qquad (16)$$

Так как параметр затухания l зависит от вязкости (формула 7), то задача нахождения величины динамической вязкости η в общем случае приводит к решению трансцендентного уравнения (16). Однако в большинстве практически важных случаев, когда длина вязкой волны много меньшей высоты капли, множитель $\left(\frac{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)+1}{\exp\left(2H/l - 2H/l\, i\right)-1}\right)^2$, примерно равен единице и справедливо приближенное равенство:

$$\eta \approx \frac{8(k_{эффф})^2}{\rho\omega^5}\left(\frac{(\gamma-\gamma_0)}{S}\right)^2. \qquad (17)$$

Соотношение (17) и является рабочей формулой, так как связывает динамическую вязкость (определяемую величину) с измеряемыми экспериментально величинами и эффективным коэффициентом жёсткости камертона $k_{эфф}$.

Отличительными чертами представленной методики определения динамической вязкости жидкости по затуханию колебаний высокодобротного камертона являются: малые объемы пробы (около 1 мл), возможность работы в режиме реального времени (временное разрешение порядка 5 с), широкий диапазон измерений (0.1-5000 мПа·с). Простота конструкции делает описанную лабораторную модель вискозиметра удобной в настройке и более доступной, чем промышленно выпускаемые приборы. Благодаря своим преимуществам, представленная методика может быть полезна в учебном процессе при изучении таких разделов, как теория колебаний, явления переноса, а также в ряде практических приложений, например при биореологическом анализе крови.

Перечень ссылок.

1. И. Агафонов, А. Жданов, Исследование динамики свертывания крови (Blood clotting dynamics study), Конкурс рефератов "Молодежь и наука", сборник материалов, с. 24, Москва 2003

2. Ю.М. Неменова, Методы клинических лабораторных исследований, Москва, «Медицина», 1967

3. А. Г. Жданов, А.П. Пятаков, Измерение динамической вязкости по затуханию колебаний высокодобротного камертона, Физическое образование в ВУЗах, № 4, 2002

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Томилин Е.М., ГР. НАП-02,

Руководитель: проф. Чичикало Н.И.

Комплекс приборов ГСП типа КС в комплекте с первичными измерительными преобразователями может применяться для измерения, записи и автоматического регулирования температуры, Э.Д.С. постоянного тока, уровня и т.д. Рассмотрим одну из многоточечных версий на примере потенциометра КСП2. К нему может быть подключено 12 датчиков температуры, в качестве которых могут использоваться термоэлектрические термометры типа ТХК с диапазоном измерения 0 - 100 °С. В интересующем нас диапазоне измерения основная погрешность показаний составит не более чем ±0.5 °С.