

Научная статья

УДК 532.135

DOI 10.18101/2306-2363-2021-1-66-76

**НИЗКОЧАСТОТНАЯ ( $10^5$ ) СДВИГОВАЯ УПРУГОСТЬ  
ОБЫЧНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

© **Бадмаев Б. Б.**

доктор технических наук, заведующий  
лаборатория физики молекулярных структур  
Институт физического материаловедения СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
lmf@ipms.bscnet.ru

© **Дембелова Т. С.**

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник  
лаборатория физики молекулярных структур  
Институт физического материаловедения СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
tu\_dembel@mail.ru

© **Сандитов Д. С.**

доктор физико-математических наук, профессор  
кафедра общей и теоретической физики  
Бурятский государственный университет  
главный научный сотрудник  
лаборатория физики молекулярных структур  
Институт физического материаловедения СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
lmf@ipms.bscnet.ru

© **Макарова Д. Н.**

научный сотрудник  
лаборатория физики молекулярных структур  
Институт физического материаловедения СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
dagzama@mail.ru

© **Вершинина Д. Н.**

младший научный сотрудник  
лаборатория физики молекулярных структур  
Институт физического материаловедения СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
vershinina.eugenia@gmail.com

© **Федорова С. Б.**

аспирант, лаборатория физики молекулярных структур  
Институт физического материаловедения СО РАН  
670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
lmf@ipms.bscnet.ru

**Аннотация.** Приведены результаты исследования низкочастотной ( $10^5$  Гц) сдвиговой упругости обычных и полимерных жидкостей. Предположено, что низкочастотная вязкоупругая релаксация жидкостей обусловлена распадом и восстановлением флуктуационных кластеров. Распад кластера, очевидно, происходит путем перехода “связанная молекула — свободная молекула”, напоминающего распад капли жидкости за счет испарения отдельных молекул. Многоступенчатый процесс характеризуется большим временем релаксации. Время жизни кластера велико не из-за кинетических единиц крупных размеров, а вследствие большого числа связанных молекул, входящих в кластер. Из-за достаточно большого времени жизни кластер не успевает реагировать на внешние низкочастотные воздействия, а это и означает, что жидкость при низких частотах проявляет упругие свойства. Для объяснения данного процесса предложена кластерная модель строения жидкости. Предварительная оценка, проведенная в рамках кластерной модели, приводит к сравнительно высокому значению среднего числа кинетических единиц, входящих в кластер. Повидимому, вязкоупругая релаксация в жидкостях относится к низкоэнергетическим физическим процессам.

**Ключевые слова:** жидкость, пьезокварц, упругость, релаксация, вязкость, волна, кластер, модель.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-48-030020 р\_а.

#### **Для цитирования**

*Бадмаев Б. Б., Дембелова Т. С., Сандитов Д. С., Макарова Д. Н., Вершинина Д. Н., Федорова С. Б.* Низкочастотная ( $10^5$ ) сдвиговая упругость обычных и полимерных жидкостей // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2021. Вып. 1. С. 66–76.

#### **Введение**

Важнейшей структурной характеристикой жидкости является период релаксации  $\tau$  — время перехода из неравновесного в равновесное состояние. В теории жидкости Френкеля [1] период релаксации оценивается по скорости самодиффузии приравниванием этого периода к времени оседлого существования отдельных молекул, и для маловязких жидкостей он равен  $10^{-11}$ – $10^{-12}$  с. Оценка времени релаксации неравновесного состояния по реологической модели Максвелла также дает значение для  $\tau$  порядка  $10^{-10}$  с. Следовательно, для таких жидкостей динамическая сдвиговая упругость может быть обнаружена именно при таких периодах сдвиговых колебаний и эта область недостижима для акустических методов исследования.

Однако в работах [2-4] впервые было показано, что все жидкости, независимо от их вязкости и полярности, обладают сдвиговой упругостью при частоте сдвиговых колебаний порядка  $10^5$  Гц.

Детальное исследование данного свойства для различных жидкостей в зависимости от толщины прослойки показало, что сдвиговая упругость является свойством жидкости в объеме. Наличие низкочастотной сдвиговой упругости говорит о том, что в жидкостях существует неизвестная ранее низкочастотная вязкоупругая релаксация, определяемая, по-видимому, коллективными взаимодействиями больших групп молекул — кластеров. Время релаксации больших

групп молекул может на много порядков превышать время оседлого существования отдельных молекул.

### Акустический резонансный метод

Акустический резонансный метод измерения сдвиговой упругости жидкостей основан на применении пьезокварцевого кристалла X-18.5° среза, в виде прямоугольного бруска [5, 6]. Грань, колеблющаяся на основной резонансной частоте в собственной плоскости, соприкасается на одном конце с прослойкой исследуемой жидкости, накрытой кварцевой накладкой. При тангенциальных смещениях грани пьезокварца прослойка жидкости будет испытывать деформации сдвига и в ней должны установиться стоячие сдвиговые волны. Накладка при этом будет практически покоиться. В зависимости от толщины прослойки жидкости изменяются параметры резонансной кривой пьезокварца: собственная резонансная частота и ширина резонансной кривой. Если прослойка жидкости обладает сдвиговой упругостью, то резонансная частота будет возрастать по сравнению с частотой свободного пьезокварца. В случае, если бы в прослойке действовали только диссипативные вязкие силы, то резонансная частота должна уменьшаться. Метод отличается высокой чувствительностью, и применим в широком диапазоне измеряемых вязкостей.

Была решена общая задача взаимодействия колебательной системы пьезокварц — прослойка жидкости — накладка [5, 6].

Решение данной задачи дает следующее выражение для комплексного сдвига резонансной частоты пьезокварца:

$$\Delta f^* = \frac{S \cdot \chi^* G^*}{4\pi^2 M f_0} \cdot \frac{1 + \cos(2 \cdot \chi^* H - \varphi^*)}{\sin(2 \cdot \chi^* H - \varphi^*)}, \quad (1)$$

где  $S$  — площадь основания накладки,  $\chi^* = \beta - i\alpha$  — комплексное волновое число жидкости,  $\beta$  — его действительная,  $\alpha$  — мнимая части,  $H$  — толщина жидкой прослойки,  $G^*$  — комплексный модуль сдвига,  $\varphi^*$  — комплексный сдвиг фазы при отражении волны от границы жидкость-накладка,  $M$  — масса пьезокварца,  $f_0$  — резонансная частота.

Разделение (1) на действительную  $\Delta f'$  и мнимую  $\Delta f''$  части дает для сдвигов частот следующие выражения:

$$\Delta f' = \frac{S}{4\pi^2 M f_0} \cdot \frac{(G' \beta + G'' \alpha) \sin 2\beta H + (G' \alpha - G'' \beta) \operatorname{sh} 2\alpha H}{ch 2\alpha H - \cos 2\beta H}, \quad (2)$$

$$\Delta f'' = \frac{S}{4\pi^2 M f_0} \cdot \frac{(G'' \beta - G' \alpha) \sin 2\beta H + (G'' \alpha - G' \beta) \operatorname{sh} 2\alpha H}{ch 2\alpha H - \cos 2\beta H}. \quad (3)$$

При малых толщинах жидкой прослойки, когда толщина много меньше длины сдвиговой волны,  $H \ll \lambda$  и, в предположении, что накладка при колебаниях пьезокварца практически покоится ( $\varphi^*=0$ ), формулы (2) и (3) предельно упрощаются, и для действительной и мнимой частей комплексного модуля сдвига получаются следующие расчетные формулы:

$$G' = \frac{4\pi^2 M f_0 \Delta f' H}{S}, \quad G'' = \frac{4\pi^2 M f_0 \Delta f'' H}{S}. \quad (4)$$

Для тангенса угла механических потерь будем иметь:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{G''}{G'} = \frac{\Delta f''}{\Delta f'}. \quad (5)$$

Мнимый сдвиг резонансной частоты  $\Delta f''$  определяется изменением затухания колебательной системы, т.е. он равен половине изменения ширины резонансной кривой.

Другой способ определения  $G'$  основан на измерении длины сдвиговых волн  $\lambda$  по экспериментально найденным максимумам затухания. Приравнивая к нулю производную по толщине от мнимого сдвига частоты (3), получим положения экстремальных значений в виде  $H = \frac{\lambda}{4} n$ , где четные значения  $n$  относятся к максимальным, а нечетные значения — к минимальным значениям. Отсюда можно видеть, что в случае с накладкой первый максимум затухания будет наблюдаться при толщине прослойки, равной  $\lambda/2$ . Используя соотношение

$(\chi^*)^2 = \frac{\omega^2 \rho}{G^*}$  для  $G'$  получим следующую расчетную формулу:

$$G' = \lambda^2 f_0^2 \rho \cos \theta \cdot \cos^2 \frac{\theta}{2}, \quad (6)$$

где  $f_0$  — резонансная частота пьезокварца,  $\rho$  — плотность исследуемой жидкости,  $\theta$  — угол механических потерь.

### Экспериментальные результаты

Порядок проведения измерений был следующий. Сразу же после очистки на рабочую поверхность пьезокварца наносилась исследуемая жидкость. После определения толщины прослойки измерялись резонансная частота и ширина резонансной кривой при различных толщинах прослойки жидкости. Из выражения (4) можно видеть, что при наличии у жидкостей комплексного модуля сдвига зависимости действительного и мнимого сдвига резонансной частоты должны быть пропорциональны обратной величине толщины прослойки жидкости. Именно такие зависимости получаются со всеми исследованными жидкостями. На рис. 1 показаны зависимости действительного сдвига частоты пьезокварца от обратной толщины пленки для трех жидкостей: триэтиленгликоля, дибутилфталата и воды. Видно, что линейные зависимости сходятся к началу координат, что свидетельствует о наличии у этих жидкостей объемного модуля сдвига. На рис. 2 приводятся зависимости мнимого сдвига частоты от обратной толщины прослойки для тех же жидкостей. Зависимости также линейные, сходящиеся к началу координат [5, 6, 7].

Из рис. 1 и 2 можно определить значения действительного и мнимого сдвигов резонансной частоты и по выражениям (4) и (5) рассчитать значения действительного модуля сдвига  $G'$  и тангенса угла механических потерь  $\operatorname{tg} \theta$ . Так например для дибутилфталата  $G' = 0.82 \cdot 10^5$  Па, а  $\operatorname{tg} \theta = 0.21$  [7]. Полученные ре-

зультаты для других жидкостей приведены в табл. 1. В первом столбце указаны температуры эксперимента, во втором столбце приведены измеренные значения модуля сдвиговой упругости, в третьем — значения тангенса угла механических потерь. В следующем столбце даны значения табличной вязкости, а в последнем столбце приведены значения вязкости, рассчитанные по формуле реологической

$$\text{модели Максвелла } \eta_{\text{eff}} = \frac{G' (1 + \text{tg}^2 \theta)}{\omega \text{tg} \theta}.$$

Наличие сдвиговой упругости при низких частотах показывает, что в жидкостях существует неизвестный ранее низкочастотный вязкоупругий релаксационный процесс. Тот факт, что у большинства жидкостей тангенс угла механических потерь оказывается меньше единицы, говорит о том, что частота наблюдаемого вязкоупругого релаксационного процесса меньше частоты эксперимента, которая составляла 74 кГц.

Из табл. 1 видно, что для жидкостей рассчитанные вязкости оказываются намного больше известных табличных значений. Так, например, для дибутилфталата  $\eta_T = 0.02$  Па·с,  $\eta_M = 0.9$  Па·с. Простая механическая модель Максвелла с одним временем релаксации не может адекватно описывать поведения реальных жидкостей. Тем не менее, можно предположить, что при малых сдвиговых колебаниях структура жидкости остается неизменной, и это может соответствовать большим вязкостям, т.е. аномально большим периодам релаксации. Табличная же вязкость будет относиться к жидкости с разрушенной пространственной структурой, соответствующей ламинарному течению в обычных вискозиметрах, где сдвиговые деформации равны бесконечности.

Доказательство возможности распространения низкочастотных сдвиговых волн в жидкостях явилось бы важным подтверждением того, что наблюдаемая сдвиговая упругость является свойством жидкости в объеме. При дальнейшем увеличении толщины жидкой прослойки  $H$  будет наблюдаться осцилляция сдвигов частот. Когда толщина слоя жидкости будет равна половине длины сдвиговой волны, должен наблюдаться первый максимум затухания пьезокварца. Таким образом, можно реализовать ультразвуковой интерферометр на сдвиговых волнах в жидкости [5-8].

На рис. 3 показаны экспериментальные результаты для ПМС-52000 [5, 6]. Кривая 1 относится к зависимости действительного сдвига частоты от толщины прослойки, а кривая 2 — к мнимому сдвигу частоты. Из графика следует, что для этой жидкости  $\lambda = 220$  мкм. По расстоянию  $\Delta H$  между первым минимумом и максимумом действительного сдвига частоты для тангенса угла механических потерь получим значение, равное 0,5. По формуле (6) сдвиговая упругость для ПМС-52000 оказывается равной  $2.4 \cdot 10^5$  Па. Это значение немного меньше значения, приведенного в табл. 1, полученного первым способом, когда  $H \ll \lambda$  [5, 6].

На рис. 3 сплошными линиями нанесены теоретические кривые, построенные по формулам (2) и (3) для полученных значений упругости и угла механических потерь. Совпадение экспериментальных и теоретических кривых удовлетворительное. Результаты исследования других жидкостей приведены в табл. 2.

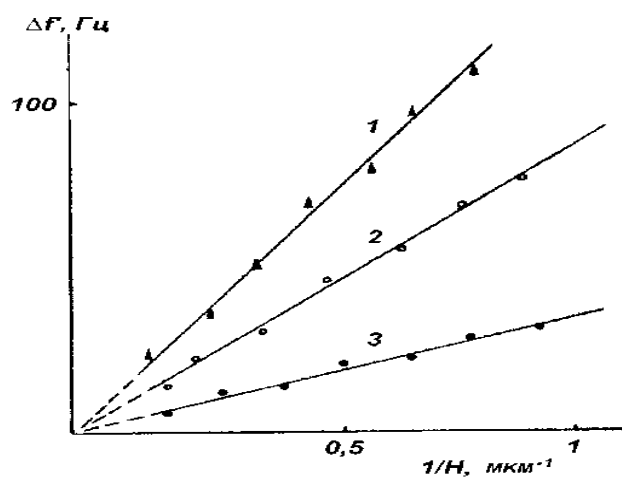


Рис. 1. Зависимости  $\Delta f'$  от  $1/H$  для триэтиленгликоля (1), дибутилфталата (2) и воды (3).

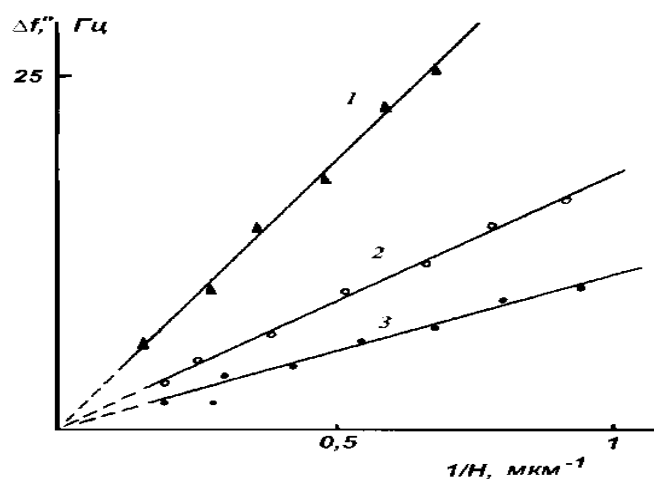


Рис. 2. Зависимости  $\Delta f''$  от  $1/H$  для триэтиленгликоля (1), дибутилфталата (2) и воды (3)

Таблица 1

Вязкоупругие характеристики различных жидкостей

№	Жидкости	$t^{\circ}C$	$G' \cdot 10^{-5}$ , Па	$tg\theta$	$\eta_l$ , Па·с	$\eta_m$ , Па·с
1.	Вода	23	0,31	0,3	0,001	0,242
2.	Дибутилфталат	21	0,82	0,21	0,02	0,9
3.	Диметилфталат	23	0,97	0,11	0,016	1,91
4.	Этиленгликоль	23	0,91	0,24	0,019	0,861
5.	Триэтиленгликоль	24	1,28	0,27	0,032	1,101
6.	Диэтиленгликоль	23	1,46	0,31	0,034	1,07
7.	Вазелиновое масло	24	1,36	0,51	0,099	0,71

8.	ПМС-100	23	0,6	0,5	0,1	0,322
9.	ПМС-400	21	1,24	0,75	0,4	0,555
10.	ПМС-900	22	1,35	0,8	0,9	0,595
11.	ПЭС-1	23	9,83	0,11	0,003	19,448
12.	ПЭС-2	24	4,81	0,63	0,012	2,32
13.	ПЭС-3	24	3,45	0,87	0,014	1,516
14.	ПМС-52000	24	2,6	0,5	52	1,391

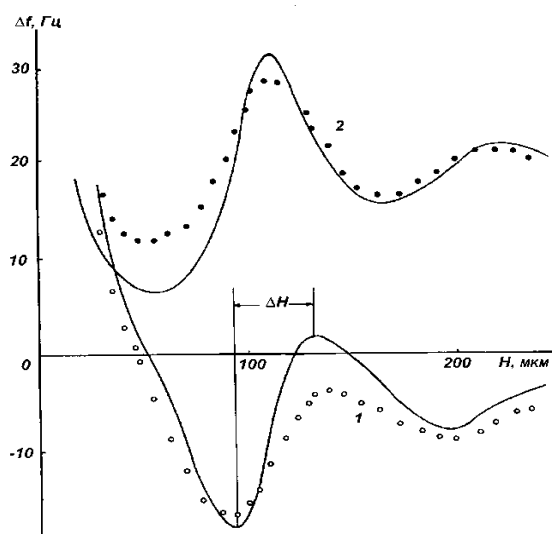


Рис. 3. Зависимости теоретических (сплошные линии) и экспериментальных (точки) сдвигов частот от толщины жидкой прослойки для ПМС-52000: 1 — действительный, 2 — мнимый сдвиг частот

Таблица 2

Модули упругости жидкостей, рассчитанные по длине сдвиговых волн

Жидкости	$t^{\circ}C$	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , мкм	$G' \cdot 10^{-5}$ , Па	$G'' \cdot 10^{-5}$ , Па При $H \ll \lambda$
ПМС-400	22	0.97	160	1.00	1.24
ПМС-900	23	0.98	170	1.08	1.35
ПМС-5384	23	0.98	200	1.80	2.12
ПМС-20000	24	0.98	210	1.93	2.36
ПМС-52000	23	0.98	220	2.40	2.60

Таким образом, измерение сдвиговой упругости жидкостей двумя способами акустического резонансного метода и их удовлетворительное согласие показывает, что низкочастотная сдвиговая упругость является объемным свойством жидкостей. Это доказывает, что в жидкостях существует низкочастотная вязкоупругая релаксация.

Для объяснения низкочастотного релаксационного процесса в жидкостях профессором Сандитовым Д.С. предложена кластерная модель строения жидко-

сти [9-11]. Обсуждается модель Исаковича–Чабан [12], где сильновязкая жидкость рассматривается как микронеоднородная среда, состоящая из двух динамических компонентов: упорядоченных микрообластей — кластеров, расположенных в неупорядоченной рыхлоупакованной матрице. При внешних воздействиях кластеры испытывают перестройку, что выражается в диффузионном обмене “дырками” — возбужденными молекулами между этими двумя компонентами. Время жизни кластеров должно быть больше периода звуковых колебаний. По отношению к ним не делается других ограничений.

Профессор Сандитов Д.С. предполагает, что подобная динамическая структурная микронеоднородность характерна не только для сильновязких жидкостей, но и для простых жидкостей с малой вязкостью, т.е. является характерной чертой структуры всех жидкостей. Между сильновязкими и слабвязкими жидкостями нет принципиального качественного различия. Есть лишь количественное различие, а именно время жизни кластеров у простых жидкостей существенно меньше, чем у сильновязких жидкостей [7-11].

С этих позиций низкочастотная вязкоупругая релаксация жидкостей обусловлена распадом и восстановлением таких флуктуационных кластеров — динамических микронеоднородностей структуры, которые с течением времени образуются и распадаются. Предполагается, что распад кластера происходит путем перехода “связанная молекула — свободная молекула”, напоминающего распад капли жидкости за счет испарения отдельных молекул. Такой многоступенчатый процесс характеризуется большим временем релаксации  $\tau$ . Таким образом, время жизни кластера велико не из-за кинетических единиц крупных размеров, а вследствие большого числа связанных молекул  $z$ , входящих в кластер. В свою очередь, из-за достаточно большого времени жизни кластер не успевает реагировать на внешние низкочастотные воздействия, а это и означает, что жидкость при низких частотах (порядка  $10^5$  Гц) проявляет упругие свойства. Предварительная оценка, проведенная в рамках кластерной модели, приводит к сравнительно высокому значению среднего числа кинетических единиц, входящих в кластер, равному  $z \approx 10^2-10^4$  [7-11].

Энтропийная трактовка предэкспоненциального множителя  $B$  в известном уравнении времени релаксации приводит к выводу о том, что величина  $B_\lambda$  для низкочастотного релаксационного процесса в  $z$  раз больше, чем в случае высокочастотного релаксационного перехода.

По приближенной формуле

$$U = \left( R \ln \frac{\nu_1}{\nu_2} \right) \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)^{-1},$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — температуры максимумов на спектре внутреннего трения ( $\text{tg} \theta - T$ ) соответственно при частотах  $\nu_1 = 40$  кГц и  $\nu_2 = 74$  кГц, для вазелинового масла получена следующая оценка энергии активации:  $U \approx 21,6$  кДж/моль ( $\sim 5$  ккал/моль). По-видимому, вязкоупругая релаксация в жидкостях относится к низкоэнергетическим физическим процессам [7-11]. Исследования низкочастотного неньютоновского поведения жидкости рассматриваются также в работах других исследователей [13-18].



### Литература

1. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. Ленинград: Наука, 1975. 592 с.
2. Базарон У. Б., Дерягин Б. В., Булгадаев А. В. Измерение сдвиговой упругости жидкостей и их граничных слоев резонансным методом // ЖЭТФ. 1966. Т. 51, вып. 4(10). С. 969–981.
3. Базарон У. Б., Дерягин Б. В., Булгадаев А. В. О сдвиговой упругости граничных слоев жидкостей // ДАН СССР. 1965. Т.160, № 44. С. 799–803.
4. Базарон У. Б., Дерягин Б. В., Булгадаев А. В. Исследование сдвиговой упругости жидкостей и их граничных слоев динамическим методом // ДАН СССР. 1966. Т.166, № 3. С. 639–643.
5. Базарон У. Б. Низкочастотная сдвиговая упругость жидкостей. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ, 2000. 166 с.
6. Бадмаев Б. Б., Дембелова Т. С., Дамдинов Б. Б. Вязкоупругие свойства полимерных жидкостей. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ, 2013. 190 с.
7. Бадмаев Б. Б. Низкочастотные сдвиговые вязкоупругие свойства жидких сред: автореф. дисс. д.-ра. техн. наук. Улан-Удэ, 2004. 36 с.
8. Бадмаев Б. Б., Дембелова Т. С., Макарова Д. Н., Гулгенов Ч. Ж. Ультразвуковой интерферометр на сдвиговых волнах в жидкостях // Изв. ВУЗов. Физика. 2019. Т. 62, № 9 (741). С. 151–156.
9. Бадмаев Б. Б., Дамдинов Б. Б., Сандитов Д. С. Низкочастотные сдвиговые параметры жидких вязкоупругих материалов // Акустический журнал. 2004. Т. 50, № 2. С. 156–160.
10. Сандитов Д. С. Дырочно-кластерная модель низкочастотной сдвиговой упругости жидкостей // Доклады СО АН ВШ. 2001. № 2(4). С. 38–44.
11. Дамдинов Б. Б. Сдвиговые вязкоупругие свойства жидкостей. Улан-Удэ: Изд-во Бурятский госуниверситет, 2011. 132 с.
12. Исакович М. А., Чабан И. А. Распространение волн в сильновязких жидкостях // ЖЭТФ. 1966. Т. 50, № 5. С. 1343–1362.
13. Collin D., Martinoty P. Dynamic macroscopic heterogeneities in a flexible linear polymer melt // Physica A. 2003. V. 320. P. 235–248.
14. Kavehpoor H. P., McKinley G. H. Triborheometry from gap-dependent rheology to tribology // Trib. Lett. 2004. V. 17(2). P. 327–336.
15. Noirez L., Baroni P. Revealing the solid-like nature of glycerol at ambient temperature // J. Molecular Structure. 2010. V. 972. P. 16–21.
16. Noirez L., Baroni P. Identification of a low-frequency elastic behaviour in liquid water // J. Phys.: Condens. Matter. 2012. V. 24. 372101.
17. Есипов И. Б., Зозуля О. М., Миронов М. А. Медленная кинетика нелинейности вязкоупругих свойств нефти при сдвиговых колебаниях // Акуст. журн. 2014. Т. 60, № 2. С. 166.
18. Макарова Д. Н., Есипов И. Б. Сдвиговые вязкоупругие свойства бурового раствора (бентонита) // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2018. № 2–3. С. 45–49.

Статья поступила в редакцию 27.11.2020; одобрена после рецензирования 28.01.2021; принята к публикации 29.01.2021.

LOW FREQUENCY ( $10^5$ ) SHEAR ELASTICITY OF CONVENTIONAL  
AND POLYMER FLUIDS

*Badmaev B. B.*

Doctor of Technical Sciences  
Head of the Laboratory of Molecular Structures Physics  
Institute of Physical Materials Science of the SB RAS  
670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy str., 6  
lmf@ipms.bscnet.ru

*Dembelova T. S.*

Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher  
Laboratory of Molecular Structures Physics  
Institute of Physical Materials Science of the SB RAS  
670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy str., 6  
tu\_dembel@mail.ru

*Sanditov D. S.*

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor  
Department of General and Theoretical Physics  
Buryat State University  
Chief Researcher of the Laboratory of Molecular Structure Physics  
Institute of Physical Materials Science of the SB RAS  
670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy str., 6  
lmf@ipms.bscnet.ru

*Makarova D. N.*

Researcher  
Laboratory of Molecular Structures Physics  
Institute of Physical Materials Science of the SB RAS  
670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy str., 6  
dagzama@mail.ru

*Vershinina E. D.*

Research Assistant  
Laboratory of Molecular Structures Physics  
Institute of Physical Materials Science of the SB RAS  
670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy str., 6  
vershinina.eugenia@gmail.com

*Fedorova S. B.*

Postgraduate student  
Laboratory of Molecular Structures Physics  
Institute of Physical Materials Science of the SB RAS  
670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy str., 6  
lmf@ipms.bscnet.ru

*Abstract.* The results of the study of low-frequency (105 Hz) shear elasticity of ordinary and polymer liquids are presented. It is assumed that the low-frequency viscoelastic relaxation of liquids is caused by the decay and recovery of fluctuation clusters. The cluster decays, apparently, by a «bound molecule – free molecule» transition, which resembles the

disintegration of a liquid drop due to the evaporation of individual molecules. The multi-stage process is characterized by a long relaxation time. The cluster lifetime is long, not because of the large kinetic units, but because of the large number of bound molecules that make up the cluster. Due to the rather long lifetime, the cluster does not have time to react to external low-frequency influences, which means that the liquid exhibits elastic properties at low frequencies. To explain this process, a cluster model of the fluid structure is proposed. The preliminary estimation carried out within the framework of the cluster model leads to a relatively high value of the average number of kinetic units included in the cluster. Apparently, viscoelastic relaxation in liquids refers to low-energy physical processes.

*Keywords:* liquid, piezoquartz, elasticity, relaxation, viscosity, wave, cluster, model.

*Acknowledgments*

This work was financially supported by RFBR Grant no. 18-48-030020 r\_a.

*For citation*

*Badmaev B. B., Dembelova T. S., Sanditov D. S., Makarova D. N., Vershinina E. D., Fedorova S. B. Low Frequency ( $10^5$ ) Shear Elasticity of Conventional and Polymer Fluids // Bulletin of Buryat State University. Chemistry. Physics. 2021; 1: 66–76 (In Russ.).*

*The article was submitted 27.11.2020; approved after reviewing 28.01.2021; accepted for publication 29.01.2021.*