

УДК 629.12.053

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДОПЛЕРОВСКОГО ЛАГА ЛДУ-400

© А.П.Мартынюк, А.Л.Соколов, 2009

ООО «MARPRO-GRUP», г. Бэлць, Молдова

ЦНИИ «Электроприбор» г. Санкт-Петербург

Розглядаються результати натурних випробувань доплерівського лагу ЛДУ-400 на Ладозькому озері. Виконано опис умов проведення випробувань. Надано оцінку похибок в різних режимах функціонування.

Рассматриваются результаты натурных испытаний доплеровского лага ЛДУ-400 на Ладожском озере. Описаны условия проведения испытаний. Дана оценка погрешностей в различных режимах функционирования.

The results of full-scale tests of Doppler log ЛДУ-400 on the Ladoga lake are examined. The conditions of realization of tests are described. The estimation of errors in various modes of operating is given

### ШВАРТОВНЫЕ И ХОДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ, ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ, ДОПЛЕРОВСКИЙ ЛАГ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Лаг доплеровский универсальный ЛДУ-400 разработан ООО «MARPRO-GRUP» в период с 2006 по 2009 гг. Лаг предназначен для измерения горизонтальных составляющих вектора скорости и глубины под антенной подводных лодок, подводных аппаратов, а также надводных кораблей и судов.

Основные технические характеристики ЛДУ-400 [1]:

– диапазон рабочих глубин, м от 2 до 400;

– диапазон измеряемых скоростей, уз. от –5 до 35;

– среднеквадратическая погрешность измерения

горизонтальных составляющих вектора скорости

при  $V \leq 10$  уз, уз 0,03;

при  $V > 10$  уз, % 0,3;

– габаритные размеры аппаратной части

без прибора отображения, мм

250x150x320;

– вес аппаратной части без прибора отображения, кг

9,5;

– габаритные размеры гидроакустической антенны, мм

Ø 460x209;

– вес гидроакустической антенны, кг

90;

– электропитание от сети постоянного тока напряжением 27 В или от сети переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц.

Лаг унифицирован на уровне аппаратной части с лагом доплеровским универсальным ЛДУ-160 [2]. Лабораторные испытания ЛДУ-400 с использованием программно-аппаратного комплекса имитации сигналов ПАКИС [3] были проведены в первом квартале 2009 г. В основу натурных испытаний были положены требования программы и методики испытаний МР.365354.002ПМ [4], разработанной специалистами ООО «MARPRO-GRUP». Испытания проводились в два этапа: Швартовные и Ходовые испытания.

## 1. Швартовные испытания п.5.2 МР.365354.002ПМ

### 1.1 Место и время проведения:

Ладожское озеро, испытательный полигон 083 ЦНИИ «Электроприбор», судно «АЗИМУТ», 18 августа 2009 г.

Результаты проверок на швартовных испытаниях приведены в табл. 1.

### 1.2 Измерительные средства, использованные при проведении проверок:

- измеритель RLC E7-22, инв. № 1144, ЦНИИ «Электроприбор»;
- мультиметр APPA, инв. № 3104/07, ЦНИИ «Электроприбор»;
- осциллограф TDS 2012, инв. № 31001, ЦНИИ «Электроприбор».

Таблица 1. Результаты проверок на швартовных испытаниях.

Содержание проверки	Требование МР.365354.002 ПМ	Измеренное значение или результат проверки
Комплектность эксплуатационной документации лага	Соответствовать МР.365354.002 ЭД	Соответствует МР.365354.002 ЭД
Сопротивление изоляции прибора 1	> 10 мОм между сигнальными выводами и >10 кОм между нулевым выводом и корпусом.	Сопротивление изоляции между сигнальными выводами и корпусом прибора 1 более 10 мОм, между нулевым выводом и корпусом более 10 кОм
Электрическая емкость прибора 1	–	Соответствует ИКЛМ.365351.094 ПС
Сопротивление изоляции цепей питания лага	Не менее 1 мОм	Более 10 мОм
Уровень собственных электрических шумов в каждом канале приемного тракта	Не более 0,18 В	Менее 0,16 В
Электрическая мощность генератора Выход «φ = 0» Выход «φ = 180»	Не менее 90 Вт Не менее 90 Вт	Более 90 Вт Более 90 Вт
Имитация измерения скорости	–	Соответствует
Проверка правильности выдачи лагом информации внешним потребителям	–	Соответствует
Ввод исходных констант	–	Соответствует

## 2.Ходовые испытания ЛДУ-400 п.5.3 МР.365354.002ПМ

### 2.1 Место и время проведения:

Ладожское озеро, испытательный полигон 083 ЦНИИ «Электроприбор», судно «АЗИМУТ», 18-20 августа 2009 г.

### 2.2 Условия проведения:

Диапазон глубин от 2 до 99 м;

Диапазон скоростей от 0 до 7 узлов;

Качка судна на измерительных пробеггах менее 3 градусов;

Гидроакустическая антенна – прибор 1 установлена на забортном устройстве приблизительно на 1/3 длины судна от носа. Вертикальная составляющая скорости в месте установки антенн не оценивалась.

При проведенні испытаній для оцінки глибини використовувався штатний ехолот фірми «FURUNO». В якості джерела еталонної швидкості використовувалась інформація от приймача GPS, встановленого на штанге забортного пристрою та ГКУ.

Регістрація часу, результатів вимірювання горизонтальних складових вектора швидкості та глибини здійснювалась з допомогою технологічного комп'ютера. З допомогою іншого технологічного комп'ютера реєструвались час, координати судна по GPS та курс по ГКУ. Час на комп'ютерах було синхронізовано.

Результати перевірок на ходових випробуваннях наведені в табл. 2...5.

2.3 Результати перевірок по п. 5.3.1 та 5.3.3...5.3.5 програми та методики представлені в табл. 2

Таблиця 2. Результати перевірок по п. 5.3.1 та 5.3.3...5.3.5 програми та методики

Содержание проверки	Требования ПМ	Измеренное значение или результат проверки
Уровень гидроакустических помех в месте установки антенны	Менее 0,1 Па	Менее 0,08 Па (наблюдаются импульсные помехи при глубинах от 14 м до 30 м, вероятно сигналы эхолота)
Время готовности лага к выдаче информации о скорости	Менее 30 с	Соответствует ПМ. Менее 18 с
Измерение составляющих вектора абсолютной и относительной скорости	Измерение: абсолютной скорости в диапазоне от 2 до 400 м; относительной скорости более 400 м	Соответствует ПМ. Проверка измерения абсолютной скорости производилась в диапазоне от 2 до 99 м. Соответствует ПМ. Проверка измерения относительной скорости производилась при глубине менее 400м
Измерение глубины под килем судна	Измерение глубины под антенной в диапазоне от 2 до 400м	Соответствует ПМ. Измерение глубины проверялось в диапазоне глубин под антенной от 2 до 99 м

2.4 Оцінка функціонування, визначення коефіцієнта лага та кута розвороту вироблялась на глибині під антенною від 30 до 40 м та від 80 до 99 м (показання по лагу) при часі осереднення в апаратурі лага  $T_o=64$  с та  $T_o=4$ с.

Ввиду обмеженості часу випробувань, з урахування якості еталонних швидкостей, к розрахуку прийняті дані по чотирьох пробігах. Результати представлені в табл. 3,

Таблиця 3.

№ пробега	Время пробега, ч: м: с		Эталон						ЛДУ-400		$K_d$	$P_p$ , рад
	начало	конец	$V_{xz}$ , уз	$V_{yz}$ , уз	$\sigma V_z$ , уз	$K_{cp}$ , град	$\sigma K$ , град	$\Delta K$ , град	$V_{xл}$ , уз	$V_{yл}$ , уз		
1	14.07.50	14.12.00	6,0306	-0,039	0,007	32,7	0,8	2,0	6,12	0,09	1,0148	-0,0146
2	15.55.22	15.57.22	6,6804	0,0431	0,004	354,0	1,1	3,0	6,76	0,26	1,0119	-0,0321
3	16.13.00	16.20.18	6,1838	0,6915	0,11	168,9	1,84	5,0	6,29	0,63	1,0172	-0,0098
4	16.43.34	16.51.51	5,6297	0,6591	0,012	162,8	2,4	2,5	5,75	0,54	1,0226	0,0207

где  $\sigma V_s$  – среднеквадратическое отклонение эталонной скорости,  $K_{cp}$  – среднее значение курса судна на пробеге,  $\sigma K$  – среднеквадратическое отклонение курса на пробеге,  $\Delta K$  – максимальные отклонения от среднего курса на пробеге,  $K_l$  – коэффициент лага,  $P_p$  – угол разворота антенны (угловое рассогласование).

Оценка стандартного отклонения коэффициента лага и угла разворота, а также оценка точности лага по выборке ограниченного объема – четырем пробегам не является корректной.

По этой причине в предположении, что на малых интервалах времени скорость судна меняется незначительно, оценка точности ЛДУ-400 в первом приближении проводилась по внутренней сходимости показаний лага. Оценка СКО показаний лага производилась по 30 значениям, темп выдачи информации о составляющих скорости 1 с, время осреднения в аппаратуре лага  $T_o = 64$  с при глубинах более 30 м (файл LDU\_DEPTH\_MAX.XLS) и времени осреднения  $T_o = 4$  с на малых глубинах от 2 и более метров (файл LDU\_DEPTH\_MIN.XLS).

Результаты оценки среднеквадратической погрешности по внутренней сходимости представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Время пробега, ч: м: с		V <sub>хл</sub> ср, узл	СКО V <sub>хл</sub> ср, узл	V <sub>ул</sub> ср, узл	СКО V <sub>ул</sub> ср, узл	Глубина по лагу, м	
начало	конец					min	max
14:07:50	14:08:19	6,11	0,0088	-0,14	0,0068	39,7	44,6
14:08:20	14:08:49	6,12	0,0110	-0,15	0,0104	38,30	47,2
14:08:50	14:09:19	6,12	0,0081	-0,16	0,0084	37,6	41,8
14:09:20	14:09:49	6,13	0,0084	-0,16	0,0168	37,8	41,5
14:09:50	14:10:19	6,14	0,0055	-0,13	0,008	37,9	40,1
14:10:20	14:10:49	6,14	0,0054	-0,10	0,0047	35,0	39,0
14:12:50	14:13:19	6,14	0,0050	-0,07	0,0047	29,4	33,3
15:52:22	15:52:52	6,72	0,0070	0,22	0,0094	93,70	95,6
15:52:53	15:53:24	6,74	0,0056	0,23	0,0051	87,40	97,0
15:53:25	15:53:54	6,73	0,0074	0,21	0,0126	88,70	97,1
15:53:55	15:54:25	6,71	0,0050	0,17	0,0057	95,10	99,1
15:54:26	15:54:55	6,71	0,0144	0,18	0,0050	90,00	99,3
15:54:56	15:55:55	6,74	0,0113	0,19	0,0086	98,50	99,9
15:55:25	15:55:54	6,77	0,0093	0,19	0,0050	99,40	99,8
16:13:00	16:13:29	6,25	0,0100	0,64	0,0081	84,1	93,1
16:13:30	16:13:59	6,24	0,0030	0,63	0,0037	88,6	90,8
16:14:00	16:14:29	6,26	0,0097	0,61	0,0073	81,5	89,2
16:14:30	16:14:59	6,26	0,0077	0,61	0,0133	79,3	88,4
16:15:00	16:15:29	6,26	0,0119	0,59	0,0077	78,8	87,8
16:15:30	16:15:59	6,31	0,0126	0,59	0,0050	81,7	86,3
16:16:00	16:16:29	6,28	0,0159	0,60	0,0041	75,8	82,9
16:43:40	16:44:09	5,74	0,0050	0,56	0,0080	38,4	43,9
16:44:10	16:44:39	5,74	0,0091	0,57	0,0057	40,2	44,8
16:44:40	16:45:09	5,75	0,0073	0,58	0,0046	40,7	44,7
16:45:10	16:45:39	5,74	0,0051	0,60	0,0046	40,7	45,5
16:45:40	16:46:09	5,72	0,0114	0,59	0,0082	42,1	45,5
16:46:10	16:46:39	5,70	0,0040	0,56	0,0083	42,3	47,1
16:46:40	16:47:09	5,69	0,0050	0,57	0,0085	42,5	47,4

Ввиду малого времени, выделенного для испытаний, получен небольшой объем результатов измерения скорости на малых глубинах. Проверка функционирования лага на

малых глубинах производилась после проведения настроечных действий. Результаты проверок от 20.08.09 приведены в табл. 5.

Таблица 5.

Время пробега, ч: м: с		$V_{\text{хл ср}}$ , узл	СКО $V_{\text{хл}}$ ( $T_0=4$ с), узл	СКО $V_{\text{хл}}$ (приве- денное к $T_0=64$ с), узл	$V_{\text{ул ср}}$ , узл	СКО $V_{\text{ул}}$ ( $T_0=4$ с), узл	СКО $V_{\text{ул}}$ (приве- денное к $T_0=64$ с), узл	Глубина по лагу, м	
начало	конец							min	max
13:30:57	13:31:26	4,55	0,0679	0,0170	0,29	0,0379	0,0095	3,40	4,00
13:31:28	13:31:59	4,46	0,0661	0,0165	0,19	0,0584	0,0146	2,70	3,50
13:32:00	13:32:28	4,42	0,0648	0,0162	0,20	0,0350	0,0088	1,90	2,70
13:32:29	13:32:58	4,38	0,0473	0,0118	0,20	0,0496	0,0124	1,90	3,00
13:32:59	13:33:28	4,28	0,0818	0,0210	0,18	0,0652	0,0163	2,20	2,70
13:33:29	13:33:57	4,38	0,0814	0,0200	0,16	0,0490	0,0123	2,10	2,40
13:33:58	13:34:28	4,41	0,0807	0,0202	0,23	0,1074	0,0269	2,20	2,90

2.5 Оценка измерения скорости относительно воды производилась при глубинах не более 80 м. Осуществлялось принудительное задание режима измерения относительной скорости при глубине под килем от 36 м до 80 м. Исходные данные представлены в файле LDU\_DEPTH\_MAX в интервале времени с 15:35:48 по 15:46:35. Значения скорости с признаком недостоверности, который вырабатывается аппаратурой лага, к расчету не принимались. Результаты оценки погрешности измерения скорости представлены в табл. 6. Стандартные отклонения не превышают величину 0,074 узла для продольной и 0,24 узла для поперечной составляющей вектора скорости. Они в значительной степени определяются взаимодействием эхо-сигнала от дна и эхо-сигналами от объемных рассеивателей. Взаимодействие эхо-сигналов проявлялось в виде биений и наблюдалось с помощью осциллографа.

Таблица 6.

Время пробега, ч:м:с		$V_{\text{хл ср}}$ , узл	СКО $V_{\text{хл}}$ , узл	$V_{\text{ул ср}}$ , узл	СКО $V_{\text{ул}}$ , узл
Начало	Конец				
15:36:26	15:36:55	6,36	0,0329	0,46	0,0080
15:37:04	15:37:33	6,61	0,0738	0,52	0,0169
15:37:44	15:38:14	6,57	0,0741	0,13	0,0548
15:38:25	15:38:54	6,63	0,0338	0,17	0,0116
15:39:06	15:39:33	6,36	0,072	0,17	0,0107
15:40:00	15:40:30	5,95	0,0742	0,21	0,1459
15:40:58	15:41:28	5,75	0,0242	0,23	0,0275
15:42:54	15:43:24	6,07	0,0718	-0,04	0,0649
15:43:40	15:44:09	5,83	0,0533	0,08	0,0158
15:44:36	15:45:06	5,98	0,0615	0,18	0,0305
15:45:15	15:45:44	5,98	0,0576	0,17	0,0367

Оценка измерения скорости относительно воды не может считаться корректной по причине невыполнения требований по глубине под килем судна.

Лаг ЛДУ-400 ефективно вимірює відносну швидкість при глибині під антенною 400 і більше метрів.

### **3. Висновки**

3.1 Аналіз результатів випробувань підтвердив ТТХ лага ЛДУ-400, оговорені в МР.365354.002ТУ1.

3.2 Ввиду малого часу на підготовку, проведення випробувань і кількість пробігів судна об'єм вихідних даних обмежений. Отримані значення коефіцієнта лага і кута розвороту по наявним даним є орієнтовними.

3.3 Для коректної оцінки точності показувачів вимірювання швидкості відносно об'ємних розсіювачів у воді, а також оцінки енергетичного потенціалу лага глибина в районі випробувань недостатня. Для об'єктивних оцінок необхідно забезпечити глибину під антенною в районі випробувань 400 і більше метрів.

3.4 Оцінки середньквадратичної похибки вимірювання абсолютної швидкості по внутрішній згодності результатів вимірювання підтвердили точнісні характеристики лага ЛДУ-400 в діапазоні глибин від 2 м до максимальних в районі випробувань.

Похибка вимірювання абсолютної швидкості при часі осереднення 64 с не перевищила значень 0,03 вузла у всьому діапазоні швидкостей судна при малих глибинах і не більше 0,015 вузла при глибинах від 15 м до максимальних в районі випробувань.

3.5 Результати випробувань лага ЛДУ-400 показали значительний запас по точності вимірювання абсолютної швидкості.

### **Література**

1. Лаг доплеровский универсальный ЛДУ-400. Руководство по эксплуатации МР.365354.002 РЭ, 2006.
2. Мартынюк А.П., Простомолотов В.И., Карпунин Б.В. Лаг доплеровский универсальный ЛДУ-160. Труды VI Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» НО-2007. СПб. 2007. С 220-224.
3. А.П.Мартынюк, В.А.Казаков, Ю.И.Гусин, В.Д.Лихтецкий, В.И.Простомолотов. Программно-аппаратный комплекс имитации сигналов гидроакустических средств навигации ПАКИС. Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Экология 2006 – море и человек». – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006, № 12, 204 с.
4. Лаг доплеровский универсальный ЛДУ-400. Программа и методика испытаний МР.365354.002 ПИМ, 2008.