

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТОЧНОСТЬ ДВУХ- И ЧЕТЫРЁХЧАСТОТНЫХ ЗЕЕМАНОВСКИХ ЛАЗЕРНЫХ ГИРОСКОПОВ

Р. О. Егоров, Ю. Ю. Брославец, А. А. Фомичёв

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

Наличие захвата частоты [1] в лазерном гироскопе приводит к необходимости смещения рабочей точки лазерного гироскопа в линейную область выходной частотной характеристики с помощью создания частотного расщепления встречных волн лазера. Для этого в резонаторе используется невзаимный элемент [2]. В случае использования эффекта Зеемана невзаимным элементом становится активная среда. При наложении продольного магнитного поля на каналы непланарного резонатора, заполненные гелий-неоновой смесью, генерируемые встречные волны с круговой поляризацией получают сдвиги по частотам, обусловленные эффектом затягивания частот в расщепленном контуре усиления активной среды [3]. В связи с этим возникает чувствительность зеемановского лазерного гироскопа к магнитному полю и, соответственно, возникает добавка к расщеплению частот встречных волн за счет внешнего магнитного поля [4].

Существуют двухчастотные и четырехчастотные зеемановские лазерные гироскопы, в зависимости от количества генерируемых в лазере встречных волн.

В работе рассмотрено влияние внешних постоянных магнитных полей на разность частот встречных волн и на дрейф гироскопа в двух различных конфигурациях в отсутствие вращения. Исследована магнитная чувствительность четырехчастотного лазерного гироскопа. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

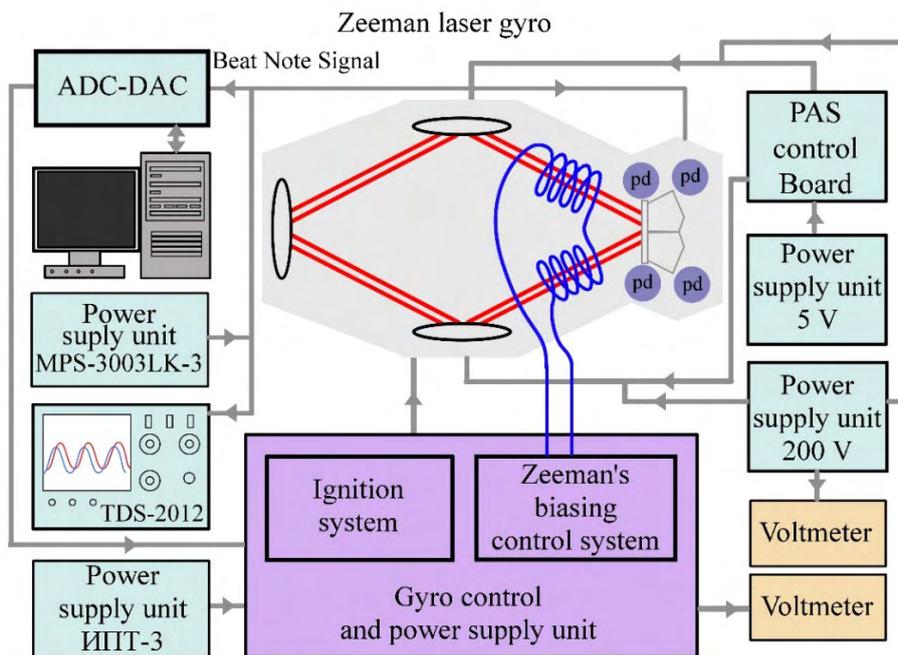


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с четырехчастотным лазерным гироскопом

Исследования проводились на зеемановском двухчастотном гироскопе с периметром ~ 20 см. Для исследования возможности компенсации влияния внешнего магнитного поля на дрейф четы-

рехчастотного лазерного гироскопа использовалась установка, показанная на рис. 1. Периметр резонатора гироскопа ~ 28 см.

Магнитная чувствительность двухчастотной конфигурации определялась путем наложения внешнего магнитного поля и измерения разности частот встречных волн при настройке резонатора на максимум контура усиления (рис. 2). Коэффициент наклона аппроксимирующей прямой определяет магнитную чувствительность двухчастотного зеемановского лазерного гироскопа. Она составила $2,588$ кГц/Э.

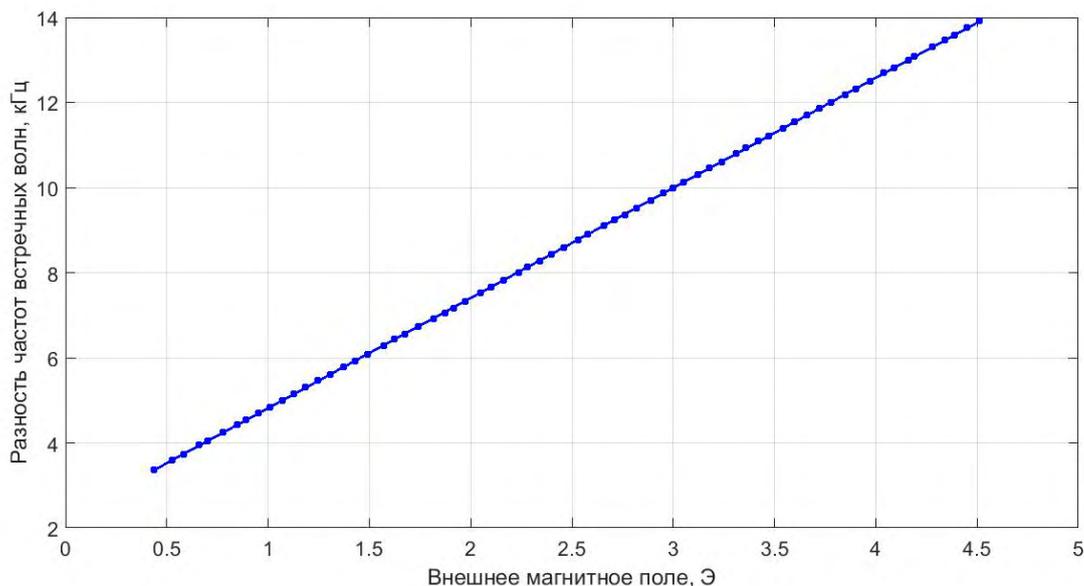


Рис. 2. Зависимость разности частот встречных волн при отсутствии вращения от приложенного магнитного поля в двухчастотном режиме

Метод расчета дисперсионных свойств активной среды кольцевого гелий-неонового лазера, работающего на переходе неона $3s_2 - 2p_4$, описанный в [5], позволяет рассчитать магнитную чувствительность двухчастотного незранированного зеемановского лазерного гироскопа. Из аппроксимации прямой графика на рис. 3, получаем величину магнитной чувствительности $4,4$ кГц/Э.

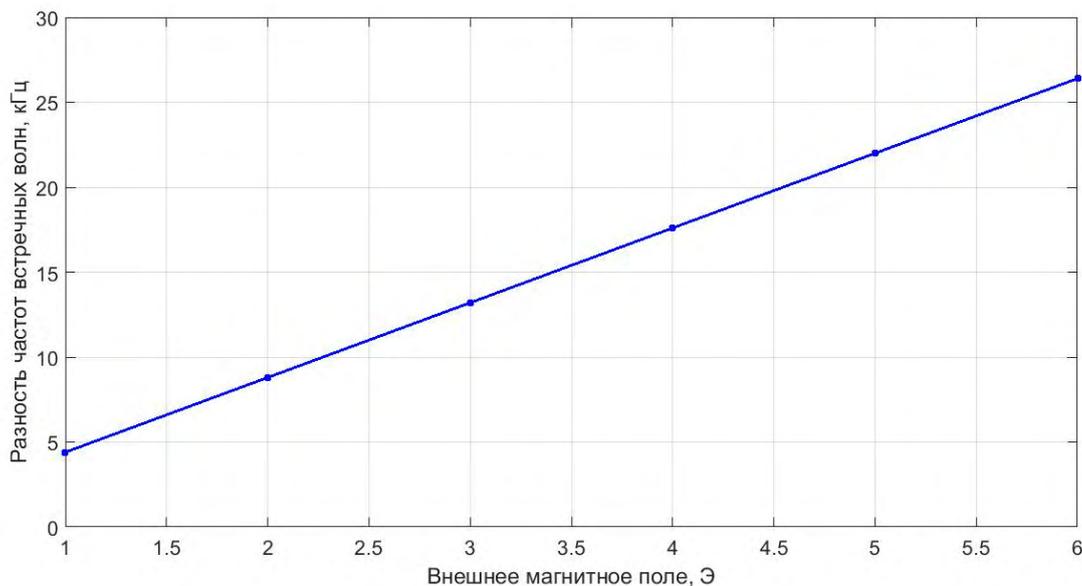


Рис. 3. Рассчитанная зависимость разности частот встречных волн при отсутствии вращения от приложенного магнитного поля в двухчастотном режиме

Работа лазерного гироскопа в навигационном режиме со знакопеременной подставкой, позволяет установить влияние магнитных полей непосредственно на точность прибора.

На рис. 4 и рис. 5 изображены зависимости дрейфа двухчастотного лазерного гироскопа в магнитном экране, работающего в навигационном режиме, от прикладываемого внешнего магнитного поля. Встречные волны в двух рассматриваемых случаях (рис. 4) и (рис. 5) имеют соответственно правые и левые круговые поляризации. Сложение этих двух зависимостей определяет величину магнитной чувствительности около $0,08$ ($^{\circ}/\text{ч}/\text{Э}$).

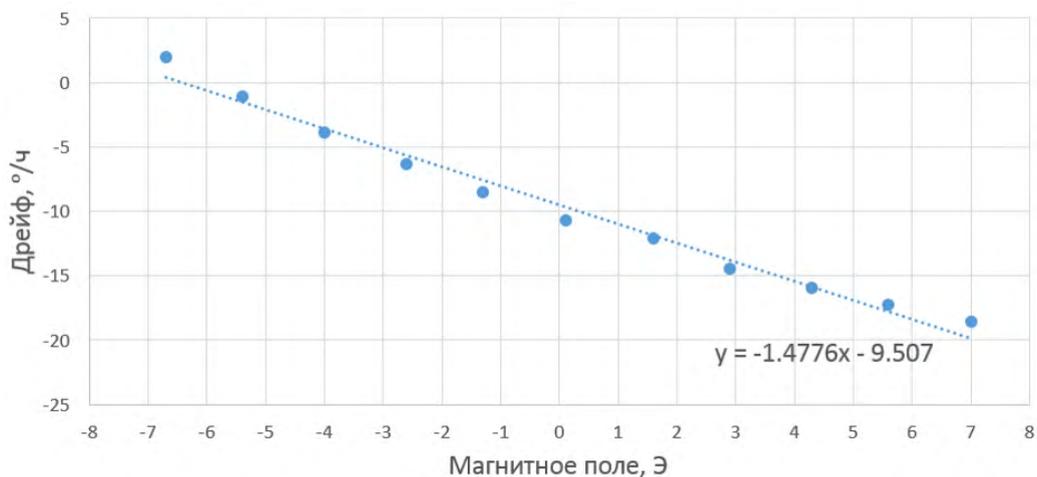


Рис. 4. Зависимости величины дрейфа ЛГ в экране от внешнего магнитного поля

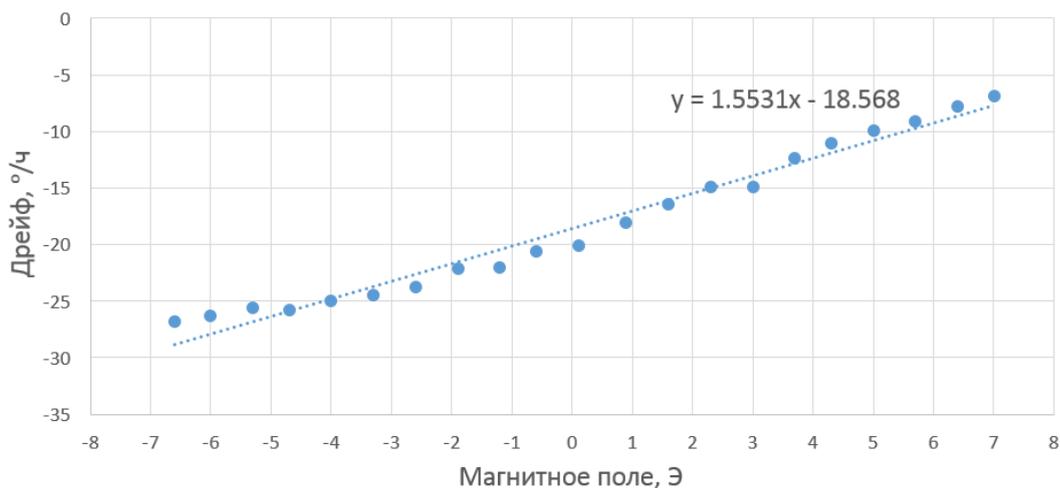


Рис. 5. Зависимости величины дрейфа ЛГ в экране от внешнего магнитного поля

Четырехчастотный режим работы лазерного гироскопа позволяет существенно уменьшить влияние внешнего магнитного поля на полезный сигнал. В этом режиме в резонаторе лазерного гироскопа происходит одновременная генерация встречных волн на двух круговых ортогональных поляризациях. Магнитное поле вносит вклады в частоты генерации встречных волн ортогональных поляризаций, совпадающие по абсолютному значению, но имеющие различные знаки. Поэтому надлежащей обработкой выходных сигналов можно добиться компенсации влияния магнитного поля. В частности, система регулирования периметра резонатора должна стабилизировать длину резонатора в точке с одинаковой для обеих рабочих поляризаций магнитной чувствительностью, т. е. частоты биений встречных волн с правыми и левыми поляризациями, обусловленные одним магнитным полем, должны совпадать [6].

Сложением сигналов частот биений встречных волн правой и левой поляризации друг с другом, можно добиться уменьшения дрейфа, вызванного магнитным полем. На рис. 6 приведена экспериментальная зависимость, иллюстрирующая устранение невзаимных эффектов, связанных с магнитным полем.

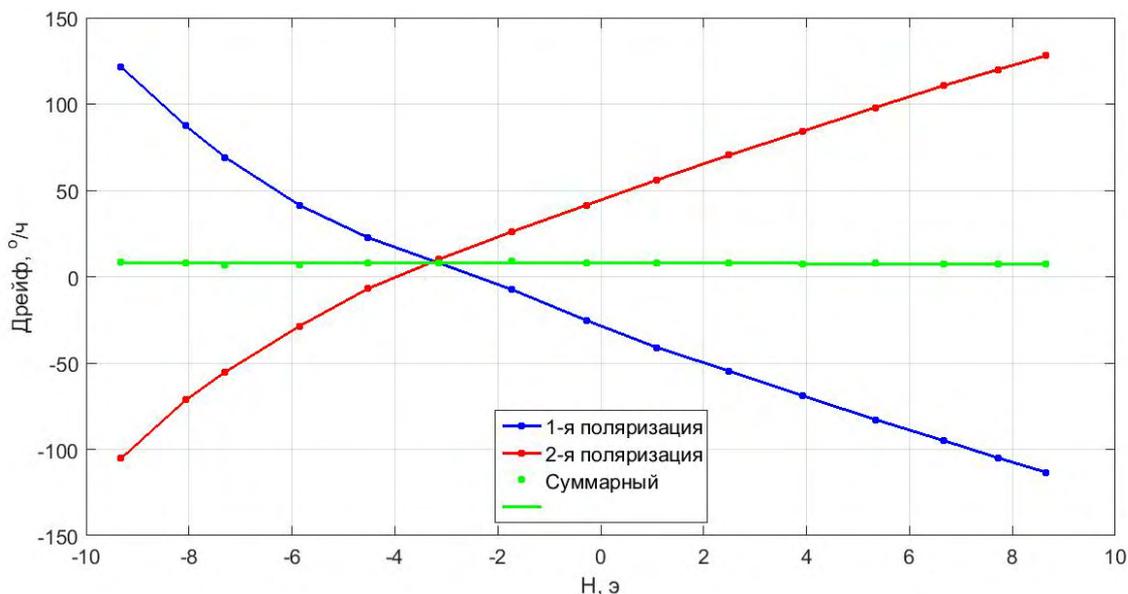


Рис. 6. Зависимости дрейфов в четырехчастотном ЛГ от внешнего магнитного поля

В то время, как по отдельности для каждой поляризации магнитная чувствительность в двухчастотном режиме составляет $12,1$ ($^{\circ}/ч$)/Э, магнитная чувствительность в четырехчастотном режиме снижается до $0,0214$ ($^{\circ}/ч$)/Э.

С фотоприемников оптического смесителя [7] четырехчастотного гироскопа снимались сигналы биений мод с левой и с правой поляризацией, и измерялась их частота. Обозначим разности частот встречных волн левой и правой поляризаций как ν_s и ν_p , предполагая, что ν_s и ν_p имеют положительные значения. На основе измеренных величин частоты вычислялся следующий параметр:

$$\delta = (\nu_{s1} - \nu_{p1}) + (\nu_{s2} - \nu_{p2}) \quad (1)$$

Первое слагаемое есть разность частот биений встречных волн левой и правой поляризаций при некотором направлении магнитного поля. Второе слагаемое есть разность частот биений встречных волн левой и правой поляризаций при противоположном направлении магнитного поля такой же напряженности по абсолютному значению. Зависимость параметра дельта от перестройки резонатора приведена на рис. 7.

Измерения проводились на экспериментальной установке (рис. 1) в диапазоне перестройки частот 205МГц. Лазерный гироскоп находился в магнитном экране.

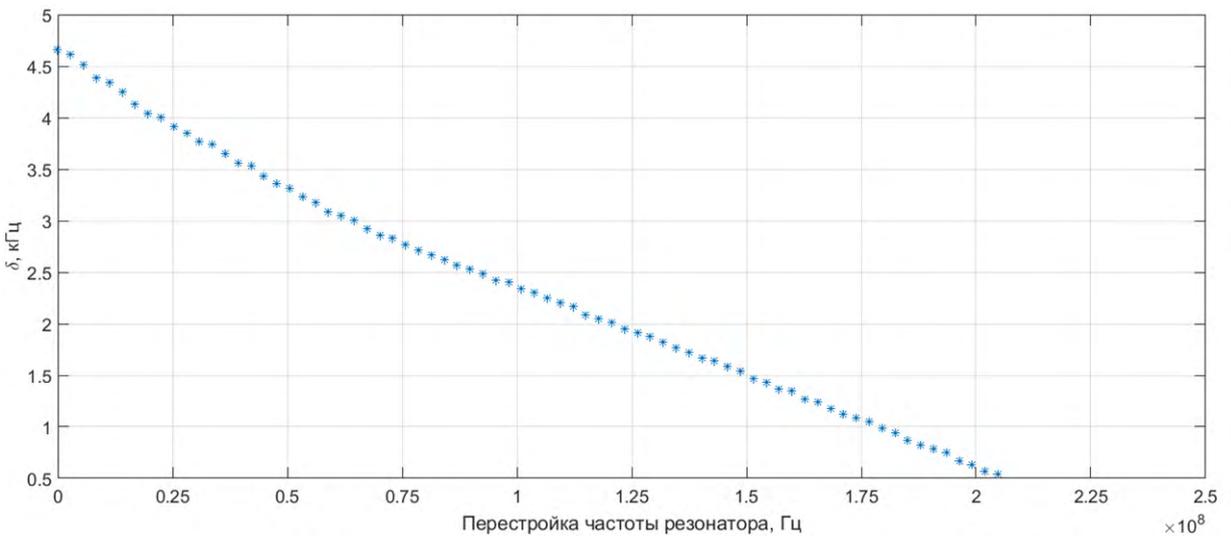


Рис. 7. Зависимость измеренного сигнала δ от частоты генерации при перестройки длины резонатора

Поместив лазерный гироскоп в катушку индуктивности и используя сигнал, вырабатываемый по формуле (1), можно значительно скомпенсировать влияние внешних магнитных полей. Экспериментальная зависимость дрейфа четырехчастотного лазерного гироскопа при наличии соответствующей магнитной компенсации представлена на рис. 8.

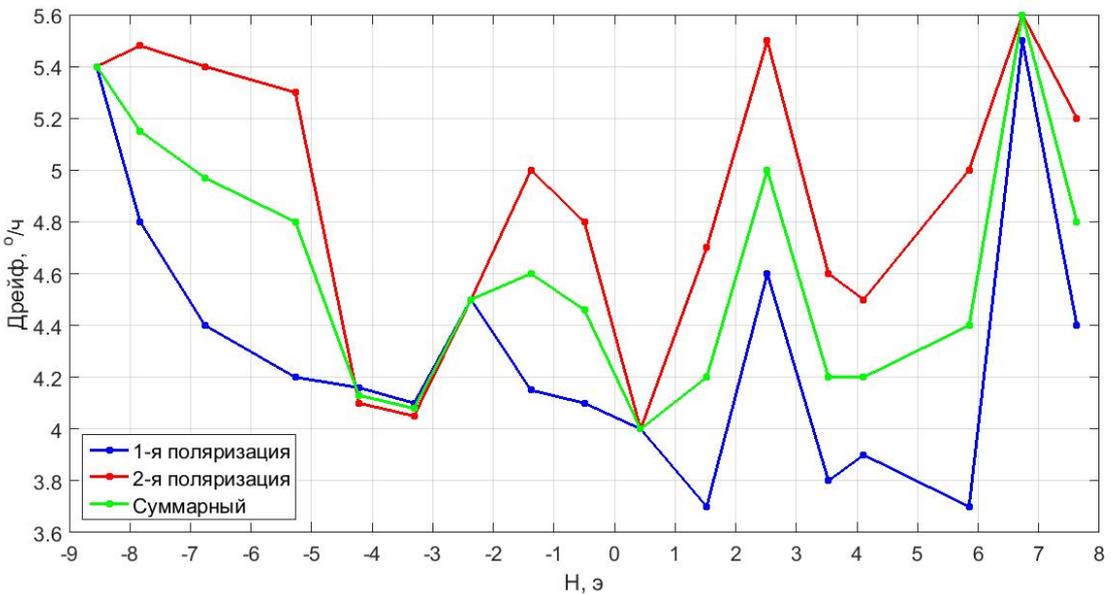


Рис. 8. Зависимости дрейфов в четырехчастотном ЛГ от внешнего магнитного поля при наличии компенсации

Из коэффициента наклона аппроксимирующей прямой зависимости суммарного дрейфа от внешнего магнитного поля (рис. 8) получаем величину магнитной чувствительности $0,0153$ ($^{\circ}/ч$)/Э.

Магнитная компенсация влияет и на двухчастотный режим, уменьшая чувствительность. Из зависимостей дрейфов отдельно левой и правой поляризации получаем величину магнитной чувствительности $0,02545$ ($^{\circ}/ч$)/Э.

Оценить вклад магнитной компенсации можно из сравнительного графика на рис. 9.

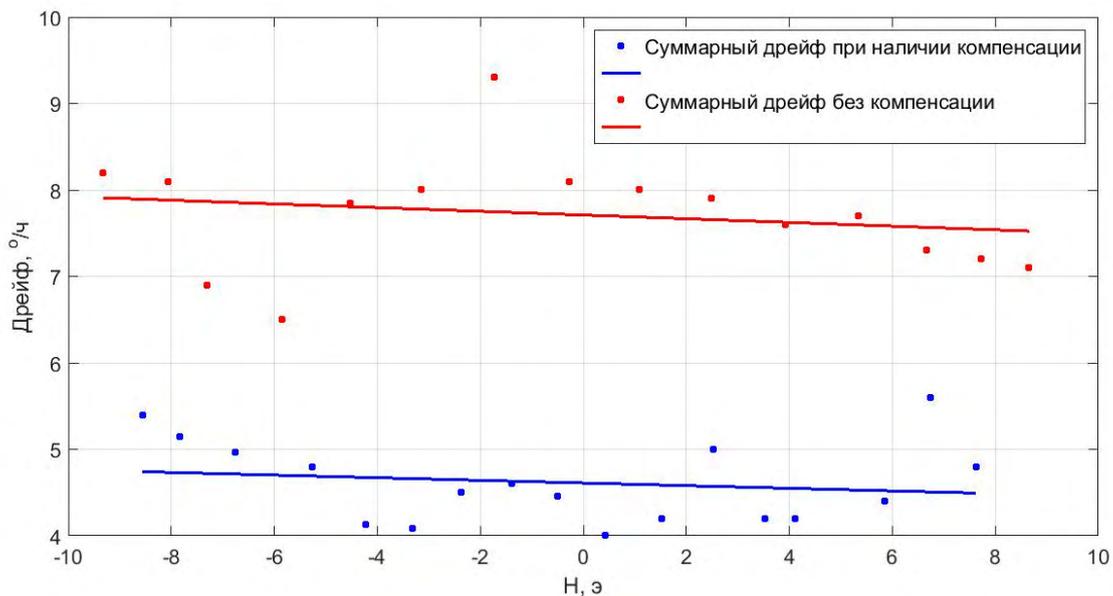


Рис. 9. Дрейфы четырехчастотного гироскопа, работающего в навигационном режиме

В работе было исследовано влияние магнитного поля на точность двух- и четырехчастотных зеемановских лазерных гироскопов при стабилизации частоты лазера в точке равенства усредненных интенсивностей волн ортогональной круговой поляризации, а также при работе лазерного гироскопа в навигационном режиме со знакопеременной подставкой и равенстве магнитных чувствительностей ортогональных поляризаций. Показано, что смещение нуля и нестабильность смещения нуля могут быть существенно снижены не только экранированием, но также и средствами активной компенсации после надлежащей обработки сигнала.

Список литературы

1. Аронович Ф. Лазерные гироскопы // В сб.: Применение лазеров В. П. Тычинский. М.: Мир, 1974. С. 182–269.
2. Азарова В. В., Голяев Ю. Д., Савельев И. И., Квантовая электроника, 2015. Т. 45, 2. С. 171–179.
3. Bennett W. R. Gaseous optical masers // Applied Optics, 1962. Supplement 1, 24.
4. Колбас Ю. Ю., Савельев И. И., Хохлов Н. И., Квантовая электроника, 2015. Т. 45, 6. С. 573–581.
5. Могильная Т. Ю., Савельев И. И., Тимонин П. В., Якушев А. И., Квантовая электроника, 1983. Т. 10, 10, С. 2032–2038.
6. Брославец Ю. Ю., Фомичев А. А., Амбарцумян Д. М., Егоров Р. О., Полукеев Е. А. // Материалы XXVI Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2019. С. 232–241.
7. Faucheux M., Fayoux D., Roland J. J. Journal of Optics, 2000. 19(3):101.