

УДК 539.2/.6

**РАЗРАБОТКА ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ  
В ДИАПАЗОНЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ****4. Анализ погрешностей измерения диэлектрических  
параметров полярных жидкостей вариационным методом****С.М.УСЕЙНОВА***Бакинский Государственный Университет*  
*nushana\_kasimova@yahoo.com*

*По литературным данным применение существующих методов исследования диэлектрических свойств полярных жидкостей в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) весьма ограничено. Поэтому был разработан новый вариационный метод, который позволяет снять все эти ограничения: диэлектрические параметры ( $\xi'$  и  $\xi''$ ) всех полярных жидкостей и их растворов могут быть определены применяя этот метод. На основе теоретических принципов вариационного метода были решены исходные уравнения и разработан графический метод решения и автоматизированная методика расчета  $\xi'$  и  $\xi''$ . Данная статья посвящена математическому расчету всех возможных погрешностей при определении  $\xi'$  и  $\xi''$  полярных жидкостей данным методом. Следует отметить, что они минимальны (1,5-2%) при сравнении со всеми существующими методами.*

**Ключевые слова:** вариационный метод, диэлектрические параметры, полярные жидкости, теоретический принцип метода, погрешности.

Для построения теории жидких веществ можно опираться на совокупность экспериментальных данных физических исследований макроскопических характеристик, которые неразрывно связаны с молекулярными параметрами и иллюстрируют структуру и движение молекул, связанных с природой и механизмом проявления специфических и универсальных взаимодействий, а также характером ближнего окружения молекул в жидкости.

К числу эффективных методов исследования жидкостей современной физики, занимающихся изучением структурных особенностей и молекулярного движения наряду с такими методами как релеевское рассеивание света, инфракрасная и ЯМР-спектроскопия могут быть причислены

методы диэлектрической радиоскопии.

Диэлектрические методы исследования вещества обосновываются на изучении возникновения диэлектрической поляризации и процессов ее установления во времени под действием внешнего электрического поля. При том, если равновесные (статические) диэлектрические свойства отражают суммарный вклад всех кинетических единиц, составляющих вещество, то динамические диэлектрические свойства наглядно демонстрируют долю каждого из них, обусловленного структурными, фазовыми и конформационными особенностями и агрегатным состоянием вещества.

При применении диэлектрических методов исследований, которые базируются на взаимосвязи между микроскопическими параметрами исследуемой жидкости - временем релаксации ( $\tau$ ), характеризующей скорость реакции молекулярного поля, в соответствии с ее размерами и массой, а также окружающей ее ближней средой, в тепловом движении и макроскопическими диэлектрическими свойствами вещества, полученные данные могут стать основой построения молекулярной модели вещества.

Применение диэлектрических методов к исследованию жидкостей позволяют путем оценки поведения частотных и температурных зависимостей диэлектрической проницаемости ( $\xi'$ ) и диэлектрических потерь ( $\xi''$ ) определять значение дипольных моментов ( $\mu$ ) полярных молекул, поляризуемости ( $\alpha$ ), энергии активации дипольной релаксации, характер ориентации диполей и ряд других важных характеристик вещества, времени релаксации ( $\tau$ ), вернее распределение времени релаксации, вблизи наиболее вероятного его значения, которая также сильно меняется с температурой, может быть определена либо из частотных, либо из температурной зависимости диэлектрических коэффициентов. Но для достоверности представлений о молекулярной структуре и характере взаимодействий в веществе пользуются совокупностью данных обеих зависимостей, снятых в достаточно широких пределах частоты внешнего электрического поля и температуры (14-17).

К настоящему времени накоплен достаточно обширный экспериментальный материал (5,8,9,10) и диэлектрических свойствах и релаксационных характеристиках целого ряда чистых жидкостей, к которым легко применима молекулярная модель Дебая. Но объекты в которых преобладает тип межмолекулярного взаимодействия в исходных компонентах (бинарные и другие системы растворов полярных жидкостей), полярные жидкости и растворы, обладающие заметными диэлектрическими потерями изучены сравнительно мало и истолкование степени влияния на общую релаксационную характеристику отдельных кинетических единиц и сил межмолекулярного взаимодействия по сравнению с чистыми жидкостями довольно ограничена. Именно эти особенности стали причиной возникающих технических трудностей и не позволяют применять извест-

ные методы диэлектрических параметров, основанных на анализе экспериментально снимаемой зависимости коэффициента стоячей волны (КСВ~η) от толщины исследуемой жидкости в измерительной ячейке. Указанное обстоятельство привело к необходимости разработке нового, удобного "вариационного метода", допускающего измерение диэлектрических параметров полярных жидкостей и растворов, обладающих высоким диэлектрическими потерями в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ).

Для оценки погрешности измерения диэлектрических параметров жидкости, разработанным вариационным методом, уравнения (4.1) и (4.2):

$$\xi_1 = \frac{1-y^2}{u^2}; \quad (4.1)$$

$$\xi_2 = \frac{2y}{u^2}; \quad (4.2)$$

проведя следующие преобразования,

$$\xi_1 = \frac{\xi' - P}{1 - P}; \quad \xi_2 = \frac{\xi''}{1 - P};$$

где  $u = \frac{\lambda_g}{\lambda_b}$ ;  $y = tg \frac{\Delta}{2}$ ;  $\Delta = \arctg \frac{\xi_2}{\xi_1}$ ;

$$P = \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2;$$

далее

$$\xi' = \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2 (1 - tg^2 \Delta / 2);$$

$$\xi'' = \left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2 tg \frac{\Delta}{2};$$

где,  $\xi'$  – диэлектрическая проницаемость,  $\xi''$  – диэлектрические потери исследуемой жидкости;  $\lambda$  – длина электромагнитной волны в свободном пространстве при отсутствии среды;  $\lambda_0$  – критическая длина волны, определяемая размерами волновода ( $\lambda_0 = 2a$ ,  $a$  – внутренняя ширина волновода),  $\lambda_g$  – длина электромагнитной волны в волноводе;  $\lambda_b = \frac{\lambda}{1-P}$  – длина электромагнитной волны в пустом волноводе, где,  $P = \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2$ ; [в случае распространения волн типа ТЕМ  $\lambda_0 \rightarrow \infty$  и  $P=0$ ]. Продолжая преобразования, в итоге, уравнения (4.1) и (4.2) представим в виде:

$$\xi' = \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_b}\right)^2 \cdot \frac{x^2 (1-y^2)}{v^2}; \quad (4.3)$$

$$\xi'' = \left(\frac{\lambda}{\lambda_b}\right)^2 \cdot \frac{2x^2 y}{v^2}; \quad (4.4)$$

здесь  $x = l_m / \lambda_b$ ,  $l_m$  – толщина слоя жидкости, при которой имеет место минимум или максимум амплитуды отраженной волны.

Так как  $\lambda$ ,  $\lambda_0$ ,  $\lambda_b$  измеряется с высокой точностью, то при условии  $\xi' \gg \frac{\lambda^2}{\lambda_0}$  относительные отклонения величин  $\xi'$ ,  $\xi''$  по уравнениям (4.3) и (4.4) при измерении параметров  $x, y, v$ , определяется следующими двумя выражениями:

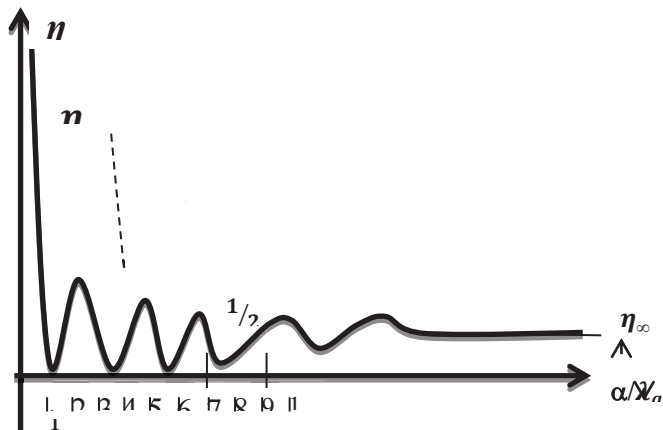
$$-\frac{\Delta \xi'}{\xi'} = 2 \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta x}{x} + 2a \frac{\Delta y}{y} ; \quad (4.5)$$

$$-\frac{\Delta \xi''}{\xi''} = 2 \frac{\Delta v}{v} - \frac{\Delta x}{x} - 2a \frac{\Delta y}{y} ; \quad (4.6)$$

где  $a = \frac{y^2}{1-y^2}$  ;

Экспериментально измеренными величинами в рассматриваемом вариационном методе являются коэффициент стоячей волны  $\eta_m$  в точке минимума зависимости  $\eta$  от  $l$  и  $v = l_m / \lambda_b$ , где  $l_m$  – измеряемая толщина жидкости в ячейке, при которой отражение волны минимально. Как следует из номограммы (рис. 1) (15,16) зависимости  $v$  от  $x$  для первого минимума функции  $\eta$  от  $l$ , рассчитанные по уравнению (4.8) в широком интервале варьируемого параметра  $y$ , мало отличается друг от друга и близки в продольной зависимости  $v$  от  $x$  при  $y=0$ .

Известно, что в точке экстремума функции  $\eta$  или  $\delta$  от  $l$ ,



**Рис. 1.** Зависимость коэффициента стоячей волны  $\eta$  в волноводе от толщины отражающего слоя  $l$  исследуемой жидкости при наличии в ней диэлектрических потерь

$$u = (1+y^2) R^{-\frac{1}{2}} ; \quad (4.7)$$

$$v = x(1 + y^2)R^{-\frac{1}{2}} ; \quad (4.8)$$

где

$$v = \frac{l_m}{\lambda_b};$$

тогда

$$R = 1 - y^2 - 2y \frac{1 - ch(4\pi xy) \cos(4\pi x)}{sh(4\pi xy) \sin(4\pi x)} ; \quad (4.9)$$

рассчитанные по уравнению (4.8) в широком интервале варьируемого параметра  $y$ .

С учетом этого обстоятельства, разложим функцию (4.8) в ряд по  $y$  и ограничимся лишь первым членом этого ряда. Получим, что

$$v = \frac{x}{\sqrt{1-A}} ; \quad (4.10)$$

где  $A = \frac{tg \alpha}{\alpha}$ ;  $\alpha = 2\pi x$ ;

так как  $\Delta v \cong \frac{\delta v}{\delta x} \Delta x$ ;  $\Delta \eta_m = \frac{\delta \eta_m}{\delta x} \Delta x + \frac{\delta \eta_m}{\delta y} \Delta y$ ; (4.11)

то, подставляя (4.11) в (4.5) и (4.6) имеем

$$-\frac{\Delta \xi'}{\xi'} = 2 \frac{\Delta v}{v} (B_1 - aB_2) + 2 \frac{\Delta \eta}{\eta_m} aB_3 ; \quad (4.12)$$

$$-\frac{\Delta \xi'}{\xi'} = 2 \frac{\Delta v}{v} (B_1 + B_2) + \frac{\Delta \eta}{\eta_m} B_3 ; \quad (4.13)$$

где

$$B_1 = 1 - \frac{v}{x - \frac{\delta v}{\delta x}} ; \quad B_2 = \frac{v \frac{\delta \eta_m}{\delta x}}{y \frac{\delta \eta_m}{\delta y} \frac{\delta v}{\delta x}} ; \quad B_3 = \frac{\eta_m}{y \frac{\delta \eta_m}{\delta y}} ;$$

После преобразования уравнений (4.7) и (4.8), следует, что экстремальные значения коэффициента стоячей волны в волноводе  $\eta_m$  при толщине слоя жидкости в волноводной секции равной  $l_m$  описывается двумя уравнениями:

$$\eta_m = \sqrt{\frac{cth(2\pi xy) + yctg(2\pi xy)}{th((2\pi xy) + ytg(2\pi x))}} ; \quad (4.14)$$

$$\eta_m = \sqrt{\frac{th(2\pi xy) - ytg(2\pi xy)}{cth(2\pi xy) + yctg(2\pi x)}}; \quad (4.15)$$

При  $\eta_m = 1$  оба уравнения приводятся к выражению вида

$$sh(\pi xy) = -y \sin \pi c; \quad (4.16)$$

которое описывает в плоскости координат  $x, y$  функцию, определяющую границы применимости уравнений (4.14), (4.15). Уравнение 4.15 оказывается справедливым для значений  $x$  и  $y$ , где  $x > x_1$  и  $y < y_1$  определяются из граничного условия (4.16).

С учетом производных функций (4.14), (4.15), (4.16) получим:

$$B_1 = \frac{A \cos^2 \alpha_1}{1 + (2-3A) \cos^2 \alpha_1};$$

$$B_2 = \frac{2}{A} \frac{1-A}{1+(2-3A)\cos^2 \alpha_1} \frac{\sin 2\alpha_1 (yk_1+k_2) + sh 2\alpha_1 y(k_1-yk_2)}{2\alpha_1 yk_1 + 2k_2\alpha_1 - sh 2\alpha_1 yk_3};$$

$$B_3 = \frac{sh 2\alpha_1}{y} \frac{2yk_1 + (1-y^2)k_2}{2\alpha_1 yk_1 + 2\alpha_1 k_2 - sh 2\alpha_1 yk_3};$$

где:

$$k_1 = tg^2 \alpha_1 y - tg^2 \alpha_1;$$

$$k_2 = 2tg^2 \alpha_1 y - tg^2 \alpha_1;$$

$$k_3 = tg^2 \alpha_1 y + tg^2 \alpha_1;$$

Для упрощения (4.12) и (4.13) примем, что  $l_m$  достаточно близка по величине к  $l/4$ .

$$B_2 = -B_3 = -2b;$$

$$b = \left[ 1 + \frac{\pi y}{sh(\pi y)} \right]^{-1};$$

подставляем (4.14) в (4.12) и (4.13) и учитывая, что  $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l_m}{l_m}$ , получим выражение для случайной относительной ошибки в определении  $\xi'$  и  $\xi''$ :

$$\frac{\Delta \xi'}{\xi'} = 2 \frac{\Delta l_m}{l} (1 + 2ab) + \frac{\Delta \eta}{\eta} 4ab; \quad (4.17)$$

$$\frac{\Delta \xi''}{\xi''} = 2 \frac{\Delta l_m}{l_m} (1-2b) + \frac{\Delta \eta}{\eta} 2b; \quad (4.18)$$

При малых потерях  $y=0$ , значение  $a, b$  близки к единице. Поэтому для этого случая выражения (4.15) и (4.16) сводятся к следующим соот-

ношениям:

$$\frac{\Delta\xi'}{\xi'} = 2 \frac{\Delta l_m}{l} ; \quad (4.19)$$

$$\frac{\Delta\xi''}{\xi''} \cong -2 \frac{\Delta l_m}{l_m} + 2 \frac{\Delta\eta}{\eta} ; \quad (4.20)$$

Из уравнений (4.15) и (4.16) следует, что погрешность в  $\xi'$  определяется ошибкой в измерении лишь  $l_m$ . Для полярных жидкостей со значением  $\xi'=10\div 20$  измеряемых в диапазоне  $\lambda=3,21$  см, величина  $l_m$  лежит в пределах 2,5-1,0 мм. Так как абсолютная ошибка в измерении длины стандартными микрометрами составляет 0,01 мм, то результирующая относительная погрешность в определении  $\xi'$  будет лежать в пределах 1-2%, в зависимости от типа измеряемой жидкости. Для слабополярных жидкостей ошибка в определении  $\xi'$  достигает менее 0,5%. Ошибка в определении  $\xi''$  определяемая погрешностью в измерении  $l_m$  в 2 раза выше, чем у  $\xi'$ . Из-за погрешности измерения КСВ, достигающей 3-5%, результирующая ошибка в измерении  $\xi''$  может достигать 5%, хотя в случае слабополярных жидкостей она может опускаться до 1-2%, из-за уменьшения относительной ошибки в измерении  $l_m$  и повышении точности отсчета больших значений КСВ.

Для случая жидкостей со значительными диэлектрическими потерями, ошибка в определении  $\xi'$  и  $\xi''$  возрастает. Для ее оценки рассмотрим крайний случай  $y=0, \%$ , соответствующему максимально возможной величине  $\operatorname{tg}\delta=1,2$ . Тогда:

$$\frac{\Delta\xi'}{\xi'} = 3 \frac{\Delta l_m}{l} + \frac{\Delta\eta}{\eta} ; \quad (4.21)$$

$$\frac{\Delta\xi''}{\xi''} \cong 0,4 \frac{\Delta l_m}{l_m} + 1,2 \frac{\Delta\eta}{\eta} ; \quad (4.22)$$

При указанных выше погрешностях измерения  $l_m$  и  $\eta_m$  результирующая ошибка в определении  $\xi'$  и  $\xi''$  для случая сильнополярных жидкостей со значениями  $\xi'=10\pm 20$  составляет соответственно 5% и 7%. Для слабополярных жидкостей со значениями  $\xi'=2-4$ , результирующая ошибка уменьшается и составляет соответственно 2% и 4%.

В таблице 1 приведены результаты измерений  $\xi'$  и  $\xi''$  некоторых полярных жидкостей, выполненных указанным методом при длине волны  $\lambda=3,21$  см и температуре  $t=20^{\circ}\text{C}$ . Там же приведены значения  $\xi'$  и  $\xi''$  тех жидкостей, которые получены методом переменных толщин (1,2). Как следует из таблицы, между величинами  $\xi'$ , полученными этими двумя методами имеется хорошее согласие, тогда как значение  $\xi''$  определяемых по нашему методу сказывается несколько ниже по величине  $\xi''$ , полученных по методу (1,2).

Таблица 1

**Результаты измерений диэлектрической проницаемости  $\xi'$  и диэлектрических потерь  $\xi''$  некоторых полярных жидкостей при длине волны  $\lambda = 3,21$  см и  $t=20^{\circ}\text{C}$ .**

№	Вещество	Длина волны $\lambda$ (в см)	Методом Поли-Малова (2)		Предлагаемым вариационным методом	
			$\xi'$	$\xi''$	$\xi'$	$\xi''$
1	Ацетон	3,21	20,8	3,56	20,6	3,50
2	Ацетон	0,71	12,3	9,65	12,4	9,38
3	Циклопентанон	3,21	12,4	3,75	11,8	3,73
4	Циклопентанон	0,71	4,68	4,90	4,70	4,76

Расчет  $\xi''$  по (2,6,11,12) проводится с использованием данных о максимальных КСВ соответствующих толщинам жидкости в ячейке приблизительно кратным  $\lambda_g/2$ . При этих толщинах жидкости в ячейке очень существенен учет систематической ошибки в определении КСВ, вызываемых паразитными отражениями от слюдяной прокладки и не идеальностью короткозамкнутого поршня в ячейке. В предлагаемом методе КСВ измеряется при толщине жидкости в ячейке близкой к  $\lambda_g/4$ . Этим самым значительно снижаются систематические ошибки в определении КСВ, вызываемые указанными выше причинами. Наблюдаемые в таблице 1 расхождения в  $\xi''$ , по всей видимости, вызваны не учетом систематических ошибок в определении КСВ в методе (1,2).

В практике высокочастотных измерений диэлектрических параметров полярных жидкостей и растворов часто используются методы, основанные на измерении отражения электромагнитной волны от короткозамкнутой на конце волноводной или коаксиальной ячейки с исследуемой жидкостью, при условии, что толщина в ячейке регулируется (1-9). Обладая сравнительно высокой точностью измерения, возможностью учета систематических ошибок и рядом других достоинств эти методы, однако весьма трудоемки и требуют нахождения всей экспериментальной зависимости модуля коэффициента отражения электромагнитной волны ( $\rho$ ) или коэффициента стоячей волны ( $\eta$ ) от толщины слоя жидкости в ячейке  $l$ , что технически не всегда возможно, в особенности в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) – сантиметровые и миллиметровые волны. Кроме того, методы переменной толщины имеют ограниченную сферу применения; они удобны лишь для измерения диэлектрических параметров жидкостей, обладающих в диапазоне сверхвысоких частот средними и малыми потерями. При заметных диэлектрических потерях в жидкости зависимость ( $\rho$ ) или  $\eta$  от  $l$  имеет лишь один экстремум (максимум или минимум) в своем ходе, что естественно, исключает возможность применения метода переменных толщин (1,2,4), базирующего на измерении расстояния между минимумами зависимости ( $\rho$ ) или  $\eta$  от  $l$  и отношения ( $\rho$ ) или  $\eta$  в точках максимума этой зависимости. Как показано в (9), из-за больших систематических ошибок указанные методы (1,2,4) неприемле-



мы также и для измерения диэлектрических параметров слабополярных жидкостей, обладающих в диапазоне сверхвысоких частот малыми потерями.

Разработанный новый вариационный метод измерения диэлектрической проницаемости  $\xi'$  и диэлектрических потерь  $\xi''$  полярных жидкостей свободен от перечисленных выше недостатков. Он основан на измерении толщины слоя жидкости в ячейке, при котором имеет место минимум амплитуды отраженной волны ( $\rho$ ) или коэффициента стоячей волны  $\eta$ , и величины  $\eta_m$  при этой толщине жидкости. Вариант подобного метода рассматривался в (13); однако, введенное в (13) предположение об активной величине исходного сопротивления волноводной секции с жидкостью при толщине слоя, соответствующему минимуму величины ( $\rho$ ) или  $\eta$ , обосновано лишь для случая полярных жидкостей, обладающих малыми диэлектрическими потерями.

Таким образом, полярные жидкости - циклопентанол, циклопентанон и их концентрированные растворы в друг друге, циклопентане и ацетоне исследовались впервые, и как показали результаты вариационный метод нашел себе достойное применение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шахпаронов М.И. Методы исследования теплового движения молекул и строение жидкостей. М. 1972. с.281.
2. Poley I.P. J.Appl. Sci.Res. B4, 337, 1955.
3. Ахадов Я.Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей, Изд.стандартов, М., 1972. с.412.
4. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М., Физматгиз, 1963. с.493.
5. Касимов Р.М., Нагизаде Н.С. Вестник МГУ, серия химическая, 2, 101, 1967.
6. Fatuzzo E, Mason P.R. J.of. Appl. Rh., 36,2, 427, 1965.
7. Харвей А.Ф. Техника сверхвысоких частот, т. I, Изд. "Сов.радио", 1965.с. 783.
8. Касимов Р.М. Измерительная техника. 10, 1970.
9. Касимов Р.М., Усейнова С.М. Изд. АН Азерб. ССР, серия физико-техн. и матем. наук, I, 1973, с.111-117
10. Касимов Р.М., Усейнова С.М. Измерительная техника, 2, 1975, с.76-82
11. Sarojini V. Sci. Industr. Res.,19B,52,91,115,1960
12. Sarojini V. Frans Faradey Soc., 58, 1729, 1962
13. Fartuzzo E., Mason P.R. Journal of Appl. Rh. 36,2,427,1965
14. Усейнова С.М. О вариационном методе исследования диэлектрических свойств жидкостей и растворов. BDU., "Fizikanın müasir problemləri" V Respublika konfransının materialları. Bakı: 2011, s.200-202.
15. Усейнова С.М. Графические способы применения вариационного метода. BDU., "Fizikanın müasir problemləri" V Respublika konfransının materialları. Bakı: 2011, s.202-205.
16. Усейнова С.М. Разработка вариационного метода измерения диэлектрических параметров полярных жидкостей в диапазоне сверхвысоких частот.1.Теоретические принципы вариационного метода измерения. Баку, Вестник БГУ, серия физ-мат. наук, 2015, №1, с.176-185
17. Усейнова С.М. Разработка вариационного метода измерения диэлектрических параметров полярных жидкостей в диапазоне сверхвысоких частот.2.Графический метод решения исходных уравнений. Баку, Вестник БГУ, серия физ-мат. наук, 2016, №1, с.177-188

**MAYELƏRİN DİELEKTRİK XARAKTERİSTİKALARININ İFRAT YÜKSƏK  
TEZLİKLƏR DİAPAZONUNDA VARIASİON ÖLÇMƏ METODUNUN  
NƏZƏRİ PRİNSİPLƏRİ**

**4. Polyar mayelərin dielektrik parametrlərinin variasion metodla  
təyinində mümkün olan xətalərin analizi**

**S.M.USEYNOVA**

**XÜLASƏ**

Ədəbi mənbələrdən məlumdur ki, ifrat yüksək tezliklər (İYT) diapazonunda polyar mayelərin dielektrik xassələrinin məlum olan metodlarla tədqiqi xeyli məhduddur. Məhz bu səbədən yeni variasion metod işlənib hazırlanmışdır ki, bu metodun tətbiqi bütün polyar mayelərin və məhlulların dielektrik parametrlərini (dielektrik nüfuzluğu  $\xi'$  və dielektrik itkiləri  $\xi''$ ), onların qiymətindən asılı olmayaraq, təyin etməyə imkan verir. Variasion metodun nəzəri prinsipləri əsasında riyazi tənliklərin hesablanmış və tənliklərin həllinin qrafik metodu işlənib hazırlanmış,  $\xi'$  və  $\xi''$  qiymətlərinin hesablanması avtomatlaşdırılmış metod ilə həyata keçirilmişdir.

Məqalə variasion metodla bütün polyar mayelərin dielektrik parametrlərinin ( $\xi'$  və  $\xi''$ ) təyini zamanı mümkün ola biləcək bütün xətalərinin riyazi əsaslarla hesablanmasına həsr olunmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu xətalərin qiyməti (1,5-2%) digər müvcud metodların tətbiqi zamanı buraxılan xətalərdən xeyli kiçikdir.

**Açar sözlər:** variasion tədqiqat metodu, dielektrik parametrlər, polyar mayelər, metodun teoretik əsasları, xətalər

**DEVELOPMENT OF VARIATIONAL METHOD FOR MEASURING  
OF DIELECTRIC PARAMETERS OF POLAR LIQUIDS AT MICROWAVE  
FREQUENCIES**

**4. Analysis of errors in measuring of the dielectric parameters  
of polar liquids by the variation method**

**S.M.USEYNOVA**

**SUMMARY**

Use of existing methods for studying the dielectric properties of polar liquids in the ultra-high frequency range is very limited according to the references. So, a new variational method was developed and allows one to remove of all these restrictions: the dielectric parameters ( $\xi'$  and  $\xi''$ ) of all polar liquids and their solutions can be determined by using this method. The original equations were solved on the basis of the theoretical principles of the variational method and graphical solution method and an automated method for calculating of  $\xi'$  and  $\xi''$  were developed.

Mathematical calculation of all possible errors in the determination of polar liquids by this method have been shown in these paper. It should be noted that these errors are minimal (1.5-2%) under compared with all existing methods.

**Key words:** variational method, dielectric parameters, polar liquids, theoretical principle of methods, errors.