Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# И.А. Степанюк, А.В. Зимин

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ОКЕАНОЛОГИИ

Руководство к лабораторным работам



# УДК 551.46

Степанюк И.А., Зимин А.В. Информационно-измерительные системы в океанологии. Руководство к лабораторным работам. Учебное пособие – СПб.: РГГМУ, 2010. – 47 с.

Рецензент: А.А. Родионов д-р техн. наук (Директор СПб филиала Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова)

Приводятся описания четырех лабораторных работ по дисциплине «Информационно-измерительные системы в океанологии». Рассматриваются работы по расчетам промежуточных преобразователей (*RC-*, *RL-* и *LL*-мосты переменного тока) и по обработке данных современных СТD-зондов и акустических доплеровских профилографов.

Предназначено для студентов океанологических и экологических специальностей университета.

- © Степанюк И.А., 2010
- © Зимин А.В., 2010
- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2010

# ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе лабораторных занятий по дисциплине «Информационно-измерительные системы в океанологии» студенты должны приобрести практические навыки по расчету и исследованию основных функциональных узлов средств измерений, определению их метрологических характеристик, контролю функционирования на примере основных измерительных систем, а также должны освоить подготовку систем к работе и существующие методики первичной обработки информации.

В Руководстве к лабораторным работам, изданным ранее [Степанюк, 1998]<sup>\*</sup>, приведены работы, посвященные оценке метрологических свойств средств океанологических измерений и расчету узлов первичных измерительных преобразователей.

Данное Руководство является его логическим продолжением и позволяет студентам получить навыки по расчету характеристик наиболее распространенные промежуточных измерительных преобразователей и ознакомиться с методикой первичной обработки современных информационно-измерительных систем: СТD-зонда и комплекса ADCP.

Первые две работы подготовлены И.А. Степанюком, две последние – А.В. Зиминым.

Авторы пособия благодарны зав. кафедрой океанологии профессору В.А. Цареву, поддержавшему труд над пособием, а также студентам-океанологам, осваивавшим все ниже изложенные лабораторные работы при отсутствии опубликованных методических материалов.

Степанюк И.А. Информационно-измерительные системы в океанологии. Руководство к лабораторным работам. – СПб.: Изд. РГГМУ, 1998. – 90 с.

1. 1. 1. 1.

# Лабораторная работа № 1 ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ. RC-мосты переменного тока

#### Литература:

Степанюк И.А. Информационно-измерительные системы в океанологии. Руководство к лабораторным работам. Л.: 1986. С.208-224.

#### Общие пояснения.

После первичного преобразования физической величины в электрический сигнал необходим еще ряд преобразований. Они выполняются так называемыми промежуточными преобразователями. Эти преобразователи бывают двух видов: аналоговые, масштабные (масштабирующие) и цифровые.

В аналоговых преобразователях электрическая величина, полученная в результате первичного преобразования, например, сопротивление, преобразуется в иную электрическую величину, например в напряжение. Только в таком случае обеспечивается возможность регистрации.

Масштабные преобразователи предназначены для изменения *диапазона показаний* измеряемой величины, представленной обычно в виде напряжения, например при измерениях рН, либо тока, например при измерениях концентрации растворенного кислорода. Масштабные преобразователи обычно представляют собой высококачественные усилители напряжения, либо компенсаторы части напряжения.

Цифровые преобразователи обеспечивают получение на выходе дискретного ( в отличие от аналоговых) сигнала, представленного в каком либо из кодов, как правило, в двоичном или в двоично-десятичном. После дешифрирования с помощью различных *дешифраторов кодов* этот кодированный сигнал преобразуется к привычному для нас значению.

Для преобразования сопротивления в напряжение применяются мосты постоянного тока. Один из вариантов подобного моста рассмотрен в лабораторной работе № 2 «Руководства к лабораторным работам», изд. 1986 г.

Однако для первичных преобразователей реактивного типа (емкостные, индуктивные), а также и для преобразователей активного типа, но с реактивными составляющими, например типа струнных преобразователей волнения, мосты постоянного тока неприменимы. Необходимо использование мостовых схем на переменном токе.

#### Методика выполнения работы

#### Теоретические основы

Одним из наиболее распространенных в океанологических ИИС является мост Соти (рис.1.1). В отличие от моста Уинстона, где условием равновесия является равенство потенциалов в точках 1 и 2, в мостах переменного тока необходимо, кроме равенства потенциалов в аналогичных точках 1 и 2, дополнительно обеспечить равенство фазовых сдвигов. Иначе равновесия достичь невозможно.



Рис. 1.1. Принципиальная схема моста Соти

На рис. 1.2. показана такая ситуация. Здесь амплитуды потенциалов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  равны, но сдвинуты по фазе на  $\frac{\pi}{2}$ . В результате возникает  $\Delta \varphi$  с той же частотой, что и переменное напряжение питания моста.

Действительно, выходной сигнал  $\Delta \phi$  определяется как текущая разность потенциалов. Поэтому в точке 0 получается разность  $[0-(-\phi_{2m})] = \phi_{2m}$ , в точке  $\frac{\pi}{2} - (\phi_{1m} - 0) = \phi_{1m}$  и т.д.

Однако здесь нас подстерегают некоторые неожиданности. В точке  $\frac{\pi}{4}$  формируется разность [0,707 - (-0,707)] = 1,41. То есть амплитудное значение результирующего сигнала  $\Delta \phi_m$  увеличивается в 1,41 раза по сравнению с амплитудными значениями потенциалов в точках 1 и 2. Это увеличение обусловлено только фазовым сдвигом на  $\frac{\pi}{2}$ .



Рис. 1.2. Изменчивость потенциалов в различных точках моста переменного тока

Реально в схеме моста Соти такого фазового сдвига не может быть. В анализе он взят только для наглядности. В других схемах мостов переменного тока (обычно – нереализуемых) такие условия могут создаваться (см. ниже).

Рассмотрим, как формируется выходное напряжение моста Соти.

$$\begin{split} U_{g} &= \varphi_{1} - \varphi_{2} = \frac{U_{n}}{i\omega C_{x} \left(R_{1} + \frac{1}{i\omega C_{x}}\right)} - \frac{U_{n}}{i\omega C_{2} \left(R_{2} + \frac{1}{i\omega C_{2}}\right)} = \\ &= U_{n} \left(\frac{1}{1 + i\omega R_{1}C_{x}} - \frac{1}{1 + i\omega R_{2}C_{2}}\right) = \\ &= U_{n} \frac{i\omega \left(R_{2}C_{2} - R_{1}C_{x}\right)}{1 + i\omega R_{2}C_{2} + i\omega R_{1}C_{x1} - \omega^{2}R_{1}R_{2}C_{x}C_{2}}. \end{split}$$
(1.1)

Казалось бы, что при условии  $R_1C_x = R_2C_2$  выходное напряжение будет всегда равно нулю. Но это не так. Как показано выше, это условие всего лишь одно из необходимых условий.

Рассмотрим фазовые сдвиги. Обозначив их как  $\psi_1$  и  $\psi_2$ .

$$\psi_1 = -\operatorname{arctg}(\omega R_1 C_x),$$
  

$$\psi_2 = -\operatorname{arctg}(\omega R_2 C_2).$$
(1.2)

Получается, что равенство фазовых сдвигов обеспечивается тоже при том же условии  $R_1C_x = R_2C_2$ . Вот в этом и состоит притягательность моста Соти.

Однако, мост предназначен для преобразования R либо C в напряжение переменного тока. Вот тут и начинаются некоторые неприятности. Ведь при изменениях R или C нарушается условие равновесия. Рассмотрим модуль выходного напряжения, используя выражение (1.1):

$$\left|U_{s}\right| = \frac{U_{n}\omega(R_{2}C_{2} - R_{1}C_{x})}{\sqrt{\left(1 - \omega^{2}R_{1}R_{2}C_{x}C_{2}\right)^{2} + \omega^{2}\left(R_{2}C_{2} + R_{1}C_{x}\right)^{2}}}.$$
 (1.3)

Итак, при несоблюдении условий равновесия в выражение обязательно входит частота  $\omega$ . В литературе часто можно встретить, что мост Соти частотно-независимый. Это правильно. Но только если он сбалансирован.

Эта тонкость – зависимость от частоты – приводит к требованию стабилизации частоты питающего напряжения  $U_n$ . Но это, конечно, сложно. Автоматическая балансировка моста намного более интересна.

В условиях фазового равновесия при изменчивости *R* или *C* в каком-либо из плеч возникает та же проблема – в результирующее выражение для фаз входит частота.

Получим это выражение.

Учитывая, что

$$tg(\psi_1 - \psi_2) = \frac{tg\psi_1 - tg\psi_2}{1 + tg\psi_1 tg\psi_2}$$

а также с учетом (1.2) получим

$$\Delta \psi = \psi_1 - \psi_2 = -arctg \frac{\left[\omega(R_1 C_x - R_2 C_2)\right]}{1 + \omega^2 R_1 C_x R_2 C_2} .$$
(1.4)

Т.е. ситуация такая же, как и с модулем выходного напряжения – на результат влияет частота.

Следует привести некоторые схемы, которые принципиально не уравновешиваются из-за невозможности совпадения по фазе. В то же время амплитудный баланс здесь может выполняться.

Действительно, рассмотрим схему на рис 1.3.



Рис. 1.3. RC-мост с невозможностью уравновешивания.

Выходное напряжение будет определяться выражением:

$$U_{g} = \varphi_{1} - \varphi_{2} = U_{n} \left( \frac{R_{3}}{R_{1} + R_{3}} - \frac{1}{i\omega C_{x} \left(R_{2} + \frac{1}{i\omega C_{x}}\right)} \right) = (1.5)$$
$$= U_{n} \left( \frac{i\omega R_{2}C_{x}R_{3} + R_{3} - R_{1} - R_{3}}{(R_{1} + R_{3})(1 + i\omega R_{2}C_{x})} \right).$$

Для амплитудного баланса необходимо, чтобы числитель без учета фаз был равен нулю. Определим разность модулей в числителе:

$$\left|A\right| = R_1 - \omega R_2 R_3 C_x. \tag{1.6}$$

Это вполне реализуемое условие. Для примера возьмем  $\omega = \frac{1}{2\pi R_3 C_x}$ ; в таком случае получится необходимым обеспечить

равенство  $R_1$  и  $R_2$ . При этом, соответственно, |A| = 0.

Но фазы здесь никогда не сбалансировать. Фаза  $\psi_1$  совпадает с фазой *Un* (это очевидно), а фаза  $\psi_2$  отстает от фазы *Un*. Этот вариант близок к ситуации, показанной на рис. 1.2.

Оценим отставание фазы у2:

$$\varphi_{2} = U_{n} \frac{1}{i\omega C_{x} \left(R_{2} + \frac{1}{i\omega C_{x}}\right)} = \frac{U_{n}}{1 + i\omega R_{2}C_{x}}.$$
 (1.7)

Соответственно

$$\Psi_2 = -arc \ tg(\omega R_2 C_x).$$



Рис. 1.4. Еще один вариант *RC*-моста с невозможностью уравновешивания

Схему на рис.1.4 студентам желательно проанализировать самостоятельно в качестве зачета по лабораторной работе.

Номер	0	1	2	3	4	5	.6 .	7	8	9
Варианта		ļ							-	
Haciora										
напря-	1000	2000	3000	2500	2000	2000	1000	1500	1000	4500
жения	1000	2000	5000	2,500	2000	5000	1000	1500	4000	4300
Питания,										
1	500	500	650	200	150	100	200	500	150	100
2	550	500	700	200	150	100	200	500	150	100
<u> </u>	220	550	700	250	200	150	200	550	200	.150
3	600	600	750	300	250	200	300	600	250	200
4	650	650	800	350	300	250	350	650	300	250
5	700	700	850	400	350	300	400	700	350	300
6	750	750	900	450	400	350	450	750	400	350
7	800	800	950	500	450	400	500	800	450	400
8	850	850	1000	550	500	450	550	850	500	450
9	900	900	1050	600	550	500	600	900	550	500
10	950	950	1100	650	600	550	650	950	600	550
11	1000	1000	1150	700	650	600	700	1000	650	600
12	1050	1050	1200	750	700	650	750	1050	700	650
13	1100	1100	1250	800	750	700	800	1100	750	700
14	1150	1150	1300	850	800	750	850	1150	800	750
15	1200	1200	1350	900	850	800	900	1200	850	800
16	1250	1250	1400	950	900	850	950	1250	900	850

Исходные данные (изменчивость С<sub>х</sub>, пФ)

\* Студенты используют вариант, номер которого совпадает с последней цифрой в зачетной книжке.

#### Порядок выполнения работы

1. Рассчитать элементы сбалансированного *RC*-моста Соти, основываясь на значении  $C_x$  в строке1 исходных данных. При этом задавать примерное соответствие значений *R* и ( $\omega C$ )<sup>-1</sup>. При расчетах учитывать, что значение  $C_x$  дано в пФ, т.е.  $10^{-12}$  Ф, а частота указана циклическая *f*, тем самым  $\omega = 2\pi f$ .

2. Рассчитать изменчивость модуля выходного напряжения моста по формуле (1.3) в пределах заданной изменчивости емкости.

3. Рассчитать изменчивость разности фаз по формуле (1.4).

4. Построить кривые изменчивости рассчитанных величин в зависимости от изменчивости емкости.

5. Проанализировать полученные данные.

#### Составление отчета

В отчет по лабораторной работе входят:

1. Значения элементов моста.

2. График изменчивости модуля выходного напряжения моста.

3. График изменчивости разности фаз.

4. Анализ полученных результатов.

# Лабораторная работа № 2 ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ. <u>RL-мосты переменного тока. LL-мосты.</u>

#### <u> RL-мосты</u>

Эти мосты могут применяться для преобразования индуктивности. Например, индуктивности в преобразователях деформаций, в напряжение переменного тока. Рабочий пример такого моста приведен на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Схема RL-моста.

Здесь выходное напряжение формируется в виде:

$$U_{B} = \varphi_{1} - \varphi_{2} = U_{n} \left[ \frac{i\omega L_{1}}{R_{1} + i\omega L_{1}} - \frac{i\omega L_{2}}{R_{2} + i\omega L_{2}} \right] =$$

$$= U_{n} \left[ \frac{i\omega R_{2} L_{1} - \omega^{2} L_{1} L_{2} - i\omega R_{1} L_{2} + \omega^{2} L_{1} L_{2}}{(R_{1} + i\omega L_{1})(R_{2} + i\omega L_{2})} \right] =$$

$$= U_{n} \left[ \frac{i\omega (R_{2} L_{1} - R_{1} L_{2})}{(R_{1} R_{2} - \omega^{2} L_{1} L_{2}) + i\omega (R_{2} L_{1} + R_{1} L_{2})} \right],$$
(2.1)

где  $\phi_1$  и  $\phi_2$ -потенциалы в точках 1 и 2.

Баланс обеспечивается при очевидном условии:

$$R_2 L_1 = R_1 L_2. (2.2)$$

При балансе этот мост, как и мост Соти, является частотнонезависимым.

Из формул (2.1) несложно получить выражение для модуля выходного напряжения:

$$|U_{s}| = U_{n} \frac{\omega(R_{2}L_{1} - R_{1}L_{2})}{\sqrt{\omega^{2}(R_{2}L_{1} + R_{1}L_{2})^{2} + (R_{1}R_{2} - \omega^{2}L_{1}L_{2})^{2}}}.$$
 (2.3)

Рассмотрим фазовые сдвиги потенциалов  $\phi_1$  и  $\phi_2$ . Как и в предыдущей работе, фазовые сдвиги обозначим через  $\psi$ .

$$\psi_{1} = \operatorname{arctg}\left(\frac{R_{1}}{\omega L_{1}}\right), \qquad (2.4)$$
$$\psi_{2} = \operatorname{arctg}\left(\frac{R_{2}}{\omega L_{2}}\right).$$

Определим разность фазовых сдвигов:

$$tg\Delta\psi = \frac{tg\psi_1 - tg\psi_2}{1 + tg\psi_1 tg\psi_2} = \\ = \frac{\left[\frac{R_1}{\omega L_1} - \frac{R_2}{\omega L_2}\right]}{1 + \frac{R_1 R_2}{\omega^2 L_1 L_2}} = \frac{\omega(R_1 L_2 - R_2 L_1)}{\omega^2 L_1 L_2 + R_1 R_2}.$$
(2.5)

Из приведенных выражений следует, что, как и в случае моста Соти, в условиях равновесия RL-мост оказывается преимущественно частотно-независимым. Однако если RL-мост применять для преобразования индуктивности в напряжение переменного тока, то возникает та же самая проблема — зависимость от частоты. Соответственно, необходима стабилизация частоты питающего напряжения Un.

Целесообразно, как и в предыдущем разделе, привести в отчете по лабораторной работе варианты схем, где равновесие в принципе не достигается.

#### LL-мосты

Этот мост, как и предыдущий, применяется для преобразования индуктивности в выходное напряжение переменного тока. Его схема приведена на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Схема LL-моста.

Здесь потенциалы точек 1 и 2 будут определяться выражениями:

$$\varphi_{1} = \frac{U_{n}i\omega L_{2}}{i\omega(L_{1}+L_{2})} = \frac{U_{n}L_{2}}{(L_{1}+L_{2})},$$

$$\varphi_{2} = \frac{U_{n}i\omega L_{3}}{i\omega(L_{3}+L_{4})} = \varphi_{2} = \frac{U_{n}L_{3}}{(L_{3}+L_{4})}.$$
(2.6)

Таким образом, этот мост тоже оказывается частотнонезависимым.

Определим условия равновесия моста:

$$U_{s} = U_{n} \left[ \frac{L_{2}L_{3} - L_{1}L_{4}}{(L_{1} + L_{2})(L_{3} + L_{4})} \right].$$
(2.7)

Таким образом, равновесие достигается при равенстве произведений противолежащих плеч.

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	2 <b>.7</b>	8	9
Частота, Гц	2000	2500	3000	3500	1000	1 1500	2000	2500	3 <b>0</b> 00	1500
1	10	20	30	10	30	20	25	15	10	20
2	15	25	35	15	35	25	30	20	15	25
3	20	30.	40	- 20	40	30	35	25	20	30
4	25	35	45	25	45	35	. 40	30	25 ;	35
5	30	40	50	30	50	40	45	35	30	40
6	35	45	55	35	55	45	50	40	35	45
7	40	50	60	40	60	50	55	45	40	50
8	45	55	65	45	65	55	60	50	45	55
9	50	60	70	50	70	60	65	55	50	60
10	55	65	75	55	75	65	70	60	55	65

Исходные данные к работе (изменчивость L<sub>1</sub>, мГн)

\* Студенты используют вариант, номер которого совпадает с последней цифрой в зачетной книжке.

#### Порядок выполнения работы

1. Рассчитать элементы сбалансированного *RL*-моста, основываясь на значении  $L_1$  в строке1 исходных данных. При этом задавать примерное соответствие значений *R* и  $\omega L$ . При расчетах учитывать, что значение  $L_1$  дано в мГн (миллигенри), т.е.  $10^{-3}$  Гн, а частота указана циклическая *f*, тем самым  $\omega = 2\pi f$ .

2. Рассчитать изменчивость модуля выходного напряжения моста по формуле (2.3) в пределах заданной изменчивости емкости.

3. Рассчитать изменчивость разности фаз по формуле (2.5).

4. Построить кривые изменчивости рассчитанных величин в зависимости от изменчивости емкости.

5. Проанализировать полученные данные.

#### Составление отчета

В отчет по лабораторной работе входят:

1. Значения элементов моста.

2. График изменчивости модуля выходного напряжения моста.

3. График изменчивости разности фаз.

4. Анализ полученных результатов.

# Лабораторная работа № 3 ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО ЗОНДА

#### Литература:

FSIPost. Post Processing Software. User Manual Falmouth Scientific, Inc, -2004. -76 p.

Иванов В.В. Методы и программные средства анализа судовых экспедиционных наблюдений. – СПб.: Гидрометоиздат, 2000, с. 38–47.

#### Общие пояснения

Современные океанографические исследования и прикладные разработки немыслимы без активного применения мощных средств информационной поддержки. Стимулом к внедрению разнообразных средств автоматизации для обработки и анализа океанографической информации стало применение в практике судовых наблюдений измерительных приборов, позволяющих за сравнительно короткое время получать большое количество информации. К таким приборам в первую очередь следует отнести малоинерционные океанографические зонды, внешний вид подводного модуля, которого представлен на рис. 3.1., осуществляющие высокоскоростные измерения температуры, электропроводности и гидростатического давления с борта судна. Объем информации, получаемый таким прибором при единичном глубоководном зондировании, может достигать нескольких тысяч значений по каждому из параметров. Вполне понятно, что при выполнении даже одной океанографической станции, попадающая в руки исследователя информация не может быть эффективно обработана без привлечения средств автоматизированного контроля данных и их обработки (визуализации).

Использовать первичные данные, получаемые в результате проведения натурных наблюдений (экспериментов) в океане для решения конкретных научных или прикладных задач, как правило, весьма затруднительно. Ведь что по существу стоит за определением "данные натурных наблюдений"? Совокупность числовых характеристик, описывающих состояние среды в момент проведения измерений. Иными словами – некая закодированная информация, расшифровать которую задача исследователя. Для того, чтобы эта задача могла быть решена эффективно, ее результат был физически непротиворечив (по крайней мере, в рамках границ современной науки) и мог быть осознан людьми, не являющимися узкими специалистами в данной области знания, первичные данные должны пройти несколько стадий обработки.



Рис. 3.1. Общий вид подводного модуля FSI.

Практически любые данные, полученные в результате проведения натурных наблюдений или экспериментов, содержат ошибки. Природа этих ошибок весьма разнообразна. Это могут быть систематические ошибки измерительных приборов, субъективные ошибки (описки/опечатки) наблюдателей, производивших измерения, наконец ошибки, возникшие из-за сбоев оборудования при перезаписи массивов данных с одного электронного носителя информации на другой или из-за несоблюдения оператором правил использования конкретного программного обеспечения. Некоторые из этих ошибок могут быть легко выявлены и устранены, для исправления других необходимы длительные и трудоемкие процедуры фильтрации, которые далеко не во всех случаях дают положительный результат. Обработка первичных данных наблюдений предполагает выполнение определенных действий (алгоритмов),



направленных на выявление и, по возможности, устранение ошибок в данных.

Целью лабораторной работы является практическое ознакомление студентов с методикой первичной обработки информации, получаемой с помощью океанографического зонда на примере программы FSIPost поставляемой с зондом FSI.

#### Методика выполнения работы

#### Теоретические основы

#### Устранение систематических ошибок измерительных приборов

Систематические ошибки измерительных приборов (зондов) связаны с тем, что чувствительные элементы датчиков зондов в некоторой степени меняют свои параметры при изменении условий окружающей среды. Для устранения этих ошибок датчики зонда проходят процедуру тарировки – контрольных замеров параметров в лабораторных условиях по всему диапазону изменчивости (желательно до и после проведения экспедиционных работ). По данным тарировки рассчитываются формулы приведения, которые вводятся в конфигурационный файл прибора, в соответствии с ними выполняется преобразование первичных данных в физические величины.

Вторым этапом в устранении систематических ошибок измерения является учет разности постоянной времени датчиков. Эта величина зависит от типа используемых датчиков электропроводности и температуры, вводится на основе рекомендаций производителя аппаратуры и совместного анализа профилей температуры, электропроводности и солености и очень важна для устранения эффектов, связанных с ложной тонкой структурой профиля солености в термоклине.

#### Устранение случайных ошибок наблюдений

На этапе формального контроля мероприятия выполняются уже с учетом океанографических особенностей конкретной акватории (соответственно значения формальных критериев не являются едиными для всего информационного массива).

На первом этапе производится контроль параметров по всему диапазону изменчивости (исключение грубых ошибок). То есть задаются приделы изменчивости характеристик воды (температу-

ры, солености, давления), которые не выходят за диапазон их колебаний для всего Мирового океана.

На втором этапе проводится контроль тех же параметров по локальным диапазонам изменчивости. Он производится на основе расчета градиента измеренных характеристик с учетом их вертикальной изменчивости в различных слоях океана. Вертикальные слои вод с различной изменчивостью характеристик рассматриваются по отдельно задаваемым критериям для каждого слоя с учетом специфики данного района исследований.

На следующем этапе производится контроль статической устойчивости вод по вертикальным профилям условной плотности.

На последнем этапе производится экспертный контроль вертикального распределения характеристик. Включающий контроль экстремумов вертикального профиля и взаимоконтроль данных, полученных различным способами (например, температуры, электропроводности, солености и плотности на одной глубине). Этот этап устранения ошибок можно рассматривать как итерационный процесс, когда поправки на п+1-м шаге водятся на основе статистических параметров, рассчитанных на п-м шаге и экспертных оценок.

#### Интерполяция вертикальных профилей

Интерполяция — это определение неизвестного значения функции, на основании некоторой совокупности ее известных значений. При этом значение искомой функции ищется внутри ломаной, соединяющей все точки, в которых она известна.

При обработке данных океанографических наблюдений практически всегда приходится сталкиваться с интерполяцией. Построение вертикального профиля океанографической характеристики на океанографической станции подразумевает выполнение процедуры интерполяции в точки, расположенные между узлами наблюдений. Точки, в которых значения функции известны, называются точками наблюдения, а точки, в которых требуется определить значение функции – точками интерполяции. Соотношение, связывающее значения функции в точках наблюдения с ее значениями в точках интерполяции (как правило, система линейных уравнений) называется интерполяционной формулой.

При обработке данных первичных наблюдений, произведенных океанографическим зондом применяют метод Рейнигера-Росса. Это точный метод интерполяции, позволяющий наилучшим образом восстановить значения в точках экстремумов вертикального профиля (сезонный пикноклин, главный пикноклин). Идея метода состоит в аппроксимации фрагментов профиля параболой, весовые коэффициенты которой рассчитываются по значениям функции в четырех рядом лежащих точках. Поскольку парабола однозначно определяется тремя точками, это означает, что искомая кривая может интерпретироваться как средневзвешенная между двумя смежными параболами с одной общей точкой. Расчетный алгоритм метода записывается в виде:

 $f(z) = R_1 f_{P2} + R_2 f_{P1} \quad ,$ 

где: 
$$R_{1} = \frac{\left|f_{R} - f_{P1}\right|}{\left|f_{R} - f_{P1}\right| - \left|f_{R} - f_{P2}\right|}; \qquad R_{2} = \frac{\left|f_{R} - f_{P2}\right|}{\left|f_{R} - f_{P1}\right| - \left|f_{R} - f_{P2}\right|};$$
$$f_{R} = \frac{1}{2} \left[f_{23} + \frac{\left(f_{23} - f_{34}\right)^{2} f_{12} + \left(f_{12} - f_{23}\right)^{2} f_{34}}{\left(f_{23} - f_{34}\right)^{2} + \left(f_{12} - f_{23}\right)^{2}}\right],$$
$$f_{P1} = \gamma_{23}^{1} f_{1} + \gamma_{31}^{2} f_{2} + \gamma_{12}^{3} f_{3}, \qquad f_{P2} = \gamma_{34}^{2} f_{2} + \gamma_{42}^{2} f_{3} + \gamma_{43}^{4} f_{4},$$
$$\gamma_{jk}^{i} = \frac{(z - z_{j})(z - z_{k})}{(z_{i} - z_{j})(z_{i} - z_{k})}, \qquad f_{ij} = \frac{f_{i}(z - z_{j}) - f_{j}(z - z_{i})}{(z_{i} - z_{j})}.$$

f1, f2, f3, f4 - значение океанографического параметра в точках  $z_1, z_2, z_3, z_4$ , причем  $z_1 < z_2 < z < z_3 < z_4$ . *z*<sub>1</sub>, *z*<sub>2</sub>, *z*, *z*<sub>3</sub>, *z*<sub>4</sub> – базовая характеристика (глубина).

## Порядок выполнения работы

1. Запустить программу FSIPost.exe

2. Произвести загрузку данных

Работа с программой начинается с входа в меню File и выбора окна Open ASCII (рис. 3.2). Перед вами открывается меню в котором можно выбрать три файла (рис. 3.3). Автоматически открываются файлы .c00 и .hdr, с тем же названием, что и .dat-файл. (напр. st102.dat) Верхняя строка это файл данных, средняя строка 20

файл калибровочных характеристик, нижняя файл описание станции. По умолчанию они будут носить одно и тоже имя, но разные расширения.



Рис. 3.2. Загрузка данных в программу FSIPost, первый этап.



Рис. 3.3. Загрузка данных в программу FSIPost, второй этап.

В правой части экрана появится график измеренных параметров, см. рис. 3.4.



Рис. 3.4. График распределения измеряемых параметров.

3. Проверить настройки графического отображения информации. Для этого вызвать меню **Graph – Parameter Setup**, проверить установки осей на графике. Вид графического интерфейса приведен на рис. 3.5.

Status	A STATE OF THE OWNER OF THE			
v Data Filename: 🚽	Graph Setup			
102.Dat	Graph Tille: 🔝	rated CTD Data		ок Ј
102 c00	Label: PRES	Mininuna	17.213	Cancel
Seans 7765	Parameter PRES	Maximum.	1037,435	
rame Length N/A	-Lindrahmene		en og sen og Till sen og s	Helph
Scan Rate 4 50	Label: COND	Minimum:	-3.666	▼1Enable Axis 1
Lag Tame 0.00	Parameter COND	Maximum.	40.233	Processed Data
ata Presenta	XANIS 2			
Calibrated Da	Label DEN*	Miramum:	-0.400	🔽 Enable Axis 2
Configure Press.	Parameter: DEN*	Masimum:	0.600	Processed Data
onfigure Conductiv			al sur y	
First Difference E	Label	Minimum	-1.371	Enable Axis 3
Applied Time L	Parameter, TEMP	Maximumu	8.902	Fill Processed Data
Calculate Paramete	× Avis 4	aller and a second		
	Label: SAL*	Minimum	-0.800	Enable Asis 4
	Parameter SAL*	Maximum.	35.508	Processed Data
	1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 - 1997 -	에 안 드 가지 않다.		diana di seconda de la

Рис. 3.5. Настройки графического интерфейса.

В графе Y Axis выставить Parameter PRES, в нижележащих графах X Axis выставить параметры TEMP, COND, SAL\*, DEN\*, причем два последних параметра будут рассчитаны в процессе дальнейшей работы. Надо включить Autoscale и Grid (галочка).

Включенная ощия Autoscale позволит не обращать внимание на значения минимумов и максимумов, напротив выбранных параметров масштаб и крайние значения выставляются автоматически.

Подписать название графика в Graph Title. Рекомендуемое название графика включает в себя название судна, номер рейса, номер станции.

Нажать на клавишу ОК.

Для сохранения параметров графика вызвать меню Graph – Save Setting.

В меню Graph- Display кликом мышки запустить Shows Cursor Position.

4. Выставить свойства рассчитываемых параметров: File – **Properties.** При выборе соответствующих позиций появиться диалоговое окно приведенное на рис. 3.6.

Задержки по времени между отсчетами показаний датчика температуры.

**Temperature Probe Default Time Lag** оставить появившиеся по умолчанию:

0.150
0.150
0.02

Поправки при определении электропроводности морской воды Default Values for Conductivity оставить появившиеся по умолчанию:

2.8
3000
-6.5E6
1.5E-8

Уравнение для пересчета сопротивления в температуру:

Raw Temperature ITC Format: ITC-90

Выберем шаг усреднения исходных данных:

Pressure Average Step

1dbar

Шаг по давлению указывает интервал давления, на котором будет производиться осреднение

Pressure Center Step

1dbar

Шаг центрирования указывает, с какой периодичностью по давлению будут интерполироваться данные.



Рис. 3.6. Настройки рассчитываемых параметров.

Установим параметры для контроля океанологических параметров по локальным диапазонам изменчивости значений First Difference Setup. Параметры, в принципе, выбираются методом подбора в зависимости от района работ. Можно начать экспериментальный выбор для COND на всех промежутках 0,5, для TEMP – 0,1, для PRESS – 10.

В левом нижнем углу нажать на клавишу Limits, в которой выставляются максимальные и минимальные значения давления, температуры и электропроводности морской воды, встречающиеся в данном районе или в море в целом. После выставления значений дважды нажимаем на **OK**.

Station Listing Setup. Здесь выставляются горизонты, отражаемые в конечном .ltg-файле. В нашем случае выставляются стандартные горизонты. ОК.

Select Parameters. Выставляются рассчитываемые параметры. Нам необходимы Salinity, Density, Depth. OK.

5. При скачивании данных с зонда не происходит автоматического деления на измерения, направленные вниз и вверх. Это необходимо сделать вручную, задав начальный и конечный сканы измерения вниз.

Для того чтобы выяснить номера необходимых сканов при измерении на спуске нужно войти в меню File – Data – View Parameter Data. Выставить в последней колонке Parameter 4 – TIME или SCANS (что практически одно и то же). Затем, перемещая стрелку в правой части окна вниз, искать номер скана, при котором градиент параметра PRESS изменится с отрицательного на положительный при реальных значениях температуры и кондуктивности. Запомнить значение найденного скана. Второе искомое значение скана будет соответствовать уровню, на котором градиент параметра PRES начнет убывать. Запомнить или записать оба номера сканов. Для закрытия меню нажать Close.

6. Войти в меню File – Data – Split Data File. В графу Starting Scan вставить значение начального скана, в графу Ending Scan – конечного скана.

С помощью клавиши **Browse** указать путь новому измененному файлу, желательно ту же директорию где находятся первоначальные файлы .dat, .c00, .hdr. Написать название нового файла, которому присвоится расширение .dat. Затем нажать **Сохранить** и **OK**. Внешний вид диалогового окна приведен на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Разделение файла на спуск подъем.

7. Открыть новый измененный файл, для этого: вызвать меню File – Open ASCII, В первой графе ASCII Data File вручную вписать название нового файла, а в нижних (Calibration и Header) оставить первоначальные файлы. Нажать Open. Появится окно, подобное приведенному на рис. 2.3, с графиком измененного файла, содержащего данные, полученные при опускании зонда.

8. Вызвать меню: Edit – First Difference – Run. Произойдет выбраковывание «плохих» сканов, появится окно: FIRST DIFFERENCE RESULTS (рис. 3.8.), в котором будет сообщаться какой процент плохих сканов для каждого выбранного параметра при заданных условиях.



Рис. 3.8. Результаты отбраковки данных по локальным диапазонам изменчивости.

Данная операция может привести к потере до 98% данных, по этому внимательно отнеситесь к расстановке параметров в Edit – First Difference – Run. Можно избежать редактирования первой разности, выбрав параметр NONE для всех столбцов данных

Если результаты устраивают, нажать на «Да», в противном случае «Heт», при этом произойдет выход в меню Edit – First Difference – Setup, в котором необходимо изменить пороговые значения для того или иного параметра, превышение которых от скана к скану будет считаться нереальным и отбраковываться (рис.3.9.). После этого повторить операцию Edit – First Difference – Run, нажав «Да».

Ce cot lincert Stati	ini katilisa 1940 - Es 18				e ja nu g	f a	libra	tad CT	D D	ata	
Raw Data Filena na47d102 Da		<u>م</u> س							£		
st102.c00	alibration Pilenama. 1102-c00 First Difference							يميني	مر مرجع		? ×
Scans Frame Length	Pressure	FRES		TEMP		COND	<b>E</b>	SALT		NONE	×
Parameters Secon Parts		0.5		0.0105		0.0105		0.01		0.10	
Lag Time	5	0.5		0.0105		0.0105	1	.01		0.10	÷.,
Data Pres	100	0.5		0.005		0.0105		.01			
Calibri	500 I			0.005	ų.	0.0105		.01		0.10	
Configure	1500	0.50		0.005		20					
Configure Cor	3000	0.1		0.1		2.0		0.1		0.1	
First Differ	3500	0.1	10	0.1		2.0		0.1		0.1	
Applied	4000	0.1		0.1		2.0		0.1		0.1	
	7000	0.1		0.1		2.0		0.1		0.1	
	τ.		OK.		Cancel	ĪĹ	Help			Limits	l.
		TEM	1.	171. 1	0.341		163	3.766		5.478 -	

Рис. 3.9. Установка пороговых значений для отбраковки выбросов.

9. Если вид графика не понравился, слишком сглаженный или еще что-то не так, отменить действие можно, войдя в меню:

Edit – First Difference – Undo. Затем вновь попытаться изменить установки в Edit – First Difference – Setup. Кроме того, если есть явные выбросы, вы можете пометить и удалить их вручную (опция Edit – Manual Edit).

10. Если на графике видны явные выбросы, не выбраковывающиеся с помощью First Difference – Run, то нужно перейти в ручной режим:

Edit – Manual Edit, где напротив «плохих» сканов ставится галочка, а напротив «хороших» она убирается. (подробнее см. стр. 5–4 – 5–8 Руководства, изд. 1986 г.)

11. После успешного завершения отбраковывания «плохих» сканов войти в меню: Edit – First Difference – Apply Time Lag. Здесь задается величина временного лага, корректирующего датчики давления и кондуктивности относительно датчика темпера-

туры (подбирается экспериментально). По опыту предшествующей работы лучше выставить значение **0.15**.

12. Для расчета солености и плотности, войти в меню Process – Calculate Parameters. График параметров 3.4. преобразуется в 3.10.



Рис. 3.10. Результаты расчетов вертикальных профилей океанологических параметров.

13. Последовательное приведение .dat-файла в выходные файлы .prr, .prs, .ltg производится через меню: **Process – Run Averaging Process** (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Сохранение результатов обработки данных зондирования.

Вы можете всегда знать, какие операции над данными выполнены сверяясь с меню **Data Presentation** (рис. 3.12) в основном окне программы. Зеленый квадратик напротив названия операции означает, что она выполнена, красный – еще не проводилась.

**Data Presentation** Calibrated Data: Configure Pressure: Configure Temperature. Configure Conductivity First Difference Edit. Applied Time Lag alculate Paramete

Рис. 3.12. Контроль выполненных этапов обработки при помощи Data Presentation.

#### Исходные данные

В качестве исходных данных используются файлы с расширением \*.c00 \* .hdr,\* .dat содержащиеся в директории FSI (CD диска с программным обеспечением и данными). Вторая цифра в названии файла соответствует номеру варианта. Номер варианта выдает преподаватель.

#### Составление отчета

В отчет по лабораторной работе входят:

an an an that a start and

1. График вертикального распределения температуры, солености и плотности построенный по данным зондирования.

2. Таблица тех же характеристик на стандартных горизонтах.

3. Анализ полученных результатов, включающий:

описание использованных интервалов глубин и градиентов океанографических характеристик, примененных на этих интервалах для коррекции «сырых» данных,

оценку количества отбракованных данных в целом и в различных слоях,

влияние интервала осреднения на особенности вертикального профиля получаемых данных,

влияние величины Time Lag на качество получаемой информации о вертикальной структуре вод.

# Лабораторная работа № 4 ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ПРОФИЛОГРОФА (АДП) ТЕЧЕНИЙ

#### Литература:

SonTek/YSI ADP. Acoustic Doppler Profiler Technical Documentation. – 2001. – 186 p.

Степанюк И.А. Океанологические первичные преобразователи. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986, с.239–245.

#### Общие пояснения

Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), т.е. акустический доплеровский профилограф течений, измеряет скорость и направление течений, в океане используя эффект, который называется «Доплеровским смещением». Мы знакомы с эффектом Доплера по изменению тона гудка, проходящего поезда. Когда поезд приближается, звук гудка, кажется выше. Когда поезд удаляется, звук гудка кажется ниже. Изменения высоты звука пропорциональны скорости поезда.

АДП излучает ультразвуковые волны с частотой, значительно превышающей частоты, воспринимаемые человеческим ухом. Самая низкая частота, используемая в коммерческих приборах АДП, составляет порядка 30 КГц, а обычный диапазон частот, используемых в океанологии, находится в пределах от 75 до 3000 КГц.

АДП устанавливается на корабле (направленный вниз) или на дне (направленный вверх). Для этого прибора необходимо, чтобы датчик соприкасался с водой для передачи и измерения звуковых импульсов, распространяющихся в водяном столбе. Звуковые импульсы отражаются от небольших взвешенных частиц или пузырьков, движущихся в акустических лучах (рис. 4.1), и вызывают сдвиг передающегося звука, на основе которого рассчитывается скорость.

Это явление, называемое сдвигом Доплера, представляет собой то же самое, что и изменение высоты звука гудящего поезда, проносящегося мимо. Импульсы, посылаемые в разных направлениях,



Рис. 4.1. Аналогия измерения скоростей стандартными гидрометрическими вертушками и АДП (ADCP).

или лучи (обычно их 3 или 4 в зависимости от модели АДП) распознают различные компоненты скорости, параллельные каждому лучу. В АДП используется тригонометрическая обработка для преобразования скорости вдоль лучей в три компонента скорости, которые связаны с декартовой системой координат, ориентированной на прибор. При этом принимается предположение однородности течений в слоях с постоянной глубиной. Каждый акустический импульс от АДП производит измерение скорости по всей глубине потока.

Целью лабораторной работы является практическое ознакомление студентов с методикой первичной обработки информации, получаемой с акустического доплеровского профилогрофа течений.

#### Методика выполнения работы

#### Теоретические основы

#### Физические принципы работы

Принцип измерения скорости течений водной среды, реализованный в АДП основан на определении смещения частоты эхосигнала, характеризующего скорость движения рассеивателей в объеме измерения вдоль направления луча.

Если точная частота испускаемых волн известна, а наблюдаемую частоту можно определить, то с помощью уравнения (4.1) рассчитывается доплеровское смещение, связанное со скоростью движения источника и наблюдателя относительно друг друга:

$$F_{\rm D} = F_{\rm S}({\rm V/C}), \qquad (4.1)$$

где:  $F_D$  – частота доплеровского смещения, в Гц;  $F_S$  – частота излучения звука из стационарного источника, в Гц; V – относительная скорость между излучателем звука и приемником (скорость, с которой наблюдатель движется в направлении источника звука), в м/с; C – скорость звука, в м/с.

Из уравнения следует, что:

1) если наблюдатель движется быстрее (возрастает V), то возрастает и доплеровское смещение  $F_D$ ;

2) если наблюдатель движется в противоположном звуку направлении (*V* отрицательна), то доплеровское смещение также отрицательно;

3) при возрастании частоты звука  $F_s$  доплеровское смещение  $F_D$  также возрастает;

4) с возрастанием скорости звука С происходит уменьшение доплеровского смещения.

Вычисление трехмерного вектора скорости по осям X, Y, Z прямоугольной системы координат требует, как минимум, три акустических датчика. На рис. 4.2 показаны направленный на северо-запад вектор скорости воды и результирующее доплеровское смещение от каждого из трех акустических датчиков.



Рис. 4.2. Направленный на северо-запад вектор скорости и результирующее доплеровское смещение по отношению к гипотетическому локатору с тремя датчиками. Поскольку вектор скорости направлен почти под прямым углом к датчику 2, результирующее доплеровское смещение, воспринимаемое этим датчиком, невелико. Вектор скорости направлен практически в сторону датчика 3, следовательно, датчик 3 показывает большое положительное доплеровское смещение. Вектор скорости направлен от датчика 1 почти на одной линии с ним, поэтому датчик 1 регистрирует большое отрицательное доплеровское смещение.

Цикл измерения начинается с излучения зондирующих акустических сигналов вдоль каждого из трех (четырех) лучей прибора, раствор диаграммы направленности преобразователей обычно составляет около 2° по уровню ослабления 3 дБ. После излучения выдерживается пауза (Blank), необходимая для затухания акустических волн в корпусе прибора, возникающих в результате излучения. Значение времени паузы выбирается исходя из конкретных условий; задав этот параметр достаточно малым, можно потерять качество измерений в первом элементе глубины; задав его слишком большим, можно потерять измерения в близком к прибору слое воды. Необходимость некоторой задержки после излучения предопределяет наличие слоя воды, прилегающего к прибору, в котором измерения проводиться не будут.

Далее следует прием и обработка эхо-сигналов, при этом сигнал разбивается на временные окна, определяемые устанавливаемым значением раз мера элемента измерения по глубине HCell. То есть каждая ячейка (Cell) соответствует данным осредненным для определенного горизонта (рис. 4.3).

Высокая точность измерений скорости обеспечивается в нормальных условиях измерений, то есть когда течение горизонтально однородно и наблюдается умеренная концентрации взвешенных частиц. Плохие условия для изменений складываются: когда в воде мало или совсем нет взвешенных частиц для отражения звуковых импульсов, или присутствуют чрезмерные концентрации взвешенных веществ (например, у дна) которые поглощают звуковые импульсы, рядом с вертикальной стеной, где нарушится допущение об однородности горизонтальных скоростей течений, при наклонах оси прибора выше критического порога.



Рис. 4.3. Принцип выделения горизонтов по показаниям АДП.

В результате цикла измерения во внутреннюю память прибора или на внешний компьютер поступает информация, содержащая следующие основные первичные параметры:

- дата, время, номер записи;

- температура, давление, угол азимута, крена и дифферента;

 профили (значения для каждого элемента глубины): интенсивность эхо-сигнала вдоль каждого луча;

профили корреляции эхо-сигнала вдоль каждого луча;

 профили скорости течения в одной из систем: в географической системе координат; в системе координат прибора; вдоль каждого луча.

Основные компоненты и условия эксплуатации прибора

АДП состоит из следующих основных компонент (рис. 4.4.):

1. Головка преобразователей, состоящая из трех симметрично расположенных электроакустических преобразователей, формирующих конфигурацию с углом отклонения луча от продольной оси прибора на 25°. В корпусе головки преобразователей размещается:

- плата встроенной flash-памяти;

- плата обработки аналоговых сигналов;

- плата центрального процессора;

- плата связи с внешним компьютером, предохранителем, переключателем формата обмена (RS-232/RS-422) и датчиками угло-

вой ориентации: азимут (Flux-gate compass); крен/дифферент (Pitch/Roll-inclinometers);

- встроенные датчики температуры и давления



Рис. 4.4. Общий вид головки преобразователей (1) акустического доплеровского профилогрофа с боком батарей(2) на немагнитной платформе.

2. Внешние батареи размещаются в отдельном герметичном корпусе.

Головка преобразователей представляет собой собственно измеритель течений, который может работать как в автономном режиме («self contained») от блока внешних батарей (2) с записью информации на встроенную flash-память, так и под управлением внешнего компьютера с передачей информации в реальном масштабе времени. Питание во втором случае осуществляется от стандартной сети через адаптер. При подключении одновременно внешних батарей и адаптера питание осуществляется от источника имеющего больший потенциал.

Соединение измерителя течений с блоком внешних батарей производится посредством герметичного глубоководного

Т-образного кабеля, входящего в комплект поставки. Соединение с компьютером производится через сот-порт.

Программное обеспечение. ADCP представляет собой многомодульный, программно управляемый прибор. Программное обеспечение можно разбить на два основных раздела:

Системное программное обеспечение – платное недоступное пользователю, поставляемое изготовителем и инсталлируемое в память внутреннего процессора прибора.

Доступное пользователю программное обеспечение, поставляемое на CD.

В него входит, например для АДП SonTek, программа ViewADP – программа визуального представления результатов измерений. ViewADP поддерживает формат данных, полученных в географической системе координат, позволяет преобразовывать данные из двоичного формата в текстовый. Хорошо развитый интерфейс позволяет ориентироваться в программах при наличии общих представлений о работе прибора. Относительное смещение элементов глубины вдоль каждого из лучей, возникающее из-за наклона прибора, учитывается при пересчете полученных профилей в географическую систему координат с использованием показаний датчиков угловой ориентации встроенным программным обеспечением.

Перед тем как перейти к описанию условий обработки полученных данных, сделаем некоторые существенных замечания эксплуатации прибора:

 прибор разрабатывался для проведения измерений при относительно медленных собственных движениях, в этих условиях датчики угловой ориентации эффективно измеряют азимут, крен и дифферент (heading, pitch, roll);

– датчик азимута (компас, т.е. и сам прибор) нельзя использовать вблизи металлических материалов, таких как корпус судна, которые деформируют естественное магнитное поле Земли;

 инклинометры (датчики крена, дифферента) измеряют наклоны относительно оси земной гравитации и не учитывают влияния ускорения собственных движений прибора, которые могут вызывать значительные погрешности измерений;

– компас также подвержен действию собственных движений прибора либо непосредственно, либо через его инклинометры.

В целом из приведенных выше замечаний следует, что прибор может наиболее эффективно использоваться в составе автономной буйковой станции. Оптимальным вариантом является использование притопленого буя с целью избежать влияния поверхностных волн, или установке на дне в раме из немагнитного материала. Такое назначение прибора определило характеристики использованных в нем датчиков. Приводимые паспортные характеристики датчиков (включая датчики температуры и давления) получены в статических условиях и не отображают динамических составляющих погрешности, влияние которых при наличии собственных движений прибора может оказаться доминирующим.

#### Порядок выполнения работы

1. Запустить программу ViewADP.exe

2. Произвести загрузку данных.

Работа с программой начинается с входа в меню File и выбора окна **Open** (рис. 4.5). Перед вами открывается меню в котором автоматически открываются файлы данных с расширением .adp.



Рис. 4.5. Загрузка данных в программу.

На экране появятся графики, отражающие измеренные параметры (рис. 4.6). В верхней левой части экрана отражается Contour Graph. Этот график позволяет вам рассматривать изменяющийся по глубине временной разрез следующих переменных: скорости и направления течения (Velocity), интенсивности амплитуды возвращенного звукового сигнала ADP (Sig Amp), среднеквадратичного отклонения скорости течения (StD/Cor), отношения сигнал-шум (SNR). Выбор переменой и ее компонент опрепутем указания опций в меню Contour Control Box деляется (располагается в правой нижней части экрана). После выбора переменной указывается ее компонента. Beam 1 (or X or East) / Beam 2 (or Y or North) / Beam 3 (or Z or Up) - определяет выбранный компонент в зависимости от выбранной переменой. Для скорости это проекции на восток, север, вверх. Для амплитуды сигнала и отношения сигнал-шум это их интенсивность по каждому лучу. Для скорости возможно отображение модуля (Speed) и направления (Direction), для Амплитуды (мощности) сигнала и отношения сигнал-шум доступны средние значения (Average) по всем лучам.

Название графика Contour Graph в верхнем левом углу показывает, какую переменную и какой компонент отображается. Дисплей верхнему правому углу Contour Graph показывает числовую информацию о ячейке над которой находится курсор. (Когда курсор находится не над временным разрезом, отображается последняя точка, над которой была зафиксирована мышь.)

Справа от временного разреза можно просмотреть отдельный профиль по глубине рассматриваемой переменой. Чтобы выбрать профиль для просмотра в окне **Profile Graph** надо щелкнуть мышкой по маркеру профиля и перевести его на интересующую позицию профиля располагающийся над верхним краем графика **Contour Graph.** Ниже временного разреза располагаются два окна **Time-Series Graphs** на них можно просмотреть изменения выбранных переменных для конкретных горизонтов. Выбор горизонтов производится с использованием маркера располагающегося справа от графика **Contour Graph.** Установка переменных и параметров графиков осуществляется в опции **View-Time Series Display.** 



Рис. 4.6. График распределения измеряемых параметров.

3. Проверить настройки пользовательского графического интерфейса (рис.4.7).

Для этого вызвать меню View – Axis Scaling проверить установку масштаба осей. На первичном этапе удобно пользоваться Auto Scaling (выставьте Auto Scaling) для выяснения тонких параметров можно самим задать масштаб (Manual Scaling). Эта опция относится ко всем графикам выбранной переменной.

В меню View – Time Series Display выберите переменную, которую хотите отображать в окне Time-Series Graphs. Выбор производится для верхнего или нижнего графика, как для левой, так и для правой оси. Вы можете выбрать следующие опции: пустой график, значения стандартных переменных описанных ранее, показания датчиков среды, компаса, служебные параметры.



Рис. 4.7. Настройка графического интерфейса.

Выставьте для верхнего графика Velocity с отображением по левой оси. А для нижнего графика Pressure с отображением по правой оси.

Отмасштабируйте Contour Graph в формате времени используя опцию View – Contour X-Axis Display as - Date/Time.

Проверьте наличие галочки напротив View – Show Contour Control Box чтобы подтвердить, что вы хотите его видеть в рабочем окне программы.

4. При загрузке данных надо определить, в какой системе координат они будут отображаться. Опция Processing - Velocity Coordinate System позволяет выбирать Beam, XYZ, ENU. Надо выбрать географическую систему координат (ENU).

5. Произвести отбраковку части профиля, используя выбранные критерии. В меню **Processing** -Data Screening (рис.4.9) кликом мышки отбракуйте ячейки на основании показаний датчика давления **Pressure/Bottom-Track/Range-to-Bottom** (рис. 4.8).

> n an 1917 an tha tha an 1990. An tha Bartas a' tao 1997 An tao 1916 an tao 1916 an tao 1917 an tao 1918 an tao 1918 an



Рис. 4.8. Отбраковка данных по показаниям датчика давления.

Данная опция предлагает выбор параметров, которые позволяют исключить сомнительные данные из процесса обработки. Такими параметрами являются: низкая мощность сигнала, низкий коэффициент сигнал – шум, низкий градиент мощности сигнала. Позволяет устанавливать начальную и конечную ячейку в фильтруемой полосе и порог фильтрации для каждого параметра. Вы можете также решить производить фильтрацию до сглаживания данных или после.

6. Измените вручную масштаб колебаний уровня, кликнув по шкале графика отображающего давление (нижнего из Time-Series Graphs) так чтоб был виден приливной ход уровня.

7. Используя задание вашего варианта, задайте в Profile Graph соответствующий профиль скорости.

8. Сохраните построенные вами графики, в виде картинки. Edit – Copy Screen to Clipboard (Ctrl+C) затем вставьте схороненную картинку из памяти ЭВМ в Microsoft's Word.

9. Сохраните полученные вами значения профиля скорости в текстовом формате. Для этого выберите опцию File – Export Data перед вами появится меню (рис. 4.9).



Рис. 4.9. Сохранение результатов обработки данных в текстовом формате.

Данное меню позволяет, указать путь куда будут экспортироваться файлы, указать какие из профилей будут сохранены в этих файлах. Можно создавать файл только для выбранной переменной (Export Selected Variable), или создавать файлы для всех выходных переменных одновременно (Export All Variables). Вам надо выбрать последний вариант. Экспортируемые данные будут включать результаты сглаживания и коррекции. В результате будет создана группа файлов со следующими параметрами:

Выходные переменные	Расширение
Данные конфигурации	*.ctl
Данные заголовка	*.hdr (Все выбранные профили).
i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	Здесь сохраняются данные о времени и дате каждого из-
	мерения, показания с датчиков давления, температуры,
	наклона прибора, компаса и т.д.
Уровень сигнала	*.а1,*.а2, *.а3 (Все выбранные профили).
Ср. кв. отклонение	*.sd1,.*sd2,.*sd3 (Все выбранные профили).
Скорость	Все выбранные профили.
проекции	*.ve (E–W)/.v1/.vx.
	*.vn (N–S)/.v2/.vy.
na galerin de la companya	*.vu (up-dn)/.v3/.vz
модуль скорости	*.spd. The difference of the second
направление	*.dir
an a	Каждый столбец в файлах это горизонт, строка время.
	Второй столбец ближний к датчику горизонт, последний самый удаленный.

При этом в первом столбце всех описанных файлов, за исключением файла \*.ctl, содержится номер. Связь данных из разных файлов между собой производится через самый первый столбец, отражающий во всех файлах текущий номер измерения.

## Исходные данные

В качестве исходных данных используются файл с расширением **\*.adp**. В качестве варианта задается тип переменой (модуль скорости или направление течения) и номер профиля, начиная с 10. Вариант выдает преподаватель.

#### Составление отчета

В отчет по лабораторной работе входят:

1. Графики описывающие изменчивость заданной переменой за весь промежуток времени и на заданном профиле, сохраненные в виде картинки рабочего окна программы.

2. Таблица включающая глубину, модуль скорости и направление течения на данной глубине для заданного профиля. Составляется по данным полученных текстовых файлов (\*.spd, \*.din).

3. Анализ полученных результатов, включающий:

описание порядка составления таблицы из п.2 отчета,

количество и причину отбраковки данных,

описание связи колебаний уровня и заданной переменой (характеристикой скорости).

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Лабораторная работа № 1. Промежуточные преобразователи. RC-мосты	
переменного тока	4
Лабораторная работа № 2. Промежуточные преобразователи. RL-мосты	
переменного тока. LL-мосты	12
Лабораторная работа № 3. Первичная обработка данных, получаемых с	
помощью океанографического зонда	16
Лабораторная работа № 4. Первичная обработка данных, получаемых с	
помощью акустического доплеровского профилогрофа (АДП) течений.	32

en de la companya de la comp

#### Учебное издание

Степанюк Иван Антонович Зимин Алексей Вадимович

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ОКЕАНОЛОГИИ Руководство к лабораторным работам

# Учебное пособие

Редактор И.Г. Максимова Компьютерная верстка Н.И. Афанасьевой

ЛР № 020309 от 30.12.96

Подписано в печать 12.11.10. Формат 60×90 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,0. Тираж 250 экз. Заказ № 62/10 РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98. ЗАО «НПП «Система», 197045, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/1. Alternation and a second second