

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ МАГНИТНЫХ КОМПАСОВ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Д. Г. ГРЯЗИН<sup>1,2</sup>, И. В. СЕРГАЧЁВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Концерн «ЦНИИ „Электроприбор“» 197046, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: volnagd@yandex.ru

<sup>2</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

Разработана математическая модель, описывающая работу картушки судового магнитного компаса. Показано влияние внешних воздействующих факторов на коэффициенты модели. Представлены результаты экспериментального исследования (на образцах трех приборов) влияния низкой температуры и малого значения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли на переходные характеристики и зону застоя картушки магнитного компаса. На основе анализа полученных результатов сделан вывод о том, что уменьшение горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли существенно ухудшает переходные характеристики магнитного компаса, при этом снижение температуры приводит к увеличению длительности переходного процесса.

**Ключевые слова:** магнитный компас, динамические характеристики, высокие широты, низкие температуры, малое значение горизонтальной составляющей магнитного поля

**Введение.** Магнитные компасы (МК) получили самое широкое распространение на кораблях и судах. Их конструкция постоянно совершенствуется, в связи с этим исследования в области уменьшения погрешностей МК остаются актуальными. Некоторые работы посвящены снижению влияния внешних факторов (девиации) на показания МК, появились технические возможности уменьшения погрешности путем применения фильтра Калмана [1]. Одним из актуальных вопросов при проектировании МК является выбор их динамических характеристик, этим занимались такие известные ученые, как Л. А. Кардашинский-Брауде [2], С. В. Ермаков [3], В. П. Кожухов и др. Однако их исследования посвящены влиянию возмущающих факторов при работе МК в умеренных широтах. В связи с активизацией российского присутствия в арктической зоне актуальными становятся и исследования влияния на динамические характеристики МК факторов, характерных для работы прибора в условиях высоких широт. К числу таких факторов, в первую очередь, следует отнести пониженную температуру и малое значение горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли. Отметим, что большинство МК не предназначено для использования в приполярных широтах, где обычно применяются гироскопические компасы [4], погрешность которых значительно ниже.

Магнитный компас устанавливается на борту каждого судна в соответствии с требованиями международной конвенции СОЛАС 74 [5]. МК подразделяются на главные и запасные (путевые). В соответствии с требованиями, предъявляемыми Российским морским регистром судоходства к главным компасам судов [6], они должны состоять из нактоуза и котелка, внутри которого установлена картушка с магниточувствительным элементом. МК должен иметь дистанционную оптическую передачу курса от картушки на индикатор, установленный перед рулевым, а также может иметь выносной цифро-аналоговый индикатор, на котором должен отображаться истинный курс судна. Нактоуз с котелком должен устанавливаться на верхнем мостике судна и вырабатывать магнитный курс без электрического питания, оптический индикатор курса и выносной цифровой индикатор должны располагаться в рулевой рубке,

непосредственно перед рулевым и могут использовать резервное питание, в отсутствие энергосети судна.

Компенсация погрешности от девиации выполняется на судне в натуральных условиях. Несмотря на то что методика устранения девиации хорошо отработана [7—9], исследования в этом направлении продолжают [10]. На рынке представлено большое количество моделей как главных, так и путевых МК, однако поскольку требования к динамическим характеристикам компасов ни в одном регламентирующем документе не заданы, производители не нормируют и не контролируют эти характеристики. Таким образом, при проектировании всеширотных компасов представляется важным создание конструкции чувствительного элемента МК, подверженного минимальному влиянию пониженной температуры на его динамические характеристики.

**Динамические характеристики магнитных компасов.** Картушка магнитного компаса в общем случае представляет собой систему с сосредоточенными параметрами. Рассмотрим работу судового магнитного компаса, картушка которого помещена в котелок с вязкой жидкостью. Динамические характеристики такой системы при рыскании судна определяются уравнением второго порядка

$$(J + \lambda_\phi)\ddot{\phi} + W_C\dot{\phi} + (M\mu H + N)\sin\phi = A\sin(\omega t + \phi_\phi), \quad (1)$$

где  $\phi$  — угол разворота картушки при рыскании;  $J$  — момент инерции картушки;  $\lambda_\phi$  — присоединенный момент инерции жидкости;  $W_C$  — коэффициент гидродинамического сопротивления развороту картушки, зависящий от ее угловой скорости,  $M$  — магнитный момент картушки;  $\mu$  — магнитная (постоянная) проницаемость в вакууме;  $H$  — горизонтальная составляющая магнитного поля Земли;  $A$  — амплитуда вынужденных колебаний картушки под воздействием рыскания,  $\phi_\phi$  — их фаза. Отметим, что коэффициент  $W_C$  определяет демпфирующую силу и всегда имеет знак, противоположный угловой скорости разворота картушки,  $N$  — момент сил сухого трения. Предположим, что рыскание происходит на углах менее  $10^\circ$ , в связи этим, и учитывая радианную меру, примем  $\sin\phi = \phi$ .

Характеристическое уравнение системы имеет вид:

$$(J + \lambda_\phi)p^2 + W_C p + M\mu H + N = 0$$

или

$$p^2 + 2ap + \omega_0^2 = 0, \quad (2)$$

где  $a = \frac{W_C}{2(J + \lambda_\phi)}$  — коэффициент затухания;  $\omega_0 = \sqrt{\frac{M\mu H + N}{J + \lambda_\phi}}$  — круговая частота собственных недемпфированных колебаний.

Отметим, что близкие по форме выражения приводятся и в [11], однако авторы этой книги пренебрегают некоторыми составляющими сил, существенными для работы МК в высоких широтах.

Для круговой частоты демпфированной системы можно записать:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2},$$

где степень успокоения переходного процесса  $\xi = \frac{W_C}{2\sqrt{(J + \lambda_\phi)(M\mu H + N)}}$ .

Характеристическое уравнение (2) можно переписать в виде:

$$p^2 + 2\xi\omega_0 p + \omega_0^2 = 0. \quad (3)$$

Корни уравнения (3) определяются из выражения

$$p_{1,2} = -\xi\omega_0 \pm \omega_0 \sqrt{\xi^2 - 1}. \quad (4)$$

Выражение для коэффициента сопротивления  $W_c$  при квадратичном законе демпфирования имеет вид [7]:

$$W_c = 0,85\omega r K_c,$$

где  $K_c$  — квадратичный коэффициент сопротивления;  $r$  — амплитуда угловых колебаний картушки.

При этом

$$K_c = C_W(J + \lambda_\phi),$$

здесь  $\lambda_\phi$  — присоединенный момент инерции;  $C_W = \frac{3\Delta A_n}{4\bar{A}_{ncp}^2}$ ;  $\Delta A_n = A_{ncp} - A_{n+1cp}$  — уменьше-

ние средней для двух периодов колебаний амплитуды;  $\bar{A}_{ncp} = \frac{A_{ncp} + A_{n+1cp}}{2}$  — средняя для двух периодов амплитуда.

Расчету и экспериментальному определению значений  $\lambda_\phi$  посвящено множество публикаций, например [12].

Очевидно, что значение параметр  $H$  обратно пропорционально увеличению широты места. Параметры  $\lambda_\phi$  и  $W_c$  зависят от вязкости жидкости, которая является функцией температуры. Момент сил сухого трения  $N$  также изменяется в зависимости от вязкости. Таким образом, на собственную частоту колебаний картушки влияют не только конструктивные параметры компаса, но и значения горизонтальной составляющей магнитного поля и температуры компасной жидкости. При ее уменьшении плотность жидкости в котелке возрастает, увеличивается значение  $\xi$ , корни (4) уравнения (1) будут неравными и действительными. При  $\xi > 1$  система будет иметь апериодический переходный процесс. Аналогичная картина наблюдается и при уменьшении значения  $H$ . Такой переходный процесс характерен для авиационных „сухих“ МК, работающих в умеренных широтах при постоянной температуре, однако при воздействии повышенных вибраций и значительных ускорений в высоких широтах [11] апериодический переходный процесс приведет к невозможности использования МК. Об этом факте упоминает летчик полярной авиации В. Аккуратов [13]. В своих мемуарах он пишет, что выходом из положения являлось применение на самолетах жидкостных судовых магнитных компасов. Наличие колебательного переходного процесса, т.е.  $\xi < 1$ , является одним из важных критериев работоспособности судовых МК, однако очевидно и то, что при  $\xi \leq 0,5$  магнитная система становится склонной к частому возмущению.

**Влияние температуры на переходные характеристики МК.** С целью исследования влияния температуры на переходные характеристики произведены записи переходных процессов МК „Азимут 125м“; опытного образца картушки проектируемого компаса „Азимут КМ 05Д“ и МК „Азимут 90-1“ при 24 и  $-40$  °С. Записи производились в режимах изменения курса на 30—40°.

Отметим, что котелки МК „Азимут 125м“ [14] и „Азимут 90-1“ заполнены жидкостью ПМС-5 и предназначены для работы в умеренных широтах, а котелок МК „Азимут КМ-05Д“ заполнен смесью ПМС-5 и ПМС-1,5Р. МК „Азимут 125м“ и „Азимут КМ-05Д“, внешний вид которых одинаков, представлены на рис. 1.

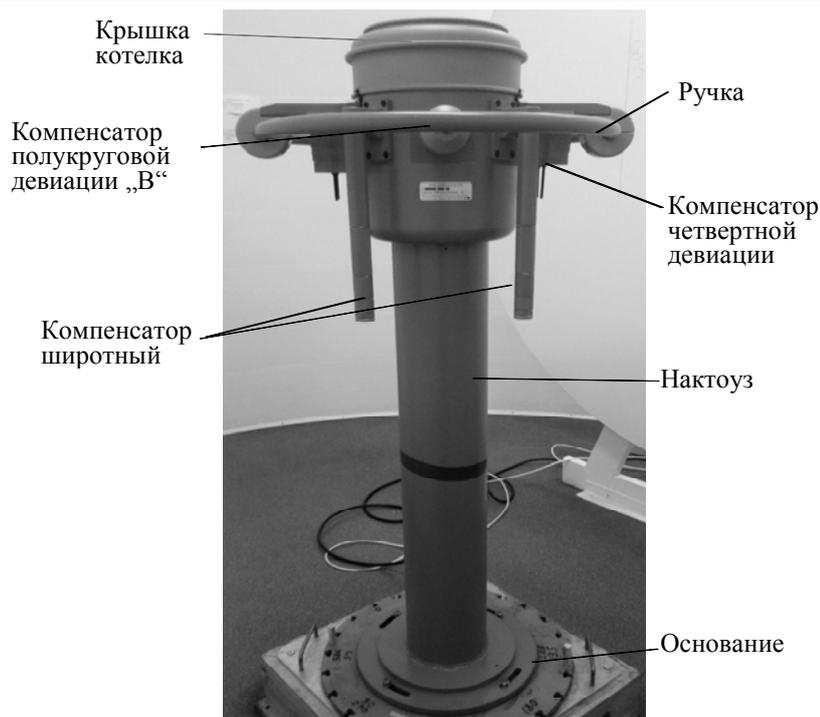


Рис. 1

МК „Азимут 125м“ предназначен для работы на судах в качестве главного. Он имеет следующие характеристики:

- диаметр катушки 125 мм,
- цена деления шкалы —  $1^\circ$ ;
- габаритные размеры нактоуза — диаметр 609, высота 1257 мм;
- компенсация полукруговой, четвертной и широтной девиации;
- возможность поставки с устройствами электронно-цифровой и (или) дистанционной телеметрической (аналог оптической) передачи показаний курса.

Шлюпочный компас „Азимут 90-1“ имеет следующие характеристики:

- диаметр шкалы — 90 мм;
- цена деления шкалы —  $2^\circ$ ;
- габаритные размеры — диаметр 122, высота 17 мм;



Рис. 2

— погрешность от трения — в пределах  $\pm (9/V)^\circ$ , где  $V$  (мкТл) — горизонтальная составляющая магнитной индукции магнитного поля Земли в месте проверки.

Внешний вид компаса представлен на рис. 2.

Переходные характеристики сравниваемых МК в условиях различных значений горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли определялись с использованием установки „Экран“ (рис. 3, крышки магнитных экранов сняты). Установка обеспечивает экранирование рабочей области  $300 \times 300$  мм от магнитного поля Земли, а также позволяет воспроизвести в этой области статическое магнитное поле требуемой интенсивности и направления величиной до 100 мкТл.

Величина поля задается с помощью токов управления в трех взаимно ортогональных катушках. Для разворота исследуемого компаса по азимуту в диапазоне от  $0$  до  $360^\circ$  с погрешностью не выше  $5'$  в рабочей области установки расположен поворотный стол.

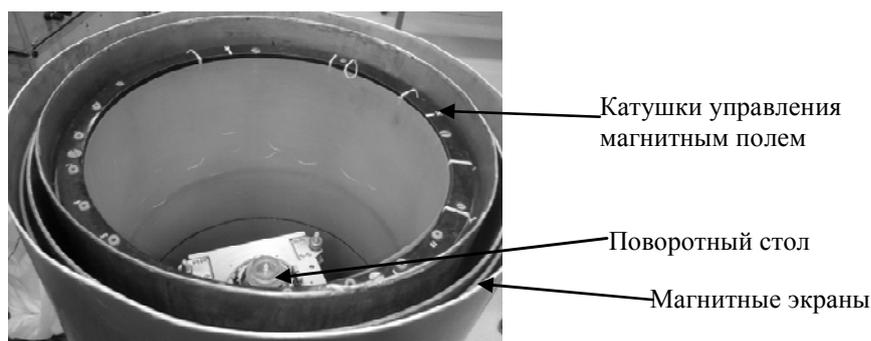


Рис. 3

Записи производились путем регистрации показаний компасов на видеокамеру после ручного разворота котелков на 15—50° с одинаковой угловой скоростью (отметим, что в обоих случаях разворот котелков на одинаковый угол выполнить не удалось). По результатам записанных переходных процессов при  $H = 15$  мкТл построены рис. 4—6.

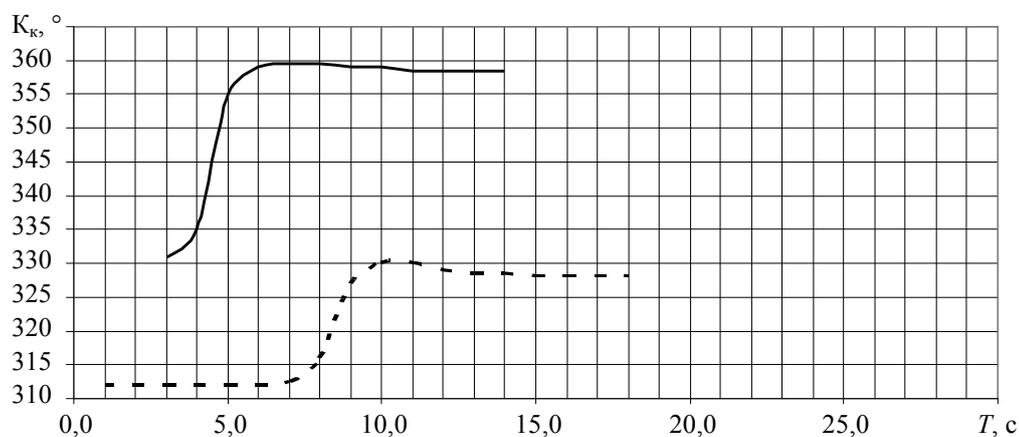


Рис. 4

На рис. 4 приведены переходные процессы при изменении курса ( $K_k$ ), полученные при различных условиях работы опытного образца катушки компаса „Азимут КМ-05Д“ и (сплошная кривая — разворот при  $t = 24$  °С на 28°; пунктир — при  $-40$  °С на 16°. На рис. 5 представлены процессы, полученные для компаса „Азимут 90-1“ (сплошная кривая — разворот при 24 °С на 33°, пунктир — при  $-40$ ° на 37°), на рис. 6 — для „Азимут 125“ (разворот на 21° при: сплошная кривая — 24 °С, пунктир —  $-40$ °).

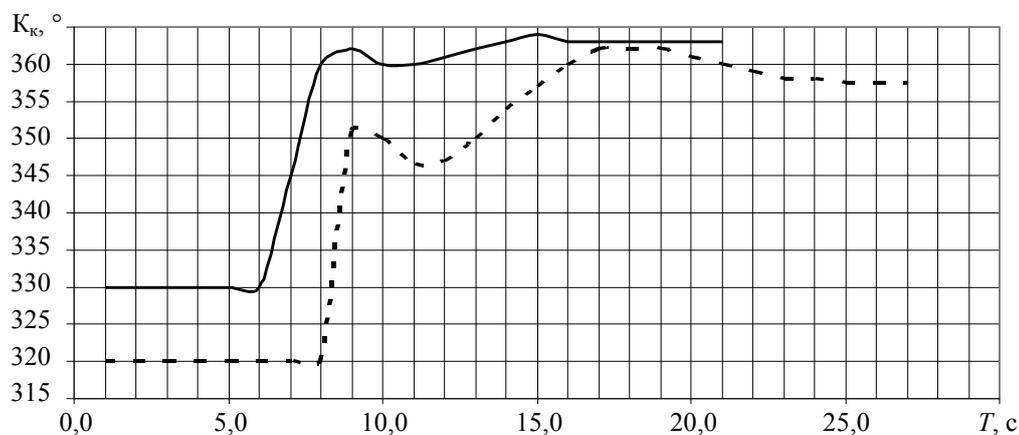


Рис. 5

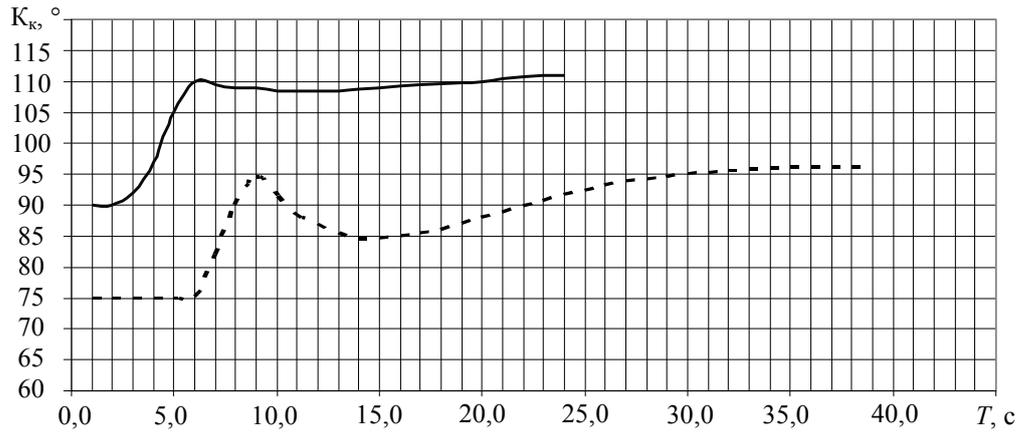


Рис. 6

Из рисунков видно, что переходные процессы компаса „Азимут 90-1“, не предназначенного для работы при низкой температуре, существенно возрастают. Характер переходного процесса компаса „Азимут КМ-05Д“ и его длительность при пониженной температуре остается близкой к значениям, полученным при комнатной температуре. Вид переходного процесса в обоих случаях подтверждает, что  $\xi \approx 1$ .

**Исследование зоны застоя картушки МК при работе в высоких широтах.** Наряду с динамическими характеристиками при выполнении экспериментальных исследований оценивалась и зона застоя. Исследования показали следующее:

— у заполненного жидкостью ПМС-5 компаса „Азимут 90-1“, при  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  и  $H = 3\text{ мкТл}$ , что соответствует  $84^\circ\text{СШ}$ , застой картушки увеличивается в 3,5 раза по сравнению с нормальными условиями. При этом следует отметить, что зона застоя ( $1,1^\circ$ ) остается в пределах  $3,0^\circ$ , что соответствует требованию п. 5.2.22 части V Правил по оборудованию морских судов РМРС [7] для шлюпочного компаса;

— у опытного образца картушки „Азимут КМ05Д“ с заполнением смесью жидкостей ПМС-5 и ПМС-1,5Р при  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  и  $H = 3\text{ мкТл}$  увеличения зоны застоя картушки по сравнению с нормальными условиями не наблюдается. При этом зона застоя  $0,3^\circ$ , т.е. остается в пределах  $1,0^\circ$  в соответствии с требованием п. 5.2.3 части V [7] для основного компаса при  $H = 3\text{ мкТл}$ ,  $\Delta = 3^\circ/H$ ;

— у картушки заполненного ПМС-5 „Азимут 125м“ при  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  и  $H = 3\text{ мкТл}$  застой картушки увеличивается в два раза по сравнению с нормальными условиями, при этом зона застоя  $0,2^\circ$ .

**Исследование переходных характеристик при работе МК в высоких широтах.** Очевидно, что наибольший интерес представляет влияние на переходные характеристики МК не только низкой температуры, но и малого значения горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли. Для оценки такого комплексного влияния внешних факторов на магнитные системы компасов выбраны „Азимут 90-1“ и опытный образец „Азимут КМ-05Д“, как МК с наилучшей и наихудшей переходными характеристиками, полученными в результате предыдущих испытаний. МК устанавливались на стол установки „Экран“, которая воспроизводила горизонтальную составляющую магнитного поля  $H = 3\text{ мкТл}$ . Регистрация измеренных значений также производилась с использованием видеокамеры после ручного разворота котелков на  $20\text{—}30^\circ$  с одинаковой угловой скоростью. На рис. 7 представлены переходные процессы МК „Азимут 90-1“ (сплошная кривая — разворот при  $24\text{ }^\circ\text{C}$  на  $47^\circ$ , пунктир — при  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  на  $38^\circ$ ); на рис. 8 опытного образца МК „Азимут КМ-05Д“ (сплошная кривая — при  $24\text{ }^\circ\text{C}$  на  $28^\circ$ , пунктир — при  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  на  $38^\circ$ ).

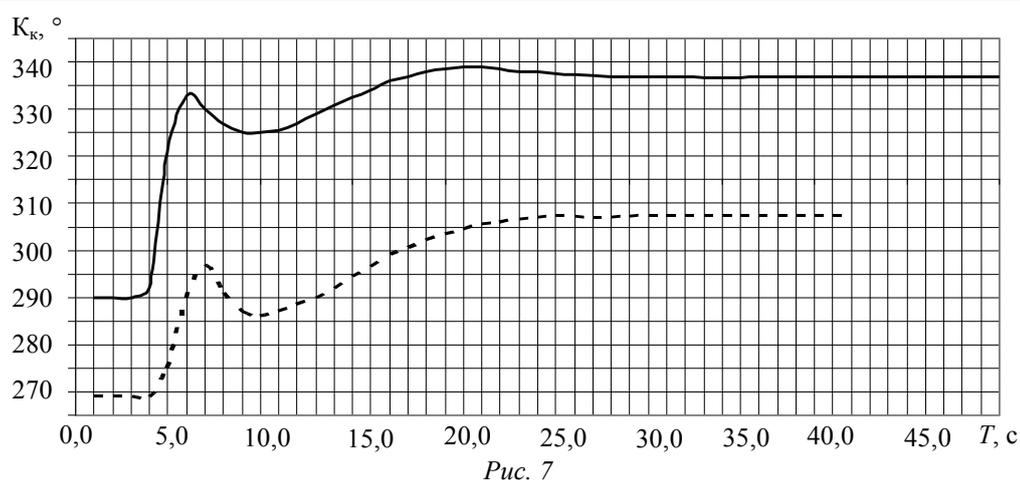


Рис. 7

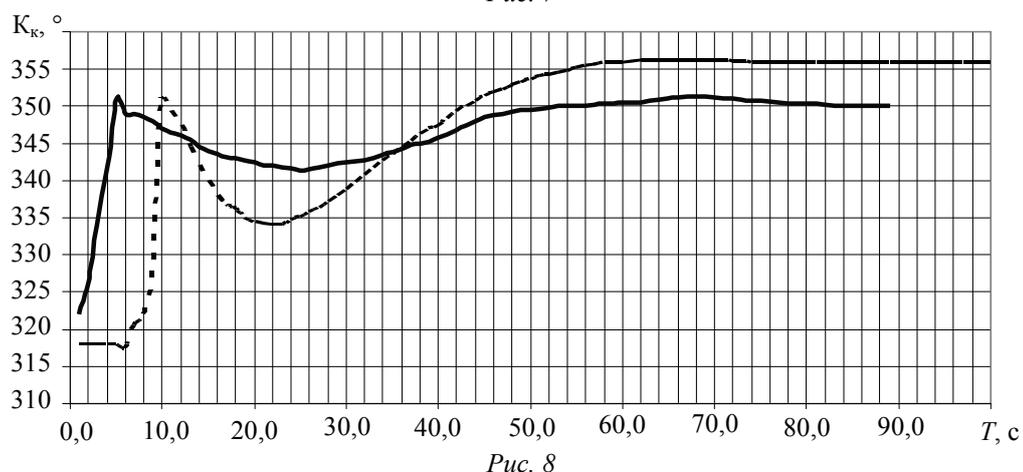


Рис. 8

Анализ рис. 5 и 7 показывает, что характер переходных процессов для различных температур МК „Азимут 90-1“ при уменьшении горизонтальной составляющей магнитного поля до 3 мкТл не изменяется. При этом значения перерегулирования и времени переходного процесса МК „Азимут 90-1“ возрастают в 2—3 раза. Из сопоставления рис. 4 и 8 становится очевидным, что характер переходного процесса МК „Азимут КМ-05Д“ при уменьшении горизонтальной составляющей магнитного поля до 3 мкТл изменяется и из аperiodического становится колебательным. При этом перерегулирование увеличивается в 3—5 раз, а время переходного процесса — на порядок. Отметим, что влияние на переходные характеристики оказывают оба фактора, но чем меньше диаметр катушки, тем меньше перерегулирование, что можно объяснить уменьшением влияния присоединенной к катушке массы жидкости.

**Выводы и рекомендации.** Результаты исследований влияния температуры на переходные характеристики магнитных компасов показывают, что:

— динамические характеристики МК в значительной степени определяются конструктивными параметрами и на одной географической широте при правильно подобранной жидкости мало изменяются при низких температурах;

— для работы в условиях периодических возмущений требуется  $\xi \approx 1$ ;

— уменьшение горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли существенно ухудшает переходные характеристики МК, при этом снижение температуры приводит только к увеличению перерегулирования;

— для уменьшения дополнительной погрешности от влияния низких температуры и горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли в высоких широтах следует применять специальные системы коррекции МК [15].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-08-00265.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ву С. Х., Иванов В. Э., Кумков С. И., Нгуен Д. Т. Исследование, изготовление корабельного цифрового магнитного компаса и применение фильтра Калмана для фильтрации зашумленной информации данного компаса // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 5. С. 10.
2. Кардашинский-Брауде Л. А. Повышение динамической устойчивости показаний судовых магнитных компасов при горизонтальных ускорениях [Электронный ресурс]: <<http://www.navydevices.ru/informations/section-publications/publications/85-2002-09-21-13-29-52>>.
3. Ермаков С. В. Математическая модель колебаний чувствительного элемента магнитного компаса при малом отклонении его оси от плоскости компасного меридиана // Матер. VI Междунар. Балтийского морского форума. 2018. С. 17—29.
4. Andreev A. G., Ermakov V. C., Mafter M. B., Kokorin V. I., Rummyantsev C. V. High latitude trials of modern Russian marine compasses // IEEE/ION Position, location and navigation symposium. 2006. V. 1—3 p. 636. <https://research.sfu-kras.ru/publications/publication/777470750-545303440>.
5. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года СОЛАС-74. С изменениями на 01.01.2016 [Электронный ресурс]: <[docs.cntd.ru/document/901765675](https://docs.cntd.ru/document/901765675)>.
6. Правила по оборудованию морских судов. Ч. V. Навигационное оборудование. СПб: Российский морской регистр судоходства, 2016.
7. Правила штурманской службы № 38. Девиационные работы на кораблях и судах военно-морского флота. М.: Главное управление навигации и океанографии МО РФ, 1994.
8. Bowditch N. The American Practical Navigator. 1995. Vol. 2. 552 p.
9. Denne W. Magnetic Compass Deviation and correction. Nautical Publisher, 1979. 65 p.
10. Pham Van Tan, Van-Suong Nguyen. The method to calculate the deviation coefficients for marine magnetic compass // Intern. J. of Engineering Research and Technology. 2019. Vol. 12, N 11. P. 1941—1944.
11. Кожухов В. П., Воронов В. В., Григорьев В. В. Магнитные компасы. М.: Транспорт, 1981.
12. Благовещенский С. Н., Холодилин А. Н. Справочник по статике и динамике корабля. Л.: Судостроение, 1975. Т. 2.
13. Аккуратов В. На новых трассах. М.: Изд-во Главсевморпути, 1941 [Электронный ресурс]: <[https://royallib.com/book/akkuratov\\_valentin/na\\_novih\\_trassah.html](https://royallib.com/book/akkuratov_valentin/na_novih_trassah.html)>.
14. [Электронный ресурс]: <<http://www.elektropribor.spb.ru/katalog/navigatsionnye-pribory/azimut-125m-magnitnyy-kompas/>>.
15. Емельянцева Г. И., Степанов А. П. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации. СПб: Электроприбор, 2016. 393 с.

**Сведения об авторах**

- Дмитрий Геннадиевич Грязин** — д-р техн. наук, доцент; Концерн «ЦНИИ „Электроприбор“», отдел 068; Университет ИТМО; E-mail: volnagd@yandex.ru
- Игорь Вениаминович Сергачёв** — Концерн «ЦНИИ „Электроприбор“», отдел 065; ведущий инженер; E-mail: sergis@pochta.tvoe.ru

Поступила в редакцию  
10.07.2020 г.

**Ссылка для цитирования:** Грязин Д. Г., Сергачёв И. В. Влияние внешних факторов на переходные процессы магнитных компасов в высоких широтах // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 10. С. 921—929.

## INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON TRANSIENT PROCESSES OF MAGNETIC COMPASS AT HIGH LATITUDES

D. G. Gryazin<sup>1,2</sup>, I. V. Sergachev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Concern CSRI Elektropribor, JSC, 197046, St. Petersburg, Russia  
E-mail: volnagdg@yandex.ru

<sup>2</sup>ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia

A mathematical model describing operation of the card of a ship's magnetic compass, is developed. The influence of external factors on the model coefficients is demonstrated. Results of experimental studies of the influence of low temperatures and small value of the horizontal component of Earth's magnetic field on transient characteristics and a dead zone of the card carried out with three samples of the magnetic compass are presented. Based on the analysis of obtained results, it is concluded that a decrease in the horizontal component of the Earth's magnetic field vector significantly affects the transition characteristics of the magnetic compass, while a decrease in temperature leads to an increase in the transition process duration.

**Keywords:** magnetic compass, dynamic characteristics, high latitudes, low temperatures, low value of horizontal component of magnetic field

### REFERENCES

1. Vu S.Kh., Ivanov V.E., Kumkov S.I., Nguyen D.T. *Zhurnal radioelektroniki*, 2019, no. 5, pp. 10. (in Russ.)
2. <http://www.navydevices.ru/informations/section-publications/publications/85-2002-09-21-13-29-52>. (in Russ.)
3. Ermakov S.V. *Materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma* (Materials of the VI International Baltic Maritime Forum), Kaliningrad, 2018, pp. 17–29. (in Russ.)
4. <https://research.sfu-kras.ru/publications/publication/777470750-545303440>.
5. [docs.cntd.ru/document/901765675](https://docs.cntd.ru/document/901765675). (in Russ.)
6. *Pravila po oborudovaniyu morskikh sudov. Chast' V. Navigatsionnoye oborudovaniye. Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva* (Rules for the Equipment of Sea-Going Vessels. Part V. Navigation Equipment. Russian Maritime Register of Shipping) St. Petersburg, 2016. (in Russ.)
7. *Pravila shturmanskoj sluzhby N 38. Deviatsonnyye raboty na korablyakh i sudakh voyenno-morskogo flota* (Navigation Rules N 38. Deviation Works on Ships and Vessels of the Navy), Main Directorate of Navigation and Oceanography of the RF Ministry of Defense, 1994. (in Russ.)
8. Bowditch N. *The American Practical Navigator*, 1995, vol. 2, 552 p.
9. Denne W. *Magnetic Compass Deviation and correction*, Nautical Publisher, 1979, 65 p.
10. Pham Van Tan, Van-Suong Nguyen. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2019, no. 11(12), pp. 1941–1944.
11. Kozhukhov V.P., Voronov V.V., Grigor'yev V.V. *Magnitnyye kompasy* (Magnetic Compasses), Moscow, 1981. (in Russ.)
12. Blagoveshchenskiy S.N., Kholodilin A.N. *Spravochnik po statike i dinamike korablya* (Handbook of Ship Statics and Dynamics), Leningrad, 1975, vol. 2. (in Russ.)
13. [https://royallib.com/book/akkurativ\\_valentin\\_na\\_novih\\_trassah.html](https://royallib.com/book/akkurativ_valentin_na_novih_trassah.html). (in Russ.)
14. <http://www.elektropribor.spb.ru/katalog/navigatsionnyye-pribory/azimut-125m-magnitnyy-kompas/>. (in Russ.)
15. Emelyantsev G.I., Stepanov A.P. *Integrirovannyye inertsiyal'no-sputnikovyye sistemy oriyentatsii i navigatsii* (Integrated Inertial-Satellite Orientation and Navigation Systems), St. Petersburg, 2016, 393 p.

### Data on authors

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Dmitry G. Gryazin</b> | — Dr. Sci., Associate Professor; Concern CSRI Elektropribor, JSC, Department 068; ITMO University; E-mail: volnagdg@yandex.ru |
| <b>Igor V. Sergachev</b> | — Concern CSRI Elektropribor, JSC, Department 065; Leading Engineer; E-mail: sergis@pochta.tvoe.ru                            |

**For citation:** Gryazin D. G., Sergachev I. V. Influence of external factors on transient processes of magnetic compass at high latitudes. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 10. P. 921–929 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-10-921-929