

УДК 629.058.45:681.883.48

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСВЕННЫХ  
МЕТОДОВ ОЦЕНОК КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ СУДНА**

Завьялов В.В.,

Нгуен Ван Тхань

Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

г. Владивосток, Россия

e-mail: [zavyalov@msun.ru](mailto:zavyalov@msun.ru)

**Аннотация:** целью работы является обоснование возможности построения вычислительных устройств корреляционных лагов на основе использования некоторых косвенных методов оценок корреляционных функций. Проведен анализ предыдущих опубликованных работ. Обоснованы основные технические характеристики корреляционного лага для судов. На основе анализа результатов оценок корреляционных функций и дисперсий этих оценок в рабочих точках слежения корреляторов предлагаемых лагов при использовании сформированных эхо-сигналов сделан вывод о возможности использования степенных корреляционных функций для целей построения корреляционных лагов.

Одной из важнейших задач судовождения была и остается задача автономного определения путевой скорости и угла сноса судна. Информация от лага используется в различных системах управления судном (авторулевые, САРП, РДР и др.).

Основные проблемы создания высокоэффективного судового лага анализировались в работах [1–4]. В настоящее время на транспортных судах и некоторых научно-исследовательских с успехом эксплуатируются корреляционные гидроакустические лаги (КГАЛ). Теоретические и экспериментальные исследования этих измерителей скорости продолжаются в течение полувека [5–7].

В настоящее время требования к технико-эксплуатационным характеристикам лагов возрастают, поэтому уменьшение погрешности при измерении скорости судна является актуальной задачей.

В работах [5, 8] проанализированы возможности использования прямых (мультипликативных) и некоторых косвенных (релейных, полярных и среднего модуля разности функций) способов вычисления корреляционных функций (КФ) для целей измерения скорости, а также достоинства и недостатки их применения в вычислительных устройствах (корреляторах) лагов. В основном вопрос касался увеличения крутизны функции слежения в рабочей точке коррелятора при измерении какой-либо составляющей вектора измеряемой скорости.

Свойство инвариантности стационарных процессов во времени позволяет заменить операцию умножения значений  $x(t)$  и  $x(t+\tau)$  при определении корреляционной функции их сложением или вычитанием с последующим возведением суммы (разности) в квадрат. Остальные операции, необходимые для вычисления КФ, остаются такими же, как и при осуществлении метода умножения.

Сравнивая метод суммирования (вычитания) и возведения в квадрат с методом умножения, следует заметить, что нередко суммирование (вычитание) и возведение в квадрат аппаратно достигаются проще, чем умножение.

Для получения точности оценки КФ необходимы сигналы, принятые антенной системой корреляционного лага. Для этого в первую очередь необходимо определить величину несущих колебаний излучаемого сигнала. Величина рабочей глубины для эхолотов ограничена 200 метров. Ограничимся этой величиной.

Фрагменты сформированных эхосигналов, принятых антенной корреляционного лага с характеристиками:  $f_0 = 200$  кГц,  $\lambda = 0,0075$  м,  $k_h = 0$ ,  $X = 0,016875$  м,  $\Delta\alpha = 0,1992$  рад =  $11,5^\circ$ ,  $V = 5,14$  м/с,  $C = 0^\circ$  показаны на рисунке 1.

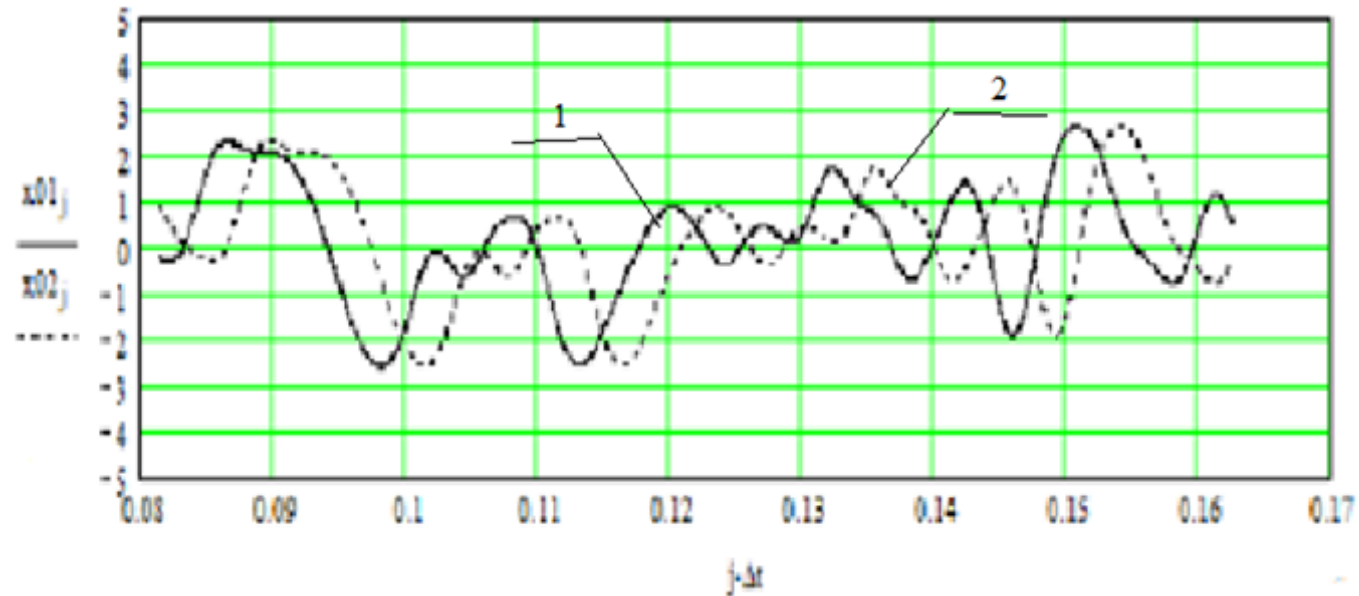


Рис. 1. 1 – сигнал  $x(t)$ , 2 – сигнал  $y(t+\tau)$

Для вычисления мультипликативных, среднего модуля разности и степенных автокорреляционных и взаимных корреляционных функций использованы выражения

$$K_{xx}(\tau) = M\left[|X(t) \times X(t + \tau)|\right],$$

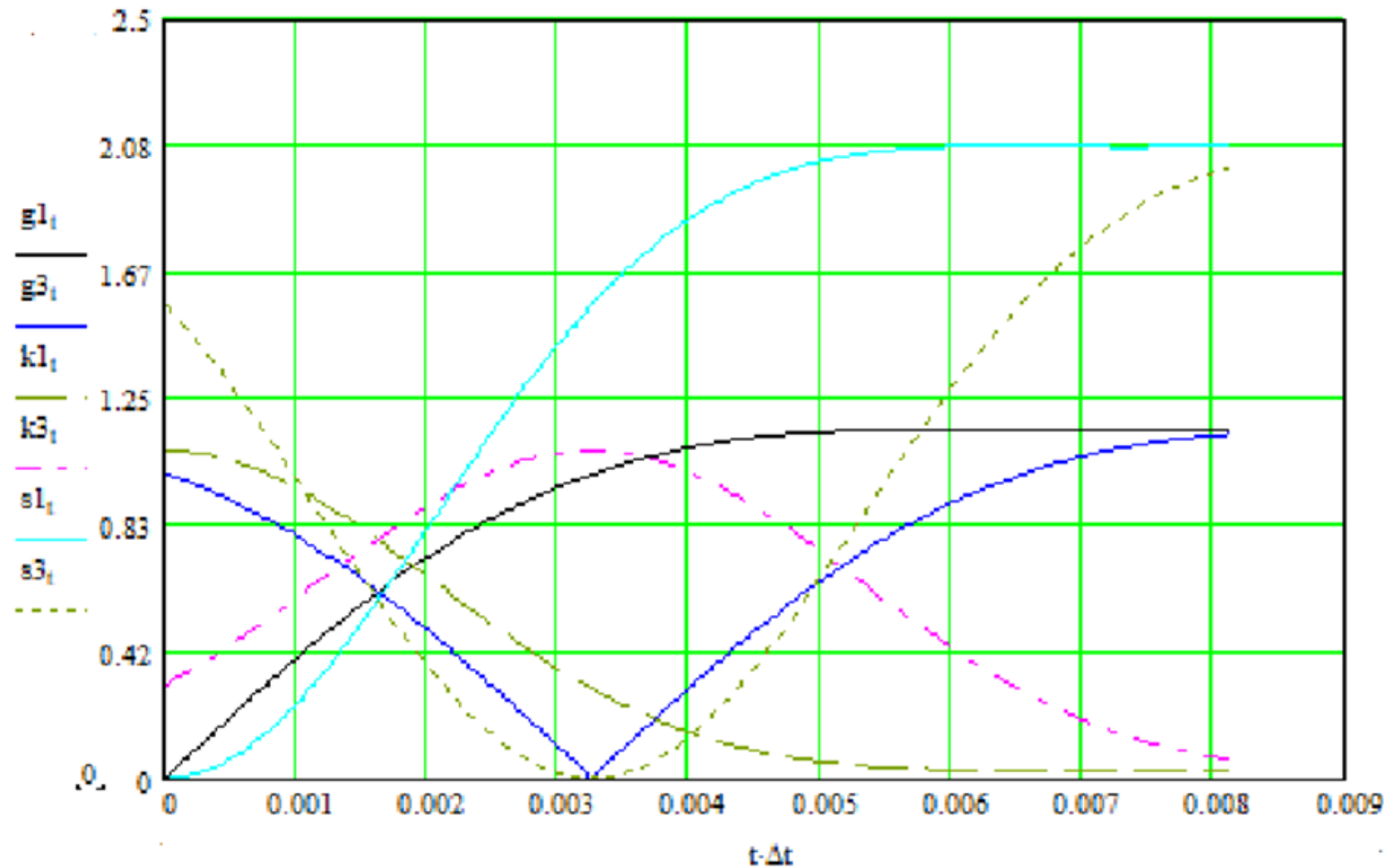
$$K_{xy}(\tau) = M\left[|X(t) \times Y(t + \tau)|\right],$$

$$G_{xx}(\tau) = M\left[|X(t) - X(t + \tau)|\right]$$

$$G_{xy}(\tau) = M\left[|X(t) - Y(t + \tau)|\right]$$

$$S_{xx}(\tau) = M\left[X(t) + X(t + \tau)\right]^2$$

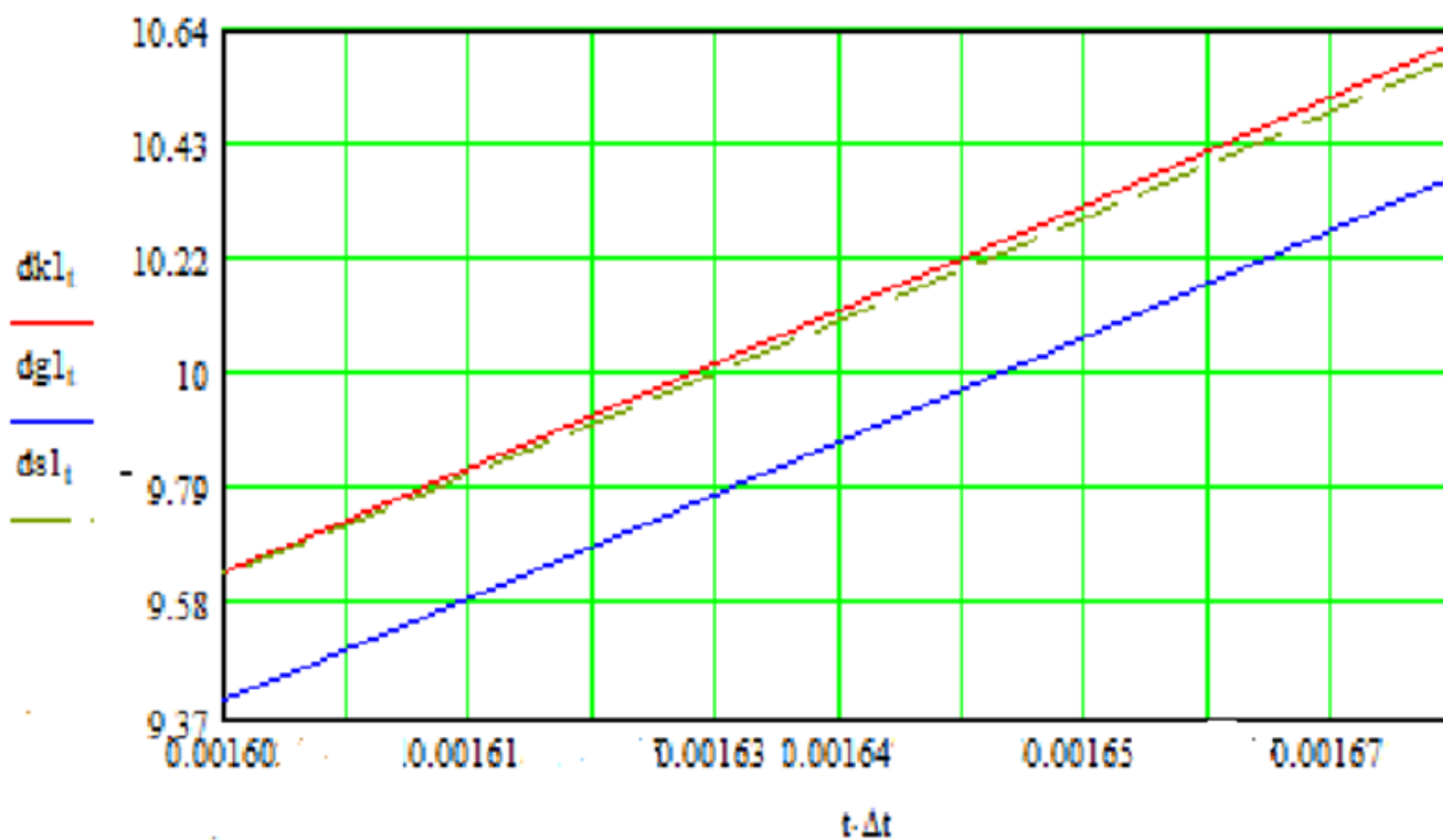
$$S_{xy}(\tau) = M\left[X(t) + Y(t + \tau)\right]^2$$



$k_1, g_1, , s_1$  – мультипликативная, среднего модуля разности и степенная автокорреляционные функции;

$k_3, g_3, , s_3$  – мультипликативная, среднего модуля разности и степенная взаимные корреляционные функции

Рис.2. Графики корреляционных функций



$dk1$ ,  $dgl$ ,  $dsl$  – дисперсии оценок мультипликативной, среднего модуля разности и степенной автокорреляционных функций;

Рис.3. Графики дисперсий оценок корреляционных функций





Дисперсии и их относительная разность	В зоне задержки $\tau_2 = 0,001642$ сек	В зоне задержки $\tau_1 = 0,003283$ сек
$\hat{D}_{\hat{K}_{xx}}$	10,11	40,315
$\hat{D}_{\hat{G}_{xx}}$	9,87	39,892
$\delta\hat{D}_{\hat{K}\hat{G}_{xx}}$	2.43%	1,06%
$\hat{D}_{\hat{K}_{xy}}$	9,96	39,96
$\hat{D}_{\hat{G}_{xy}}$	9,93	39,9
$\delta\hat{D}_{\hat{K}\hat{G}_{xy}}$	2,79%	0,15%
$\hat{D}_{\hat{S}_{xx}}$	10,087	39,893
$\delta\hat{D}_{\hat{K}\hat{S}_{xx}}$	0,29%	1,058%
$\delta\hat{D}_{\hat{G}\hat{S}_{xx}}$	2,13%	<b>-0,003%</b>
$\hat{D}_{\hat{S}_{xy}}$	10,17	40,05
$\delta\hat{D}_{\hat{K}\hat{S}_{xy}}$	<b>-2,06%</b>	<b>-0,22%</b>
$\delta\hat{D}_{\hat{G}\hat{S}_{xy}}$	<b>-5,31%</b>	<b>-0,37%</b>

Анализ расчетов этих показал, что дисперсии степенных корреляционных функций по величине несколько больше других величин дисперсий. Однако, как видно из графиков на рисунке 2:

– крутизна разности степенных авто- и взаимной корреляционных функций в точках слежения за измеряемыми задержками выше, чем остальных;

– относительного смещения по оси времени рабочих точек слежения нет.

**Вывод.** Использование степенных корреляционных функций для построения вычислительных устройств корреляционных лагов возможно. Вопросы точности измерения скорости требуют дополнительных исследований.