

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ ИСТ-1М

А.Н. Греков

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: glavniy@pisem.net

В статье представлены результаты натуральных испытаний прибора ИСТ-1М. Приведена спектральная обработка результатов. Исследовано влияние длины кабель-троса на частоту колебаний прибора по вертикальной оси. Рассмотрена возможность измерения прибором на горизонтах и при зондировании. Оценено влияние поверхностного волнения на результаты измерений. Обсуждаются динамические характеристики прибора.

Испытания прибора ИСТ-1М было проведено в экспедиции на океанографической платформе экспериментального отделения МГИ НАНУ в п. Кацевели.

Описание прибора ИСТ-1М приведено в [1]. В приборе имеются каналы скорости и направления течения V и A , температуры t , давления P — по которому определяется глубина h , ускорения по трем осям x, y, z .

Первые испытания (14.08.2009) касались общего функционирования всех узлов измерителя и его хвостового стабилизатора при зондировании. Во время зондирования до глубины 15 м прибор совершил ряд вращательных движений (показания компаса прибора), что явно не соответствовало вертикальному распределению скорости и направления для данного района. На графике рисунка 1 показаны результаты зондирования, где V — скорость течения м/с, A — направление течения по азимуту в градусах.

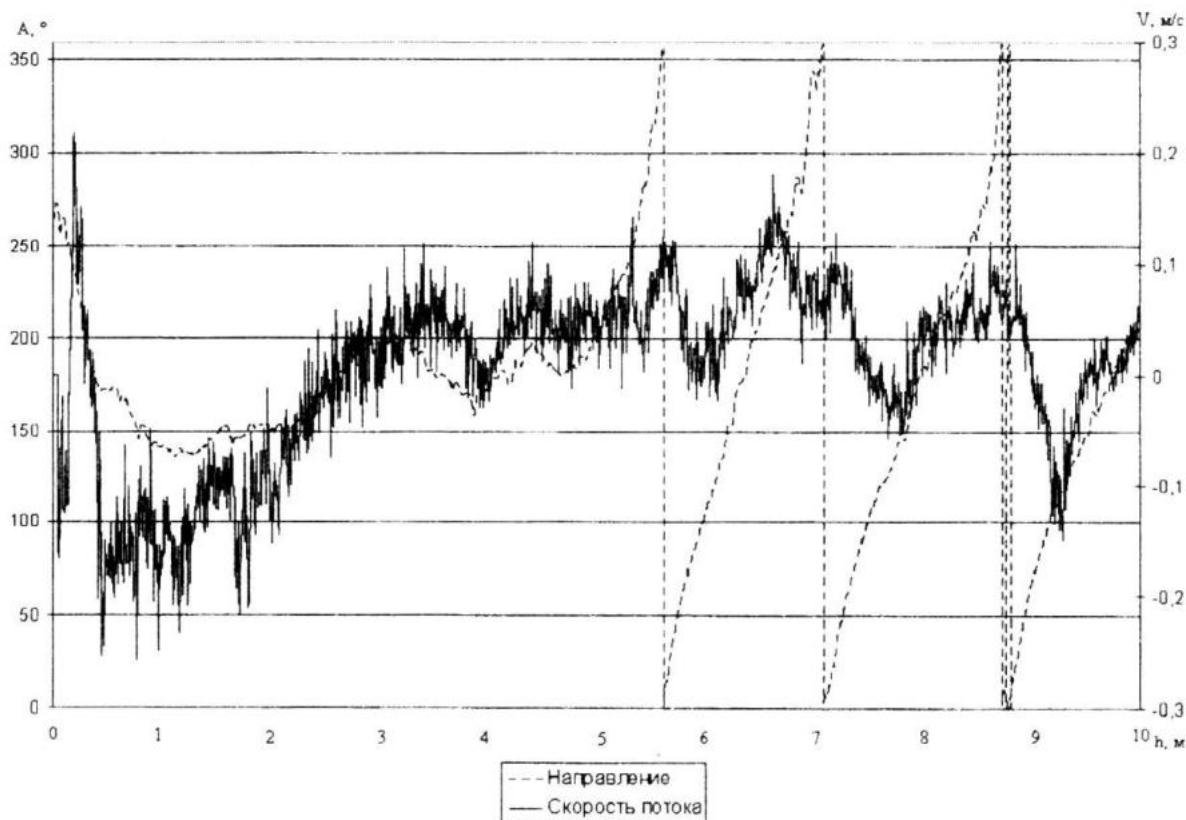


Рисунок 1 - Результаты зондирования в первой экспедиции.

После изменения конструкции хвостового стабилизатора прибора и улучшения герметизации уплотнительных узлов были проведены новые испытания прибора

(26.08.2009). Внешний вид измерителя после доработки в момент зондирования с платформы показан на рисунке 2.

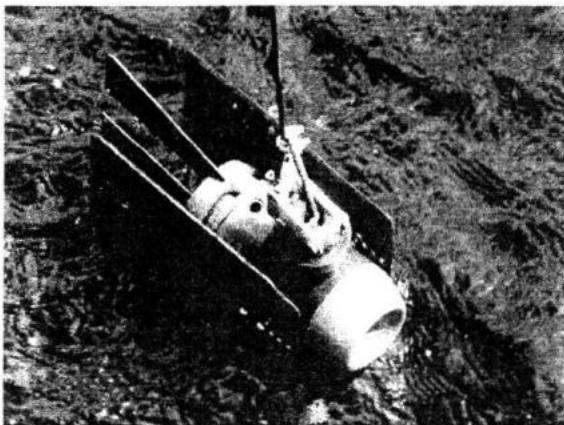


Рисунок 2 - Внешний вид макета прибора ИСТ-1М после доработки

Измерения проводились на горизонтах 0,18 м, 1,65 м, 1,85 м, 3,19 м, 4,73 м, 5 м, 6,25 м, 7 м, 7,77 м, 9,28 м, 10 м, 10,85 м, 12,4 м и 13,92 м с длительностями записи 10 минут и 90 секунд. Высота мостика, с которого проводились измерения, от по-

верхности моря составляла 6 м. Также было сделано несколько зондирований до глубины 15 м с различной скоростью погружения, включая свободное погружение прибора.

Обработка результатов измерений, полученных в экспедиции, заключалась в том, что данные от всех измерительных каналов подвергались спектральному анализу. Длина выборок составляла около 10 тысяч точек для каждого канала, частота опроса и регистрации данных — 22 Гц.

Спектры сигнала ускорения по оси z явно отличались от спектров сигналов остальных каналов. Примеры спектров ускорения по оси z на глубинах 4,98 м, 7 м и 10 м приведены на рисунке 3. Как следует из графиков рисунка 3, энергия спектра сигнала канала акселерометра z сосредоточена в определенной полосе частот, которая зависит от длины кабеля.

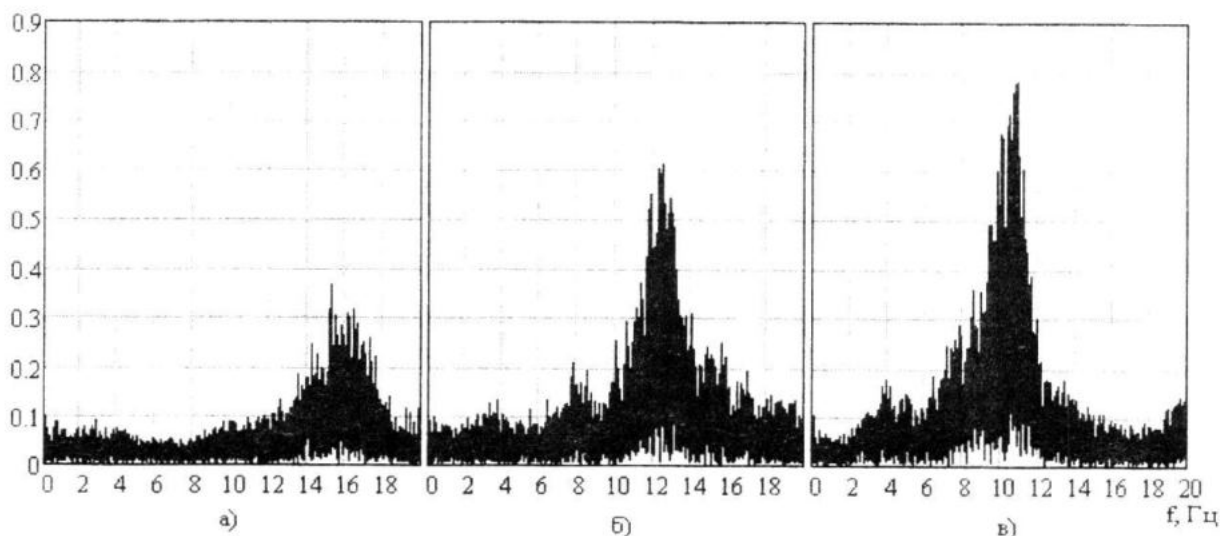


Рисунок 3 – Спектры сигналов канала z акселерометра для глубин: а) 4,98 м; б) 7 м; в) 10 м.

Анализ этих графиков, позволил установить, что колебания ускорения по оси z вызваны колебаниями кабель-троса, который соединяет погружной блок прибора с ПЭВМ. При испытаниях использовался четырехжильный кевларовый кабель диаметром 5 мм.

Частоты этих колебаний определяются по известному уравнению:

$$f = \frac{1}{ld} \sqrt{\frac{mg}{\pi\rho}}, \quad (1)$$

где l – длина кабеля, d – диаметр кабеля; m – масса кабеля совместно с прибором; ρ – плотность материала кабеля; g – ускорение свободного падения.

Учитывая, что m пропорционально l , а d и ρ константы, уравнение (1) можно упростить:

$$f = k \frac{\sqrt{l}}{l}. \quad (2)$$

Коэффициент $k \approx 34,3$ определялся по экспериментальным данным для различных глубин h . Длину кабеля l можно прибли-

женно считать эквивалентной глубине h . Как видно из графиков рисунка 3 амплитуда колебаний сигнала в канале ускорения по оси z увеличивается с глубиной и смещается в область низких частот.

Если при измерении скорости и направления течения в море ограничиться процессами с частотами менее 1 Гц, то максимальная длина кабеля, при которой частота сигнала канала акселерометра z не будет находиться в полосе рабочих частот, не должна превышать 1100 метров (формула 2).

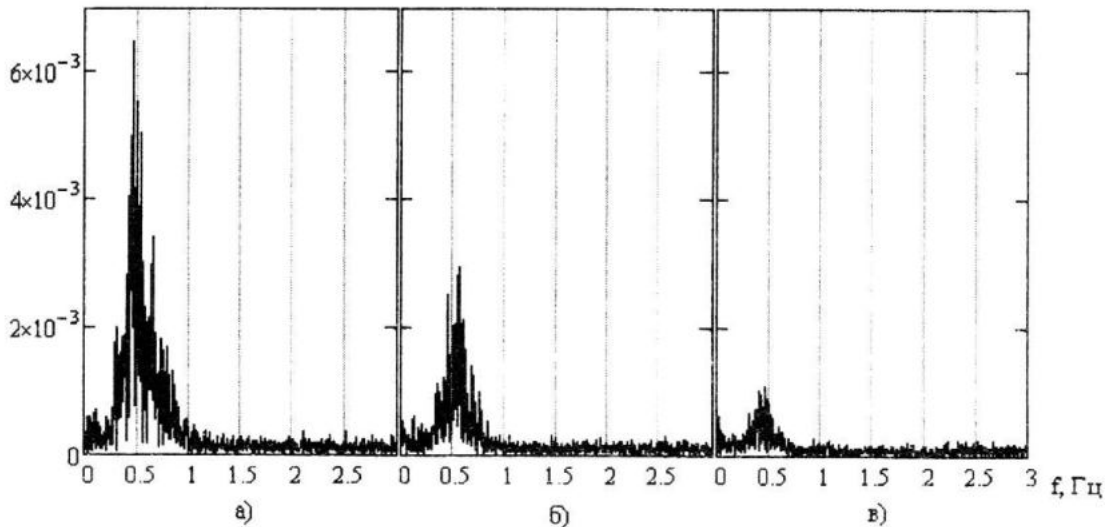


Рисунок 4 – Спектры сигналов канала давления для глубин: а) 1,85 м; б) 4,98 м; в) 10 м.

Максимум сигнала основной гармоники канала давления находится в районе 0,5 Гц и уменьшается с глубиной. На рисунке 4 представлены спектры сигналов канала давления P для различных глубин. По данным гидрометеопоста п. Кацивели в этот период степень волнения была 2 балла, наблюдалась зыбь высотой 0,3 м и длиной 3,2 м с одновременным присутствием ветровой ряби, направление волнения восточное и юго-восточное.

Анализируя графики спектров давления и ускорения по оси z (рисунок 3 и 4) можно утверждать, что измеритель ИСТ-1М на указанных глубинах не совершал значи-

тельных колебаний по оси z и фактически находился на фиксированных глубинах. В спектре канала давления хорошо прослеживается поверхностная зыбь, амплитуда которой затухает с глубиной.

Дальнейшая обработка результатов измерения заключалась в анализе сигналов канала скорости V и направления A с учетом собственных движений прибора. Вначале анализировались результаты измерения A и V для 10 горизонтов (глубины горизонтов указаны в начале статьи). Длительность измерения на горизонтах в среднем была около 1,5 минут.

Данные измерения A и V представлены на рисунке 5.

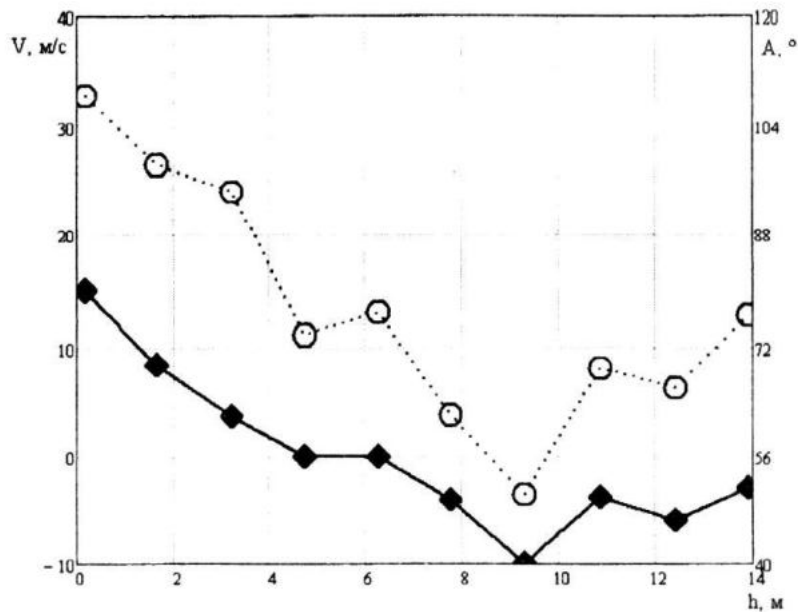


Рисунок 5 – Зависимость от глубины: \blacklozenge – скорости течения; \odot – направления течения.

Здесь средняя скорость течения на верхнем горизонте составляла около 15 м/с, направление 108 градусов. С глубиной скорость течения уменьшалась, и на глубине около 5 метров средняя скорость течения уменьшилась до нуля, направление скорости течения поменялось на противоположное, и на глубине 9 метров составила 9 см/с. Из показаний прибора видно, что на глубинах 7 ÷ 10 метров в районе платформы существует противотечение. Примеры измерений скорости, направления и ускорения в горизонтальной плоскости xu на глубине 4,98 м показаны на рисунке 6. По представленным измерениям скорости и направления течения можно осуществлять осреднение вектора скорости течения по проекциям.

Следующий вид эксперимента с прибором заключался в зондировании по вертикали (погружение и подъем) до глубины 15 метров и сравнении результатов измерения, полученных при зондировании и осредненных на 10 горизонтах. На рисунке 7 пред-

ставлен график модуля скорости течения при погружении со скоростью 0,09 м/с и подъеме со скоростью 0,18 м/с.

Качественно графики модуля скорости течения для средних (измерения на горизонтах) и мгновенных (погружение и подъем) характеристик течений соответствуют друг другу. При погружении после 2 м расхождение показаний модуля скорости течения с осредненными показаниями, полученными при измерениях на горизонтах, не превышали 5,7 см/с, при подъеме – 3,8 см/с.

На рисунке 8 представлены графики направления течения A в зависимости от глубины h с осреднениями на горизонтах. Расхождение в показаниях могут быть вызваны запаздыванием измерительных каналов A и V , временной изменчивостью течений и разницей средних и мгновенных значений.

Поскольку в гидрометрии принято осреднять показания приборов за период не менее чем 30 с, то для зондирований без остановок на горизонтах требуется изменение существующих методик проведения измерений.

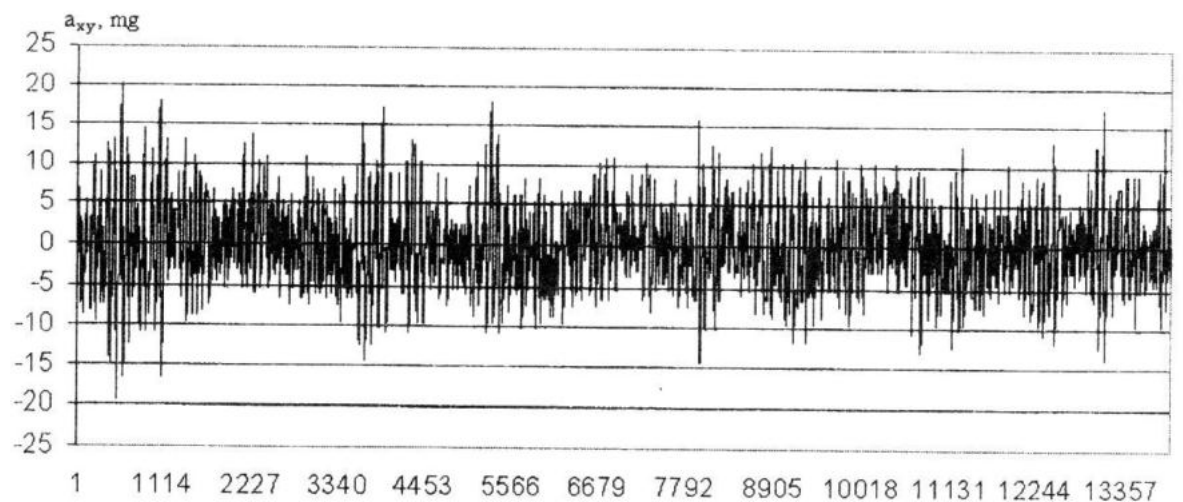
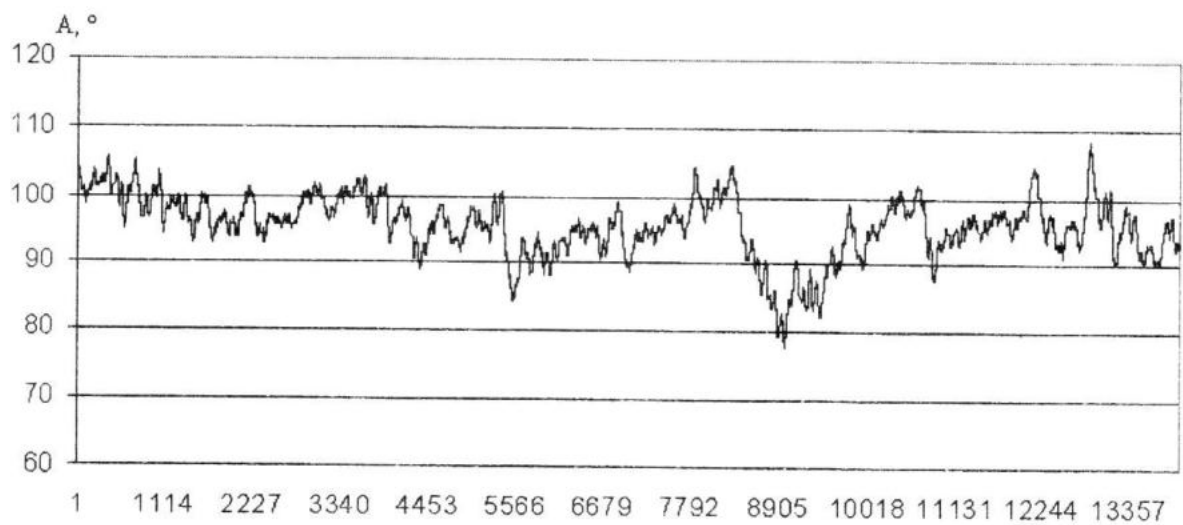
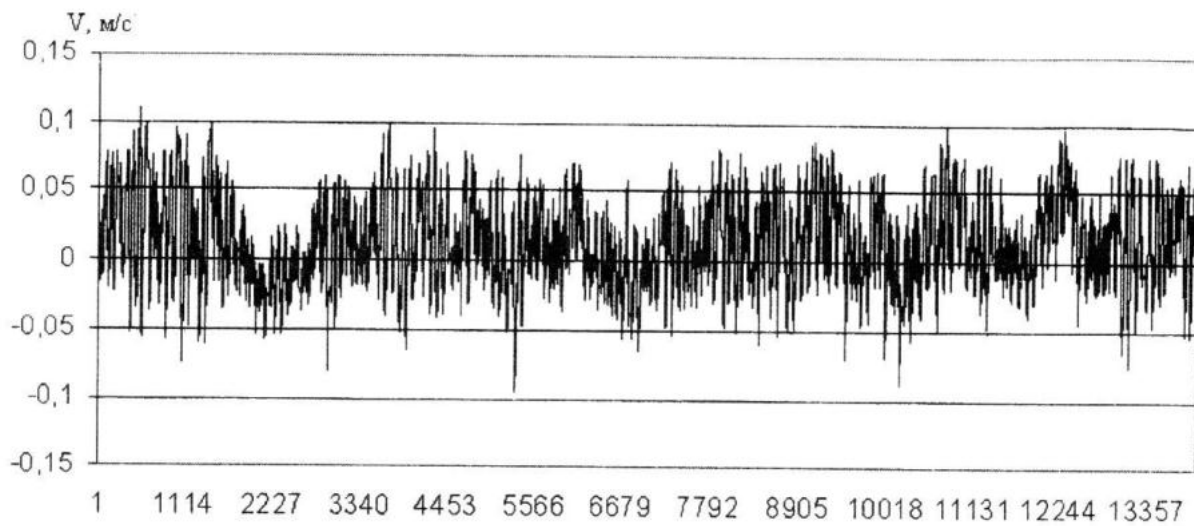


Рисунок 6 – Измерения на горизонте 4,98 м: а) скорости течения; б) направления течения; в) ускорения в плоскости x,y .

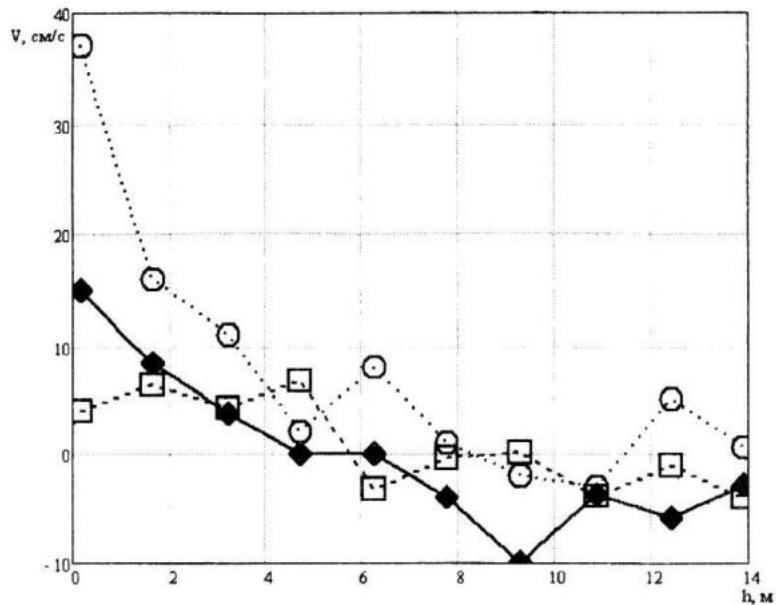


Рисунок 7 – Зависимость скорости течения от глубины при: ◆ – постановке прибора на десяти горизонтах; ⊙ – погружении прибора; ◻ – подъеме прибора.

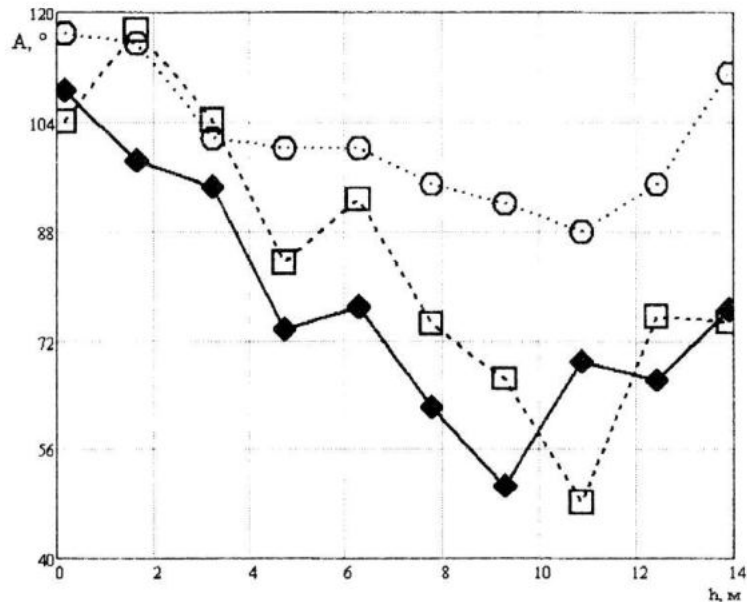


Рисунок 8 – Зависимость направления течения от глубины при: ◆ – постановке прибора на десяти горизонтах; ◻ – погружении прибора; ⊙ – подъеме прибора.

Динамические свойства измерителя ИСТ-1М проверялись, когда прибор находился на 10 м. Направление течения было $\sim 110^\circ$, средняя скорость составляла ~ 5 см. Кабель, удерживающий прибор, сместили вдоль поверхности моря по направлению течения. Искусственно вызванное движение измерителя привело к изменению относительной скорости, и по показаниям канала скорости, скорость течения начала уменьшаться до 0, а затем приняла отрицательное значение около 10 см/с (график скорости на рисунке 9). При этом, по показаниям ком-

паса прибор начал разворачиваться при скорости 5 см/с (линия а) и развернулся в течение 6 с на 180° (300° на графике). После прекращения искусственного движения прибор в течение 31 с вернулся в исходное положение ($\sim 100^\circ$). Акселерометр по оси z показал незначительные колебания, вызванные подъемом прибора, а акселерометры по осям x и y — изменение наклона прибора в момент вращения и дальнейшее восстановление в первоначальное положение (рисунок 10).

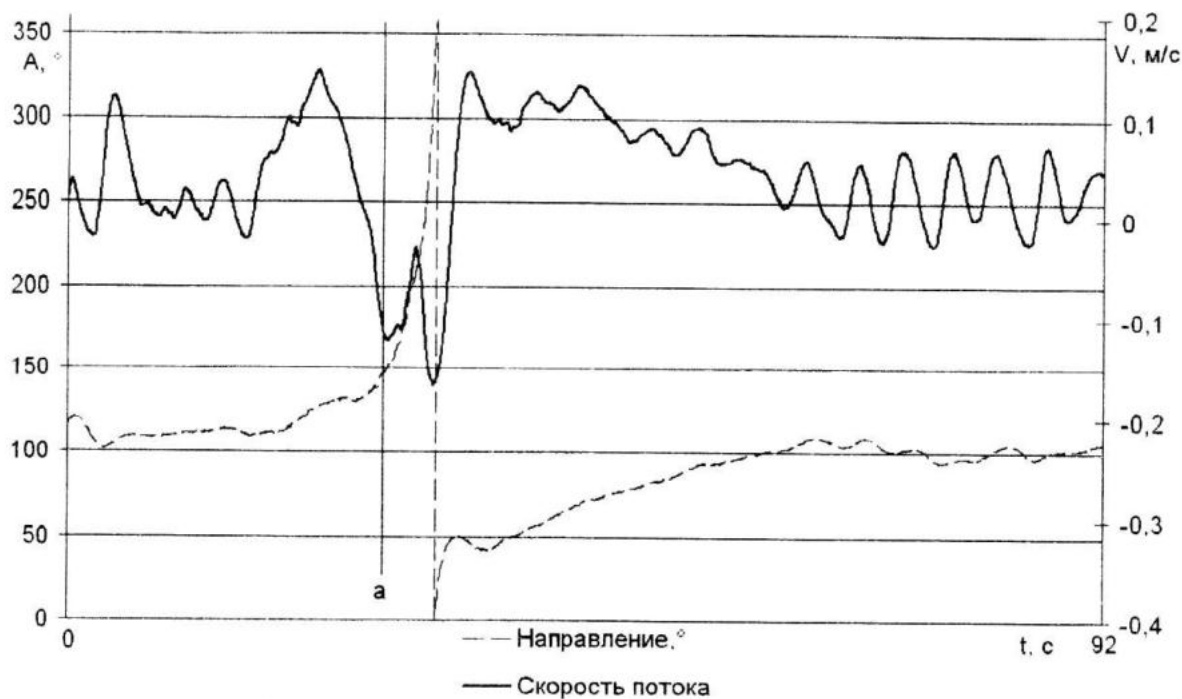


Рисунок 9 – Скорость и направление течения при искусственном движении.

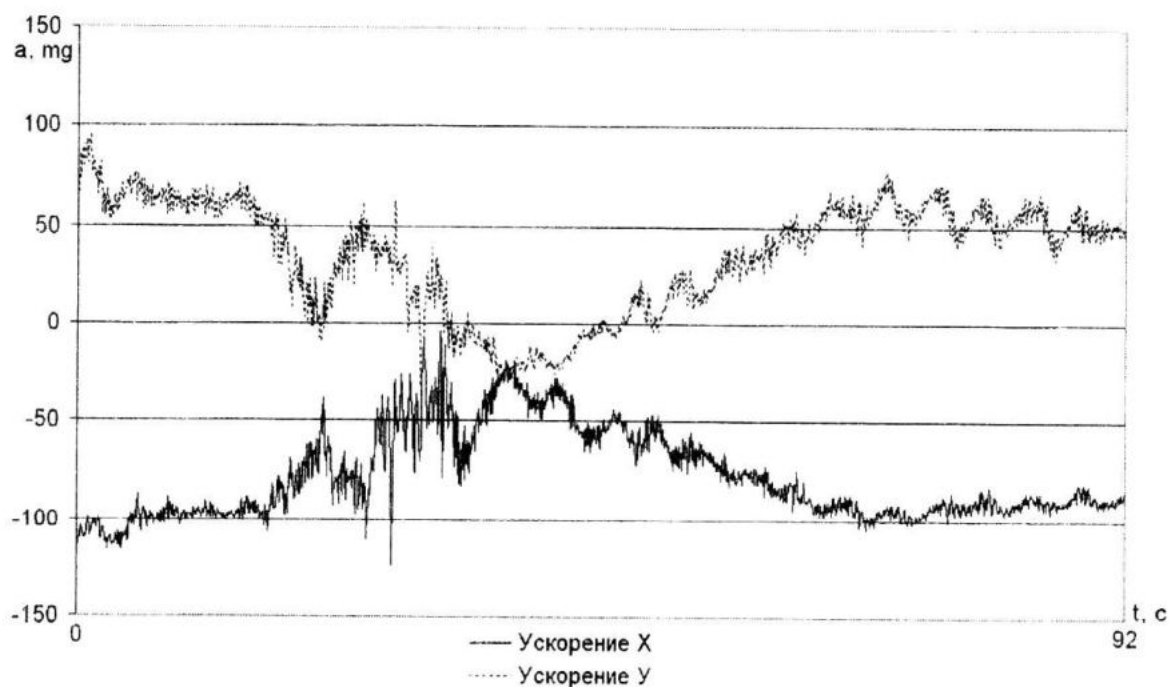


Рисунок 10 – Ускорение по осям x и y при искусственном движении.

Выводы. Испытания макета прибора показали его хорошие гидродинамические свойства, надежную работу измерительных каналов, узлов герметизации, удобство в эксплуатации за счет небольших габаритов и веса.

Высокая частота измерения и регистрации параметров скорости и направления течения и собственных движений прибора дает основание считать, что с помощью измерителя ИСТ-1М можно получить харак-

теристики поля течения в широких пространственно-временных масштабах.

Л и т е р а т у р а

1. Греков А.Н., Алексеев С.Ю. Акустический измеритель скорости и направления течения ИСТ-1М речного и морского назначения // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, 2008. – С. 77–82.