УДК 681.78

МЕТОДИКА ПОДБОРА ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АХРОМАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТИВА-ДУБЛЕТА

Войтов А.С. – ассистент (совместитель)
Сибирский государственный университет геосистем и технологий
Россия, г. Новосибирск

Жидкостные объективы-дублеты с регулируемым фокусным расстоянием используют различные жидкости: метанол, уксусная кислота, глицерин, изопропанол и другие. Как правило, это делается одним из двух способов: либо с использованием двух несмешивающихся жидкостей, либо с использованием мембраны, которая предотвращает смешивание. Мембрана может использоваться между жидкостью и воздухом или между двумя разными жидкостями. В то время как жидкие линзы без мембраны обычно полагаются на явление электросмачивания для приведения в действие линзы, объективы-дублеты с мембраной, могут приводиться в действие с помощью гораздо более широкого спектра механизмов. Благодаря почти несжимаемости жидкостей можно использовать множество различных приводов, включая пневматические, электросмачивающие, магнитные, электромагнитные, пьезоэлектрические, электростатические, диэлектрофоретические или любые другие, которые могут быть соединены с герметичной жидкостной камерой для обеспечения настройки фокуса [1].

Используя теорию подбора ахроматической пары [2], выполним следующие условия:

- большему значению показателя преломления соответствует большее значение дисперсии, а жидкости с меньшим значением преломления меньшее значение дисперсии;
- отношение оптической силы жидкостных элементов равно или приблизительно равно отношению показателей дисперсии этих жидкостей.

Принимая во внимание вышеизложенные условия, конструкция объектива-дублета предусматривает наличие двух камер, заполненных жидкостями. Первая камера будет содержать глицерин, характеризующийся показателем преломления 1,473 и коэффициентом дисперсии 66,4. Вторая камера будет заполнена изопропанолом, показатель преломления которого составляет 1,377, а коэффициент дисперсии – 53,8. Подвижная мембрана, расположенная в кольцевой диафрагме, служит для разделения этих жидкостей. Диафрагма, в свою очередь, собрана из кольцевого магнита и стального кольца, между которыми зажата силиконовая мембрана. Индукционная катушка установлена на внешней поверхности пластикового корпуса [3]. Схематическое представление жидкостного объектива-дублета показано на рисунке 1.

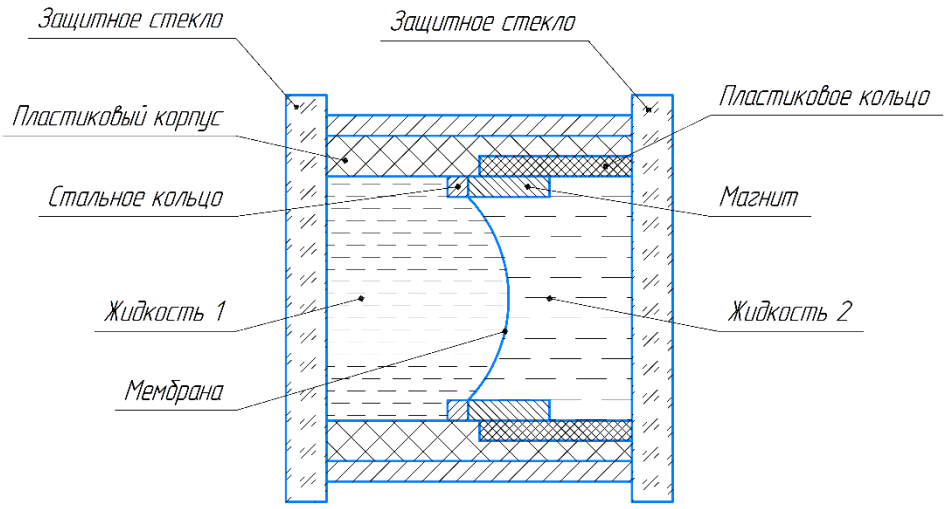

Рисунок 1 – Схема устройства объектива-дублета

Во время испытаний подается напряжение от 10 до 1 В с интервалом в 0,5 В. В Результате выяснилось, что при напряжении 1 В радиус мембраны равен 98,6 мм, а при напряжении в 10 В радиус равен 26,8 мм.

Определение хроматической аберрации проводилось при помощи установки описанной в источнике 4]. Для выделения узкого диапазона длин волн использовались комбинации светофильтров согласно ГОСТ 9411-91 [5]. Измерения проводились при радиусе мембраны, равном минус 30, минус 35 и минус 40 мм. Выбор такого узкого диапазона фокусных расстояний связан с удобством их измерения. Для повышения точности определения хроматической аберрации на измерительном микроскопе устанавливалась дополнительная насадка, что увеличило точность измерения до 0,01 мм. В таблице 1 представлены результаты измерения хроматической аберрации.

Таблица 1 - Результаты измерения хроматической аберрации положения

λ, *нм*	Смещение фокальной плоскости в мм, при $R_м$ = -30 мм	Смещение фокальной плоскости в мм, при $R_м$ = -35 мм	Смещение фокальной плоскости в мм, при $R_м$ = -40 мм
435-480	0,04	0,16	0,2
530-560	0	0	0
580-595	0,05	0,07	0,08
595-605	0,08	0,09	0,11
640-680	0,18	0,24	0,3

По полученным из таблицы данным, были построены графики смещения задней фокальной плоскости при разных длинах волн, которые представлены на рисунках 2 и 3.

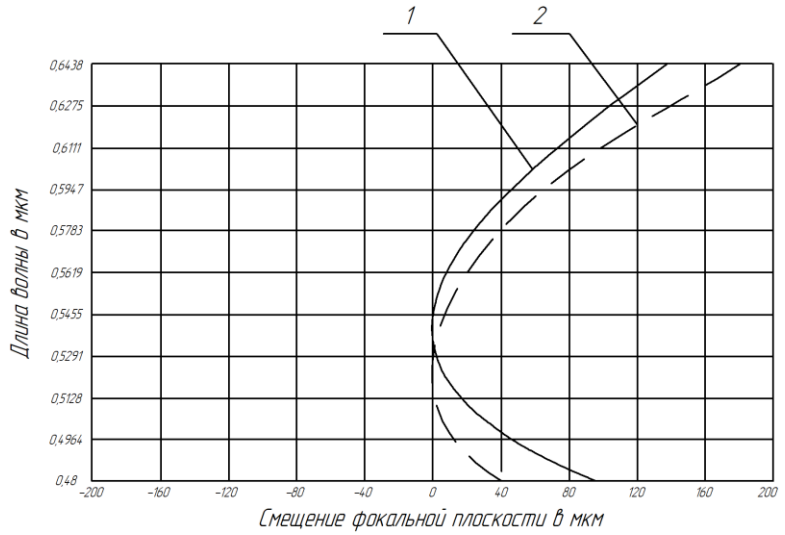

Рисунок 2 – График смещения задней фокальной плоскости при радиусе мембраны Rм = -30 мм: 1 – расчетный; 2 – измеренный

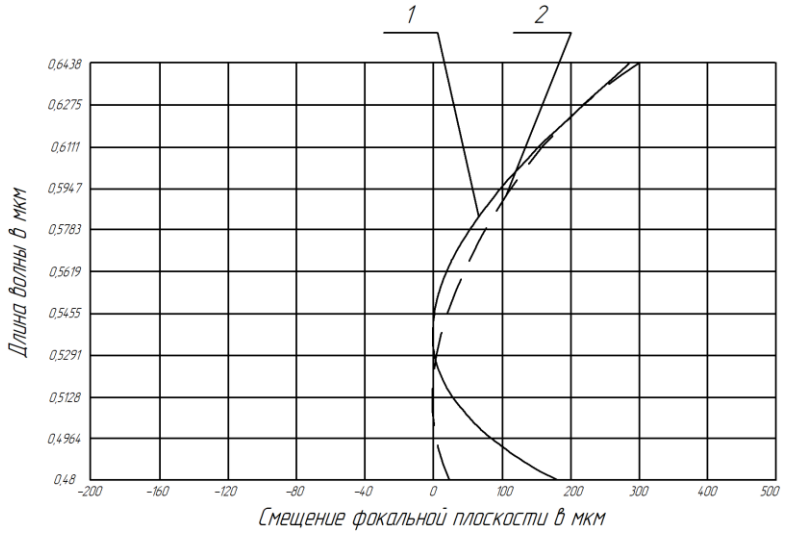

Рисунок 3 – График смещения задней фокальной плоскости при радиусе мембраны Rм = -35 мм: 1 – расчетный; 2 – измеренный

Проведено сравнение графиков хроматической аберрации компьютерной модели и макета жидкостного объектива-дублета, управляемого электромагнитным устройством, для диапазона спектра 0,486-0,656 мкм.

В рамках проведенной работы была экспериментально подтверждена теория подбора оптических жидкостей, у которых большему значению nD соответствует большее значение νD, и, соответственно, жидкости с меньшим значением nD соответствует меньшее значение νD, что приводит к возможности получения ахроматического типа коррекции продольного хроматизма.

Найденная закономерность комбинации параметров жидкостей не влияет на способ управления радиусом мембраны, а значит, может быть применена, для любого типа жидкостных систем [2].

Разработана эффективная модель объектива-дублета с возможностью комбинации жидкостей.

Значения измеренных и расчетных параметров показали высокую сходимость результатов.

Список литературы:

1. Van Grinsven KL, Ousati Ashtiani A, Jiang H. Lorentz Force Actuated Tunable-Focus Liquid Lens. Micromachines (Basel). 2019 Oct 22;10(10):714. doi: 10.3390/mi10100714. PMID: 31652548;PMCID:PMC6843212.

2. Войтов А.С., Егоренко М.П., Ефремов В.С. Выбор параметров жидкостей для коррекции хроматизма в жидкостных объективах // Оптический журнал. 2025. Т. 92. № 4. С. 82–92. DOI: 10.17586/1023-5086-2025-92-04-82-92.

3. Войтов А. С. Разработка и исследование жидкостного объектива-дублета с электромагнитным приводом [Текст] / А.С. Войтов, В.С. Ефремов // ГЕО-Сибирь-2024 : сб. материалов XX Междунар. науч. конгр., 15–17 май. 2024 г. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – Т. 8, ч. 1. – С. 53–56.

4.Рогачев Н.М. Аберрации оптических систем: методическое пособие / Н.М. Рогачев, Б.Ю. Баландина. – Самара: [б. и.], 2012. – 11 с.: ил.

4. ГОСТ 9411–91 Государственный стандарт союза ССР: дата введения 1993-01-01 / Комитет стандартов и метрологии СССР. – Изд.официальное. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 48 с.